

Schlussbericht, 01. Juni 2023

Abwärmennutzung von Rechenzentren – Potenzialstudie und Empfehlungen für Betreiber und Gemeinden



Autoren

Christine Kulemann, eicher+pauli

Philipp Husi, eicher+pauli

René Gürber, eicher+pauli

Andrea Grüniger, eicher+pauli

Stefan Gemperle, eicher+pauli

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.

Für den Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.

Inhalt

Zusammenfassung	3
Synthèse	7
1 Projektbeschrieb.....	11
1.1 Zielsetzung und Vorgehen	11
1.2 Hintergrund / Motivation.....	11
2 Arten von Rechenzentren	14
2.1 Strom-Effizienz der Infrastruktur	14
2.2 Zusammenhang von Stromverbrauch und Abwärme	14
2.3 Älteres Rechenzentrum	16
2.4 Typisches Rechenzentrum	17
2.5 Modernes Rechenzentrum.....	18
3 Arten der Abwärmenumutzung von Rechenzentren.....	19
3.1 Wärmenetze und Abwärmenumutzung allgemein	19
3.2 Abwärmenumutzung in einem Hochtemperaturnetz.....	19
3.3 Abwärmenumutzung in einem Niedertemperaturnetz	20
4 Nutzbares Abwärmepotenzial von Rechenzentren.....	22
4.1 Zeitlicher Verlauf von Abwärmeangebot und Wärmebedarf	22
4.2 Fallbeispiele zum nutzbaren Potenzial.....	23
5 Wirtschaftlichkeit der Abwärmenumutzung im Wärmenetz	26
5.1 Auskopplung von Abwärme	26
5.2 Wärmenetz mit zentraler Wärmeaufbereitung.....	26
5.3 Anschlussgebühren Eigentümerschaften an Wärmenetz	27
6 Beispielrechnungen Rechenzentren.....	28
6.1 Rechenmethodik.....	29
6.2 Kleines, älteres Rechenzentrum – IT-Leistung 0.2 MW.....	30
6.3 Mittleres, typisches Rechenzentrum – IT-Leistung 2 MW.....	32
6.4 Grosses, modernes Rechenzentrum – IT-Leistung 20 MW.....	34
7 Synthese zum Abwärmepotenzial Rechenzentren.....	36
7.1 Schätzung Abwärmepotenzial Rechenzentren.....	36
7.2 Diskussion Abwärmepotenzial Rechenzentren	37
8 Interviews und Erkenntnisse	39
8.1 Qualitative Interviews.....	39
8.2 Gemeinden.....	39
8.3 Rechenzentren-Betreibende	40
8.4 Energiedienstleister	41
8.5 Erkenntnisse.....	42
9 Lösungsansätze und Empfehlungen	43
9.1 Bewilligungsverfahren und Energieplanung	43
9.2 Versorgungssicherheit.....	44
9.3 Hilfsmittel zur Potenzialabschätzung der Abwärmenumutzung	44
9.4 Energiedatenmanagement.....	44
9.5 Marktbeobachtung.....	45
10 Quellen.....	46

Zusammenfassung

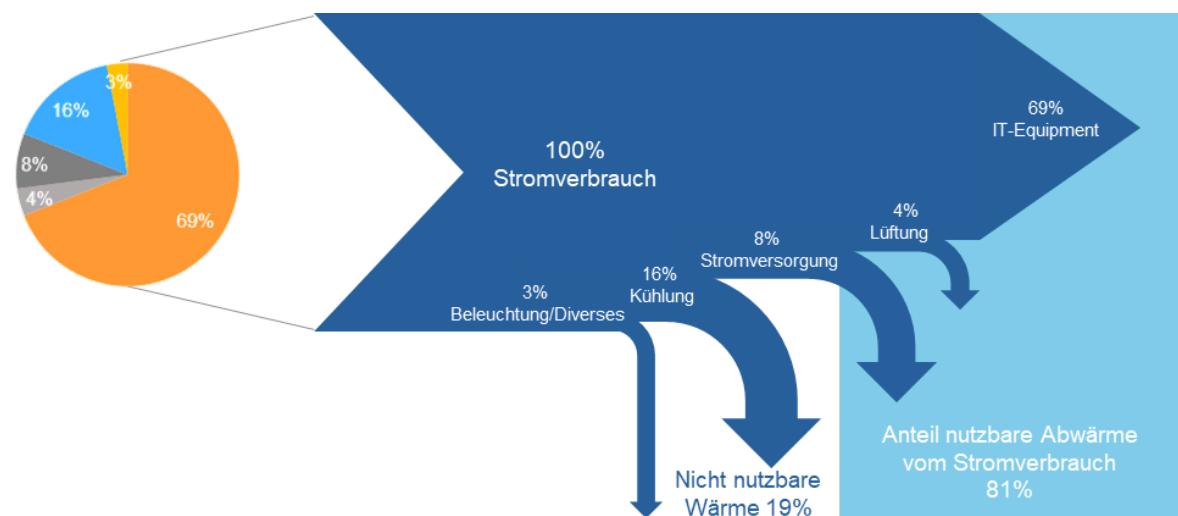
Die zunehmende Digitalisierung sowie der Trend zur Auslagerung von IT-Prozessen in Clouds, führen zu einem Boom der Rechenzentren (RZ) in der Schweiz. Sowohl die Anzahl als auch die Grösse der Rechenzentren wird weiter zunehmen. Im Jahr 2019 wurden Daten zum Gesamtstromverbrauch der Schweizer Rechenzentren erhoben und auf rund 2.1 TWh geschätzt [2]. Vom gesamten Schweizer Stromverbrauch entfielen somit 3.6 Prozent auf die Rechenzentren. Im Jahr 2021 wurde ein deutlicher Wachstumssprung der Rechenzentren festgestellt und die neuen grossen Rechenzentren werden hinsichtlich Leistung und Fläche fünf- bis zehnmal grösser geplant als ein paar Jahre davor. Infolge des volatilen Marktes kann die tatsächlich in fünf Jahren eintretende Situation kaum abgeschätzt werden. Die aktuellen Schätzungen gehen für das Jahr 2026 von einem Stromverbrauch zwischen 2.7 – 3.5TWh aus.

Im Gegensatz zu anderen Industrien läuft ein Rechenzentrum rund um die Uhr. Die anfallende Abwärme fällt somit auf einem sehr konstanten Niveau während 8'760 Stunden im Jahr an und ist daher eine sehr sichere Wärmequelle für potenzielle Abnehmer. Zudem gilt die Abwärme aus Energieumwandlungsprozessen als CO₂-neutral. Entsprechend kann die Abwärmennutzung von Rechenzentren einen Beitrag zur Reduktion des Primär-Energieverbrauchs und damit zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2050 des Bundesrats leisten.

Auf Basis der Analyse der heutigen Rahmenbedingungen für die Abwärmennutzung von Rechenzentren werden in dieser Studie Lösungsansätze und Empfehlungen für den Anschub der Abwärmennutzung von Rechenzentren (RZ) aufgezeigt. Die relevanten Einflussfaktoren auf eine möglichst optimale Abwärmennutzung von Rechenzentren werden eruiert und das schweizweite Gesamtpotenzial wird abgeschätzt.

Die Energieeffizienz von Rechenzentren wird mit dem sogenannten Power Usage Effectiveness (PUE) beschrieben. Der PUE-Wert ist eine Kennzahl, die den Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums in das Verhältnis zum Energieverbrauch der IT-Infrastruktur setzt. Je kleiner der PUE-Wert ist, desto effizienter wird ein Rechenzentrum betrieben. Typische PUE-Werte in älteren Rechenzentren ohne Effizienzmassnahmen liegen etwa bei 2, in modernen Rechenzentren mit umfassenden Effizienzmassnahmen bei etwa 1.1 bis 1.2.

Grundsätzlich fällt der gesamte Strom, welcher verbraucht wird, schlussendlich als Abwärme an. Um die Abwärme nutzbar zu machen, muss sie mit vertretbarem Aufwand ausgekoppelt werden können. Dabei kann insbesondere die Abwärme vom IT-Equipment, von der Stromversorgung und von der Lüftung genutzt werden.



Für die externe Abwärmennutzung wird die überschüssige Wärme eines Rechenzentrums ausgekoppelt. Die Abwärme kann, je nach Umgebung, in ein neues oder in ein bestehendes Wärmenetz eingespeist werden. Das in der

Regel von einem Energiedienstleistungsunternehmen betriebene Wärmenetz versorgt dann den Gebäudepark in der Umgebung mit Wärme für Heizung, Warmwasseraufbereitung sowie für gewerbliche und industrielle Prozesse.

Bei der Abwärmennutzung im Hochtemperaturnetz wird die Abwärme in der Regel auf einem Temperaturniveau zwischen 20°C und 30°C ausgekoppelt und mittels einer Wärmepumpe auf das geforderte Temperaturniveau von 65°C – 80°C erhöht. Dies hat den Vorteil, dass auch die Abwärme von Rechenzentren mit tiefen Temperaturniveaus genutzt werden und auch Gebiete mit hohen geforderten Temperaturen (z.B. Altbaugebiete) mit Wärme versorgt werden können. Der Nachteil sind die höheren Investitionskosten und die reduzierte Energieeffizienz aufgrund der Wärmepumpe.

In einem Niedertemperaturnetz wird die Abwärme ohne Temperaturerhöhung genutzt. Voraussetzung dafür ist, dass das auskoppelbare Temperaturniveau bei über 32°C liegt. Damit kann ein Temperaturniveau für den Nutzer von 30°C erreicht werden. Mit diesen Temperaturen können zum Beispiel Neubaugebiete oder Industrien mit tiefen Temperatursprüchen versorgt werden. Der Vorteil vom Niedertemperaturnetz liegt bei den tiefen Investitionskosten und der hohen Energieeffizienz. Der Nachteil ist, dass auf Grund der tiefen Temperaturen nur sehr spezifische Gebiete in Frage kommen. Da oftmals gemischte Areale/Gebiete und nur selten ausschliesslich Neubauten vorhanden sind, ist auch die Kombination eines Anergienetzes mit dezentralen Clusterstationen, welche Gebiete mit Hochtemperaturwärme versorgen können, denkbar.

Wie bereits erwähnt fällt die Abwärme eines Rechenzentrums über das ganze Jahr konstant an. Bei Gebäuden hingegen teilt sich der Wärmebedarf in einen saisonal abhängigen Teil für die Komfortwärme und einen konstanten Teil für Brauchwarmwasser auf. Der Anteil Brauchwarmwasser am Gesamtwärmebedarf ist vom Gebäudestandard abhängig und ist bei Neubauten erhöht. Um eine Abwärmennutzung möglichst effizient zu gestalten und den nutzbaren Anteil zu maximieren ist es folglich empfehlenswert, Abnehmer mit Bandlastprofilen zu finden bzw. an ein allfälliges Wärmenetz anzuschliessen. Darunter fallen zum Beispiel Neubauten mit verhältnismässig hohem Anteil an Warmwasserbedarf und diverse industrielle Abnehmer wie zum Beispiel die Nahrungsmittelproduktion.

Die Wirtschaftlichkeit eines thermischen Netzes ist im Einzelfall zu prüfen. Zahlreiche, standortspezifische und technische Faktoren beeinflussen die Wirtschaftlichkeit thermischer Netze. Da insbesondere die Erstellung der Verteilnetze sehr investitionsintensiv ist, ist die Nähe der Wärmeabnehmer zum Rechenzentrum ein entscheidender Faktor. Als Richtwert für eine erste Grobbeurteilung der Wirtschaftlichkeit gilt die Linien- oder Wärmedichte von mindestens 2 MWh/(a*m) für Wärmenetze mit zentraler Temperaturerhöhung, beschrieben im Planungshandbuch Fernwärme von Energie Schweiz. Wird dieses Kriterium in einer ersten Betrachtung (beinahe) erfüllt, empfiehlt es sich ein Netz bzw. dessen Wirtschaftlichkeit spezifisch zu überprüfen.

Weiter ist es ökonomisch vorteilhaft, wenn die Abwärme ohne Temperaturhub bzw. ohne Wärmepumpe direkt genutzt werden kann. Dies ist jedoch nur bei Neubauten mit Vorlauftemperaturen des Heizsystems von maximal 30°C geeignet

Die Eignung verschiedener Rechenzentren für die Versorgung eines bestimmten Wohngebiets an einem städtischen Standort wurde mit Hilfe mehrerer Rechenbeispiele geprüft. Wünschenswert im Falle einer Abwärmennutzung sind ein hoher Anteil genutzter Abwärme und ein hoher Deckungsgrad des Wärmebedarfs im Netz durch Abwärme. Diese Ziele sind jedoch gegenläufig. Wird ein hoher Deckungsgrad angestrebt, wird aufgrund der unterschiedlichen Jahresprofile von Wärmeangebot und -nachfrage ein hohes Leistungsniveau auf Seiten Abwärme benötigt. Dadurch sinkt der nutzbare Anteil der Abwärme. Im Umkehrschluss sinkt der Deckungsgrad des Wärmebedarfs mit Abwärme durch die Erhöhung des nutzbaren Anteils der Abwärme.

Empfehlenswert ist es tendenziell einen hohen Anteil genutzter Abwärme anzustreben. Dies bedeutet die Wahl/Konzeptionierung eines Wärmenetzes, in welchem die Abwärme des Rechenzentrums eine ergänzende Wärmequelle ist und hauptsächlich zur Deckung der Grundlast dient. Das bedingt ein Wärmenetz mit mehreren Wärmequellen. Des Weiteren ist zur Erhöhung des Nutzungsgrads der Abwärme der Einsatz von saisonalen Wärmespeichern in Form von Erdsondenfeldern zu prüfen.

Der aktuell volatile Markt der Rechenzentren führt zu hohen Unsicherheiten bei der Schätzung des künftigen Abwärmepotenzials. Aus diesem Grund wird in dieser Studie eine mögliche Bandbreite des Abwärmepotenzials der Rechenzentren und Serverräume in der Schweiz dargestellt. Dabei berücksichtigt sind die folgenden, relevanten Einflussfaktoren:

- Theoretisches auskoppelbares Abwärmepotenzial in Abhängigkeit von der Art des Rechenzentrums
- Entwicklung Segmente von Rechenzentren
- Anteil der Rechenzentren, die die Abwärme intern und/oder extern nutzen
- Realistisches Ausnutzungspotenzial der Abwärme in der Umgebung nach Höhe und zeitlichem Verlauf von Wärmeangebot und Wärmenachfrage

Die Schätzungen ergeben ein theoretisches, mittelfristig auskoppelbares Abwärmepotenzial von 2.38 bis 3.08 TWh/a. Da sich im Segment der firmeninternen Rechenzentren und der KMU-Serverräume eine externe Abwärmenutzung kaum wirtschaftlich realisieren lässt, sinkt dieses Potenzial auf ca. 2.02 bis 2.62 TWh/a, welches für die Rechenzentren Dienstleister verbleibt. Bei einer guten Ausnutzung dieses Abwärmepotenzials wird der Stellenwert der Rechenzentren für die Erreichung der Klimaschutzziele 2050 als wichtig beurteilt. Mittelfristig könnten damit rund 140'000 bis 185'000 Privathaushalte (3.7 bis 4.7 Prozent) beheizt und mit Warmwasser versorgt werden [1]. Dies führt bei der Wärmeversorgung von Wohngebäuden mit einer fossilen Heizung [2] zu einer Einsparung von rund 420'000 bis 555'000 t CO₂eq.

Zur Evaluierung der bestehenden Rahmenbedingungen zur Abwärmennutzung von Rechenzentren sowie zur Entwicklung von möglichen Verbesserungsansätzen wurden insgesamt neun qualitative Interviews mit Beteiligten an der Abwärmennutzung von Rechenzentren geführt. Die Kernfragen der Interviews fokussierten sich bei den Gemeinden auf Baubewilligungsverfahren sowie Energieplanung und bei den Rechenzentren-Betreibenden und Energiedienstleistern auf wesentliche Kriterien und Anreize für die Auskopplung der Abwärme bzw. den Betrieb eines Wärmenetzes, vertragliche Regelungen und Versorgungssicherheit. Über die Zielgruppen hinweg zeigten die Interviews ein einheitliches Bild: Die Befragten beurteilen die übergeordneten Chancen, Risiken und Hemmnisse gleich. Diese werden von den Befragten wie folgt beurteilt:

- Chancen: Die Abwärmennutzung der Rechenzentren wird als grosse Chance beurteilt, die genutzt werden sollte. Alle Beteiligten zeigten Interesse an der Abwärmennutzung von Rechenzentren und haben für sich win-win-Situationen gesehen.
- Hemmnisse, heute: Das grösste Hemmnis für die Abwärmennutzung von Rechenzentren ist die fehlende Wärmeabnahme in der Umgebung. Bei den Wärmenetzen kommt als Hemmnis hinzu, dass nicht alle Eigentümerschaften Interesse an einem Anschluss haben (Heizung noch nicht amortisiert, schlechte Erfahrungen usw.).
- Risiken: Versorgungssicherheit bei der Abwärmennutzung von Rechenzentren für einen langfristigen Netzbetrieb und die Wärmeversorgung.

Die wenigen mündlichen Aussagen zu technischen Kennzahlen in den Interviews haben sich bei der nachfolgenden Überprüfung für die Auswertung als zu wenig belastbar erwiesen.

Für den Anschub der Abwärmennutzung in neuen Rechenzentren werden übergeordnet die grössten Hebel bei Gemeinden, Kantonen und Bund gesehen. Ein Hebel der Gemeinden liegt dabei im Baubewilligungsverfahren: Um Stromeffizienz und Abwärmennutzung positiv zu beeinflussen, können für Bauprojekte von Rechenzentren weiterführende Vorgaben erlassen werden, wie z.B. mit dem Baugesuch einen Nachweis zur Abwärmennutzung einzureichen. Und mit dem Ziel, dass sich grosse Rechenzentren an Standorten mit einer hohen Wärmendichte in der Umgebung ansiedeln, sind die Möglichkeiten im Rahmen der kommunalen Planungen zu nutzen. Dies kann z.B. in der Energieplanung über die Ausscheidung von Energieverbundgebieten mit Abwärme erfolgen. Zu prüfen ist ausserdem, ob im Baureglement (grundeigentümerverbindlich) Standorte von Rechenzentren zielführend festgelegt werden können.

In Hinblick auf die Lebenszyklusbetrachtung ist der Betrachtungshorizont bei Rechenzentren-Betreibenden (10-15 Jahre) im Vergleich mit denen der Wärmenetze von Energiedienstleistenden (30-40 Jahre) deutlich kürzer. Das daraus resultierende Risiko der Versorgungssicherheit für den Netzbetrieb beim Wegfall der Wärmequelle kann z.B. über eine Risiko-Garantie des Bundes abgesichert werden. Eine gesetzliche Grundlage für die Umsetzung einer solchen Absicherung ist im Rahmen der Revision des CO₂-Gesetzes aktuell im Parlament in der Beratung.

Eine weitere Lösung zur Reduktion des Risikos «Versorgungssicherheit» wären zusätzliche vertragliche Regelungen zwischen Rechenzentren-Betreibenden und Energiedienstleistenden. Dies setzt jedoch ein Interesse beider Seiten voraus und kann nur bedingt angestossen werden (z.B. gesetzliche Regelung zur Vergütung der Abwärme an Rechenzentren-Betreibende).

Für eine Erstabschätzung des Potenzials der Abwärmenutzung an einem spezifischen Standort wird die Entwicklung eines einfachen Rechentools empfohlen. Dieses soll Betreibende bei der groben Schätzung der Wirtschaftlichkeit sowie Gemeinden bei der Ausweisung von Verbundgebieten in der Energieplanung und beim Nachweis zur Abwärmenutzung im Baubewilligungsverfahren unterstützen.

Zudem wird empfohlen die Trends und Entwicklungen der Rechenzentren zu beobachten. Wenn gewählte Standorte für die Rechenzentren-Dienstleister langfristig attraktiv bleiben (Netz, Sicherheit usw.), kann dies zu einer Veränderung bezüglich der Lebenszyklusbetrachtung der Rechenzentren-Dienstleister führen. Damit könnte sich das grosse Hemmnis «Versorgungssicherheit» abschwächen.

Synthèse

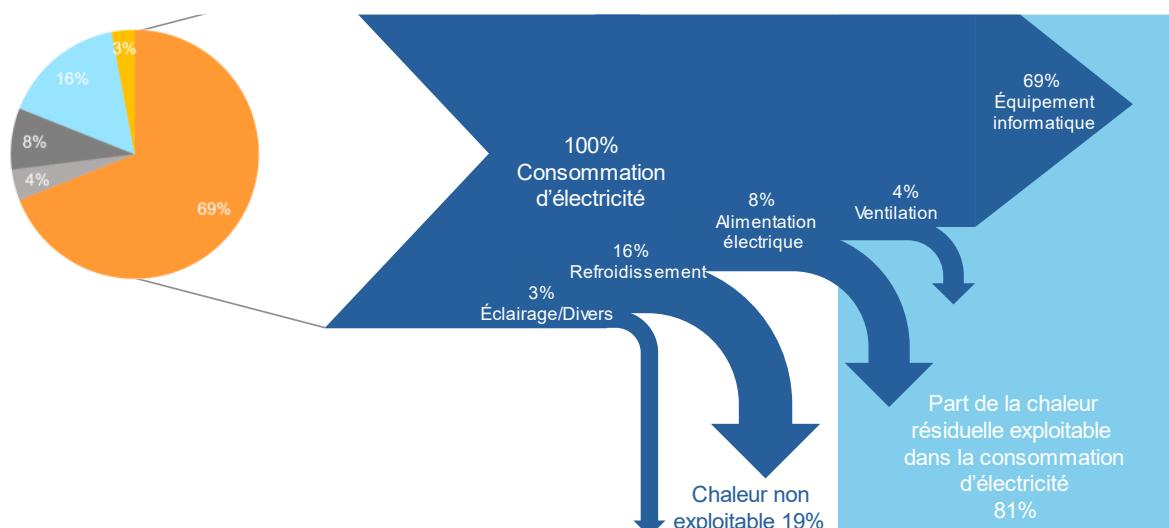
La numérisation croissante et la tendance à l'externalisation des processus informatiques dans le cloud entraînent un boom des centres de données en Suisse. Le nombre et la taille de ces centres ne cesseront d'augmenter. En 2019, des données sur la consommation totale d'électricité des centres de données suisses ont été recueillies, ce qui a permis d'estimer celle-ci à environ 2,1 TWh [2]. Les centres de données représentaient donc 3,6% de la consommation totale d'électricité en Suisse. L'année 2021 a vu une nette progression des centres de données, et les nouveaux grands centres planifiés auront des puissances et des surfaces cinq à dix fois plus grandes qu'il y a quelques années. En raison de la volatilité du marché, il est difficile de savoir quelle sera la situation d'ici cinq ans. Les estimations actuelles tablent sur une consommation d'électricité comprise entre 2,7 et 3,5 TWh en 2026.

Contrairement à d'autres secteurs, un centre de données fonctionne 24 heures sur 24. La chaleur résiduelle est donc produite à un niveau très constant pendant 8760 heures par an et constitue ainsi une source de chaleur très sûre pour les consommateurs potentiels. En outre, la chaleur résiduelle issue des processus de transformation d'énergie est considérée comme neutre en CO₂. En conséquence, l'exploitation de la chaleur résiduelle des centres de données peut contribuer à la réduction de la consommation d'énergie primaire et à la réalisation de l'objectif zéro net d'ici 2050 visé par le Conseil fédéral.

Sur la base des conditions-cadres actuelles de l'exploitation de la chaleur résiduelle des centres de données, cette étude fournit des pistes et des recommandations en vue de promouvoir l'exploitation de la chaleur résiduelle des centres de données. Elle identifie les facteurs d'influence pertinents pour une exploitation aussi optimale que possible de la chaleur résiduelle des centres de données et évalue le potentiel total disponible en Suisse.

L'efficacité énergétique des centres de données est décrite par l'indicateur Power Usage Effectiveness (PUE). La valeur PUE est un indicateur qui établit le rapport entre la consommation d'énergie totale du centre de données et la consommation d'énergie de l'infrastructure informatique. Plus la valeur PUE est faible, plus le centre de données est exploité efficacement. Les valeurs PUE typiques des centres de données plus anciens sans mesures d'efficacité se situent aux alentours de 2, celles des centres de données modernes avec des mesures d'efficacité globales se rapprochent de 1,1 à 1,2.

En principe, toute l'électricité consommée est finalement restituée sous forme de chaleur résiduelle. Afin de rendre cette chaleur résiduelle exploitable, elle doit pouvoir être découplée à un coût raisonnable. Il est notamment possible d'exploiter la chaleur résiduelle de l'équipement informatique, de l'alimentation électrique et de la ventilation.



L'utilisation externe de la chaleur résiduelle nécessite le découplage de la chaleur excédentaire d'un centre de données. En fonction de l'environnement, la chaleur résiduelle peut être injectée dans un réseau thermique existant

ou neuf. Ce réseau, généralement géré par une entreprise de services énergétiques, alimente ensuite le parc immobilier environnant en chaleur pour le chauffage, la production d'eau chaude et les processus artisanaux et industriels.

Dans le cas de l'exploitation de la chaleur résiduelle dans un réseau haute température, la chaleur résiduelle est généralement découpée à un niveau de température compris entre 20 °C et 30 °C, puis sa température est augmentée au niveau requis de 65 °C à 80 °C au moyen d'une pompe à chaleur. Cela présente l'avantage d'utiliser également la chaleur résiduelle des centres de données dont les niveaux de température sont bas et d'approvisionner en chaleur les zones où les températures requises sont élevées (comme les quartiers d'immeubles anciens). Côté inconvénients, notons les coûts d'investissement plus élevés et l'efficacité énergétique réduite en raison de la pompe à chaleur.

Dans un réseau basse température, la chaleur résiduelle est exploitée sans augmentation de la température, à condition que le niveau de température découpable soit supérieur à 32 °C. Cela permet d'atteindre un niveau de température de 30 °C pour l'utilisateur. Ces températures suffisent par exemple pour approvisionner des quartiers neufs ou des industries ayant des exigences de température peu élevées. L'avantage du réseau basse température réside dans les faibles coûts d'investissement et la haute efficacité énergétique. Son inconvénient est que seules quelques zones très spécifiques entrent en ligne de compte du fait des basses températures. Étant donné que les zones sont souvent mixtes et rarement constituées uniquement de bâtiments neufs, il est également envisageable de combiner un réseau d'anergie et des stations de clusters décentralisées qui peuvent approvisionner des zones en chaleur haute température.

Comme mentionné plus haut, la chaleur résiduelle d'un centre de données est produite à niveau constant tout au long de l'année. Dans les bâtiments, en revanche, les besoins en chaleur comportent une part saisonnière pour la chaleur de confort et une part constante pour l'eau chaude sanitaire. La part de l'eau chaude sanitaire dans les besoins en chaleur totaux dépend du standard du bâtiment; elle est plus élevée dans les constructions neuves. Afin de rendre l'utilisation de la chaleur résiduelle aussi efficace que possible et de maximiser la part exploitable, il est donc recommandé de trouver et de raccorder à un éventuel réseau thermique des consommateurs présentant des profils de charge en ruban. Il peut s'agir de bâtiments neufs dont les besoins en eau chaude sont relativement élevés ou de diverses industries comme le secteur agroalimentaire.

La rentabilité d'un réseau thermique doit être évaluée au cas par cas, car elle dépend de nombreux facteurs techniques ou propres aux sites. Comme la réalisation des réseaux de distribution, en particulier, nécessite des investissements importants, la proximité des consommateurs de chaleur par rapport au centre de données constitue un facteur décisif. La valeur indicative pour une première évaluation grossière de la rentabilité est une densité linéaire ou thermique d'au moins 2 MWh/(a*m) pour les réseaux thermiques à augmentation centrale de la température, comme le décrit le «Guide de planification Chauffage à distance» de SuisseEnergie. Si ce critère est (presque) satisfait lors d'une première évaluation, il est recommandé d'étudier spécifiquement un réseau donné ainsi que sa rentabilité.

En outre, d'un point de vue économique, il est avantageux de pouvoir utiliser directement la chaleur résiduelle sans augmenter sa température, c'est-à-dire sans recourir à une pompe à chaleur. Cela ne convient toutefois que pour les bâtiments neufs où les températures de départ du système de chauffage ne dépassent pas les 30 °C.

L'adéquation de différents centres de données pour l'approvisionnement d'un quartier résidentiel urbain particulier a été vérifiée à l'aide de plusieurs exemples de calcul. Dans le cadre de l'utilisation de la chaleur résiduelle, une part élevée de chaleur résiduelle exploitée et un taux de couverture élevé des besoins en chaleur dans le réseau sont souhaitables. Or, ce sont des objectifs contradictoires. Si l'on vise un taux de couverture élevé, un niveau de puissance élevé est nécessaire du côté de la chaleur résiduelle en raison des profils annuels divergents de l'offre et de la demande de chaleur. Cela diminue la part exploitable de la chaleur résiduelle. À l'inverse, le taux de couverture des besoins en chaleur par la chaleur résiduelle diminue lorsque la part exploitable de celle-ci augmente.

Il est recommandé de viser plutôt une part élevée de chaleur résiduelle exploitée. Cela implique de choisir ou de concevoir un réseau thermique dans lequel la chaleur résiduelle du centre de données constitue une source de chaleur complémentaire qui sert principalement à couvrir la charge de base. Le réseau thermique doit donc comporter plusieurs sources de chaleur. Par ailleurs, dans le but d'augmenter le taux d'exploitation de la chaleur résiduelle, il convient d'envisager le recours à des accumulateurs de chaleur saisonniers sous forme de champs de sondes géothermiques.

La volatilité actuelle du marché des centres de données entraîne de grandes incertitudes dans l'estimation du futur potentiel de chaleur résiduelle. C'est pourquoi cette étude présente une fourchette possible du potentiel de chaleur résiduelle des centres de données et des salles de serveurs en Suisse. Les facteurs d'influence pertinents suivants sont pris en compte:

- potentiel théorique de chaleur résiduelle découpable en fonction du type de centre de données;
- évolution des segments de centres de données;
- part des centres de données exploitant la chaleur résiduelle en interne et/ou en externe;
- potentiel réaliste d'exploitation de la chaleur résiduelle dans la zone environnante en fonction du niveau et de l'évolution dans le temps de l'offre et de la demande de chaleur.

Les estimations donnent un potentiel théorique de chaleur résiduelle découpable à moyen terme de 2,38 à 3,08 TWh/a. Étant donné qu'une exploitation externe rentable est difficile à réaliser dans le segment des centres de données internes aux entreprises et des salles de serveurs des PME, ce potentiel se réduit à environ 2,02 à 2,62 TWh/a restant à la disposition des prestataires de centres de données. Sous réserve d'une exploitation correcte de ce potentiel de chaleur résiduelle, l'importance des centres de données dans la réalisation des objectifs climatiques 2050 est jugée grande. À moyen terme, environ 140 000 à 185 000 ménages privés (3,7 à 4,7%) pourraient être chauffés et alimentés en eau chaude [1]. Dans le cas de l'approvisionnement en chaleur d'immeubles résidentiels équipés d'un chauffage à énergie fossile [2], cela conduit à une réduction des émissions à hauteur d'environ 420 000 à 555 000 tonnes de CO₂eq.

Afin d'évaluer les conditions-cadres existantes de l'exploitation de la chaleur résiduelle des centres de données et de développer des pistes d'amélioration possibles, neuf entretiens qualitatifs ont été menés avec des personnes impliquées dans une telle exploitation. Les questions clés des entretiens se sont concentrées, pour les communes, sur les procédures de permis de construire et la planification énergétique et, pour les exploitants de centres de données et les fournisseurs de services énergétiques, sur les principaux critères et incitations pour le découplage de la chaleur résiduelle ou l'exploitation d'un réseau de chaleur, les accords contractuels et la sécurité d'approvisionnement. Pour tous les groupes cibles, les entretiens ont abouti à un tableau homogène: les personnes interrogées se rejoignent dans l'appréciation des opportunités, des risques et des obstacles majeurs. Ces éléments sont évalués comme suit par les personnes interrogées:

- Opportunités – l'exploitation de la chaleur résiduelle des centres de données est jugée être une opportunité majeure à saisir. Toutes les personnes interrogées ont montré de l'intérêt pour l'exploitation de la chaleur résiduelle des centres de données et ont vu des situations gagnant-gagnant pour elles.
- Obstacles, aujourd'hui – le plus grand obstacle à l'exploitation de la chaleur résiduelle des centres de données est le manque de consommateurs de chaleur dans les environs. Pour les réseaux thermiques, le fait que tous les propriétaires ne soient pas intéressés par un raccordement (système de chauffage pas encore amorti, mauvaises expériences, etc.) constitue un obstacle supplémentaire.
- Risques – la sécurité d'approvisionnement dans le cadre de l'exploitation de la chaleur résiduelle des centres de données pour une exploitation à long terme du réseau et l'approvisionnement en chaleur.

Les quelques déclarations orales faites sur des indicateurs techniques lors des entretiens se sont révélées trop peu fiables lors de leur vérification ultérieure en vue de l'évaluation.

Les communes, les cantons et la Confédération sont généralement considérés comme détenant les principaux leviers pour promouvoir l'exploitation de la chaleur résiduelle dans les nouveaux centres de données. L'un des leviers des communes réside dans la procédure de permis de construire: afin d'influencer positivement l'efficacité électrique et l'exploitation de la chaleur résiduelle, il est possible d'édicter des directives supplémentaires pour les projets de construction de centres de données, telles que l'exigence de joindre une preuve de l'exploitation de la chaleur résiduelle à la demande de permis de construire. Et dans le but d'inciter les grands centres de données à s'installer sur des sites présentant une densité thermique élevée dans leurs environs, il est recommandé de saisir les possibilités offertes par les planifications communales. Cela peut par exemple se faire dans le cadre de la planification énergétique, en délimitant des zones d'interconnexion énergétique qui incluent la chaleur résiduelle. Il y a également lieu d'examiner la possibilité de définir de manière ciblée les emplacements des centres de données dans le règlement de construction (qui est contraignant pour les propriétaires fonciers).

En ce qui concerne la prise en compte du cycle de vie, l'horizon temporel des exploitants de centres de données (10 à 15 ans) est nettement plus court que celui des fournisseurs de services énergétiques qui exploitent des réseaux thermiques (30 à 40 ans). Le risque qui en résulte pour la sécurité d'approvisionnement du réseau en cas de disparition de la source de chaleur peut être couvert, par exemple, par une garantie de risque fournie par la Confédération. Une base légale pour la mise en œuvre d'une telle garantie est actuellement discutée au Parlement dans le cadre de la révision de la loi sur le CO₂.

Des accords contractuels supplémentaires conclus entre les exploitants des centres de données et les fournisseurs de services énergétiques pourraient constituer une autre solution permettant de réduire le risque lié à la «sécurité d'approvisionnement». Cela présuppose toutefois l'intérêt des deux parties et ne peut être influencé que sous certaines conditions (par exemple par des dispositions légales régissant la rétribution de la chaleur résiduelle versée aux exploitants des centres de données).

Pour une première estimation du potentiel de l'exploitation de la chaleur résiduelle sur un site en particulier, il est recommandé de développer un outil de calcul simple. Cet outil doit permettre aux exploitants d'estimer grossièrement la rentabilité et aider les communes à délimiter les zones interconnectées dans le cadre de la planification énergétique et à définir les preuves de l'exploitation de la chaleur résiduelle requises dans la procédure de permis de construire.

Il est également recommandé d'observer les tendances et les évolutions dont font l'objet les centres de données. Si les sites choisis demeurent intéressants à long terme pour les prestataires de centres de données (réseau, sécurité, etc.), cela peut modifier la prise en compte du cycle de vie par ces prestataires. L'important obstacle que constitue la sécurité d'approvisionnement pourrait ainsi s'atténuer.

1 Projektbeschrieb

1.1 Zielsetzung und Vorgehen

Das Ziel der vorliegenden Studie «Abwärmenutzung von Rechenzentren» ist es, die heutigen Rahmenbedingungen für die Abwärmenutzung von Rechenzentren zu eruiieren und deren Gesamtpotenzial schweizweit abzuschätzen. Daraus sollen Erkenntnisse, Lösungsansätze und Empfehlungen für den Anschub der Abwärmenutzung von Rechenzentren (RZ) abgeleitet werden. Im Rahmen des Projekts werden die relevanten Einflussfaktoren von Rechenzentren auf die externe Abwärmenutzung in der Umgebung aufgezeigt.

Die Wärmeentwicklung und der davon auskoppelbare, nutzbare Anteil hängt von der Stromeffizienz und Infrastruktur des Rechenzentrums ab (siehe Kapitel 3 und 4). Die externe Abwärmenutzung von Rechenzentren fokussiert auf die Möglichkeiten in Wärmenetzen, welche von Energiedienstleistenden betrieben werden (Kapitel 3). Mögliche Abwärmenutzungen von einzelnen Gebäuden in der Nachbarschaft sind Einzelfallbetrachtungen und werden in dieser Studie nicht betrachtet.

Der nutzbare Anteil der Abwärme im Wärmenetz ist durch saisonale Faktoren und der Beschaffenheit der Jahresprofile von Abwärme (Angebot) und Wärmebedarf (Nachfrage) beschränkt (gemäss Kapitel 4). Die relevanten Faktoren für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes sind insbesondere der potenzielle Wärmeabsatz und die Länge der Leitungstrassen (Kapitel 4 und 5).

Das Abwärmepotenzial der Rechenzentren in der Schweiz wird in Kapitel 7 auf Basis der Resultate der Studien zum Stromverbrauch im Auftrag des Bundesamtes für Energie aus dem Jahr 2021 abgeschätzt und beurteilt [3].

Die ersten Erkenntnisse wurden im Rahmen der in Kapitel 8 beschriebenen qualitativen Interviews mit den an der Abwärmenutzung Beteiligten validiert. Ergänzend zu den in Kapitel 1.2 beschriebenen laufenden Projekten zum Anschub der Abwärmenutzung, werden in dieser Studie die wesentlichen Chancen, Risiken und Hemmnisse ausgeführt. Abschliessend werden in Kapitel 9 weiterführend Lösungsansätze aufgezeigt, sowie Empfehlungen zum weiteren Vorgehen ausgesprochen.

1.2 Hintergrund / Motivation

Die zunehmende Digitalisierung sowie der Trend zur Auslagerung von IT-Prozessen in Clouds führen zu einem Boom der Rechenzentren (RZ) in der Schweiz. Sowohl die Anzahl als auch die Grösse der Rechenzentren wird weiter zunehmen.

Die Schweiz ist aufgrund ihrer politischen Stabilität, der Verfügbarkeit von Fachkräften, der sicheren Stromversorgung und der zentralen Lage in Europa ein attraktiver Standort für grosse Rechenzentrums-Dienstleister. Der Boom findet dabei vor allem im Grossraum Zürich und der Region Genfersee statt. In Europa hat die Schweiz nach den Niederlanden im Jahr 2020 im Vergleich zur Einwohnerzahl die zweithöchste Dichte an Rechenzentren [4].

Im Jahr 2019 wurden Daten zum Gesamtstromverbrauch der Schweizer Rechenzentren erhoben und auf rund 2.1 TWh geschätzt. Vom gesamten Schweizer Stromverbrauch entfielen somit 3.6 Prozent auf die Rechenzentren [3]. Im Jahr 2021 wurde ein deutlicher Wachstumssprung der Rechenzentren festgestellt und die neuen grossen Rechenzentren werden hinsichtlich Leistung und Fläche fünf- bis zehnmal grösser geplant als ein paar Jahre davor [5]. Infolge des volatilen Marktes kann die tatsächlich in fünf Jahren eintretende Situation kaum abgeschätzt werden.

Im Gegensatz zu anderen Industrien läuft ein Rechenzentrum rund um die Uhr. Die anfallende Abwärme fällt somit auf einem sehr konstanten Niveau, während 8'760 Stunden im Jahr, an und ist daher eine sehr sichere Wärmequelle für potenzielle Abnehmer. Darüber hinaus gilt die Abwärme aus Energieumwandlungsprozessen als CO₂-neutral [6]. Entsprechend kann die Abwärmenutzung von Rechenzentren einen Beitrag zur Reduktion des Primär-Energieverbrauchs und damit zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2050 des Bundesrats leisten.

Aktuell wird das Potenzial der Abwärmenutzung von Rechenzentren jedoch noch zu wenig ausgeschöpft [3].

Um die Nutzung der Abwärme zu erhöhen und die Energieeffizienz der Rechenzentren zu steigern, sind bereits folgende Projekte im regulatorischen Bereich in Auftrag:

- Pilotprojekt der Hochschule Luzern (HSLU) mit dem Kanton Schaffhausen: Überprüfung von zusätzlichen Angaben im Baugesuch und Anforderungen in der Baubewilligung zur Energieeffizienzsteigerung und Abwärmenutzung für Rechenzentren.
- Der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) erarbeitet eine Norm zu Energiestandards für Rechenzentren, inklusive Abwärmenutzung.

Als Ergänzung zu diesen laufenden Projekten, sind im Rahmen der vorliegenden Studie übergeordnete Lösungen und konkrete Empfehlungen für den gesamten Prozess und alle daran Beteiligten zu definieren, welche dem Anschub der Abwärmenutzung von Rechenzentren dienen.

1.2.1 Studie «Rechenzentren in der Schweiz – Stromverbrauch und Effizienzpotenzial» [3]

Die Studie zum Stromverbrauch der Rechenzentren in der Schweiz startete 2019 im Auftrag von EnergieSchweiz. Die Resultate des Schlussberichts der TEP Energy GmbH und der Hochschule Luzern (HSLU) mit Stand April 2021 bieten Anhaltspunkte für die Annahmen und Schätzungen zum Abwärmepotenzial und Lösungen zur Effizienzsteigerung der Schweizer Rechenzentren.

Folgende Hauptsegmente wurden in der Studie unterschieden:

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

Im Jahr 2019 wurden alle Segmente der Rechenzentren separat, im Rahmen einer umfassenden, quantitativen Datenerhebung, zu Stromverbrauch und Effizienzmassnahmen befragt. Aus den statistischen Analysen und der Hochrechnung auf die Schweiz ergibt sich für das Jahr 2019 ein jährlicher Stromverbrauch in Schweizer Rechenzentren und Serverräumen zwischen 1.85 und 2.37 TWh. Der «best guess» liegt bei 2.1 TWh. Dieser verteilt sich auf die Segmente wie folgt:

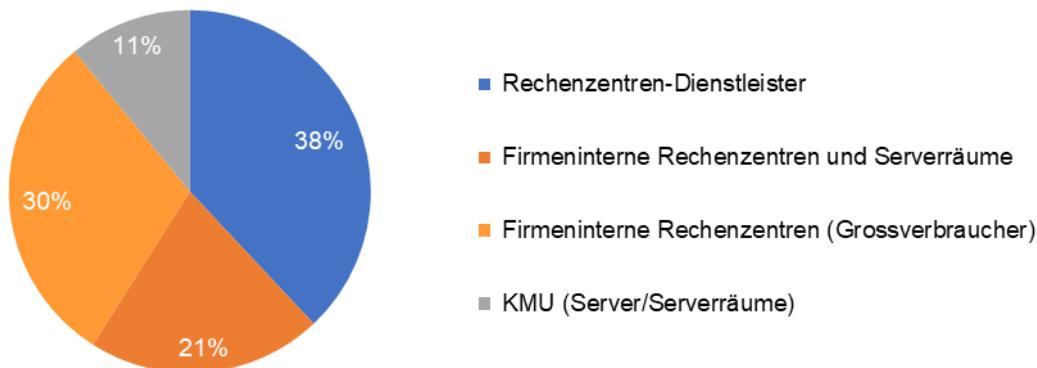


Abbildung 1: Anteil des Stromverbrauchs der Rechenzentren in der Schweiz nach Segmenten, Stand 2019

Hinsichtlich der Effizienz sind in erster Priorität Massnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs umzusetzen. Gemäss der Studie, besteht mit geschätzten 46 Prozent noch ein beträchtliches Potenzial zur Effizienzsteigerung innerhalb der bestehenden Rechenzentren. In erster Priorität gilt es daher, dieses Potenzial auszunutzen und den Strombedarf innerhalb der bestehenden Rechenzentren zu reduzieren bzw. die neuen Rechenzentren nach dem neusten Stand der Technik zu planen.

Die wichtigsten Effizienzsteigerungsmassnahmen in Rechenzentren sind dabei:

- Trennung der Kalt- und Warmgänge des IT-Equipments
- Nutzung von Free-Cooling (anstatt Kältemaschinen)
- Einhausung der Serverracks
- Lichtsteuerung (Präsenzbeleuchtung)
- variable Regelung der Luftmengen
- hohe Systemraumtemperaturen
- modulare Systemkonfiguration

Aus Klimasicht ist erst der Stromverbrauch mittels Effizienzmassnahmen zu minimieren und erst dann auf die Nutzung der nicht vermeidbaren Abwärme zu fokussieren.

Zur Reduktion des Stromverbrauchs zeigen sich hinsichtlich umgesetzter Effizienzmassnahmen folgende Unterschiede zwischen den drei Segmenten von Rechenzentren:

- Klein- und Mittelständische Unternehmen (KMU): Kaum bis keine Effizienzmassnahmen in Serverräumen. Mehr als 50 Prozent der KMU gaben an, keine Massnahmen umgesetzt zu haben.
- Firmeninterne Rechenzentren (z.B. Banken, Versicherungen, Forschungsinstitute): Effizienzmassnahmen sind teilweise umgesetzt. Je nach Massnahme liegt der Umsetzungsanteil zwischen 8 Prozent (z.B. Messungen und Lastganganalyse) und etwa 30 Prozent (Nutzung von Free-Cooling).
- Rechenzentrums-Dienstleister: In diesem Segment sind in mehr als 50 Prozent der Rechenzentren folgende Effizienzmassnahmen umgesetzt: Trennung Kalt- und Warmgänge, Nutzung von Free-Cooling, Einhausung der Serverracks, Lichtsteuerung, variable Regelung der Luftmengen, hohe Systemtemperaturen und modulare Systemkonfiguration.

Ebenfalls wurden die Rechenzentren-Betreibenden zur Abwärmennutzung befragt. Die Rückmeldungen zeigten, dass 2019 in 35 Prozent der Rechenzentren der Dienstleister und in 20 Prozent der internen Rechenzentren in den Firmen die Abwärme genutzt wurde.

In der Studie zum Stromverbrauch endet die obere Skalierung der installierten IT-Leistung der Rechenzentren bei «> 2 MW». Im Jahr 2019 entfielen auf diesen IT-Leistungsbereich drei Prozent der firmeninternen Rechenzentren und 12 Prozent der Rechenzentren-Dienstleister.

Bis 2026 wird ein Stromverbrauch von Rechenzentren in der Schweiz zwischen 2.7 und 3.5 TWh erwartet. Auf diesen Annahmen basierend, wird in Kapitel 7 dieser Studie das Abwärmepotenzial der Schweizer Rechenzentren und Serverräume geschätzt sowie beurteilt.

1.2.2 Studie «Rechenzentren in der Schweiz - Bau- und Ausbaupläne» [5]

Wie die Studie zu den Bau- und Ausbauplänen der Rechenzentren von Anfang 2021 zeigt, werden neuere Rechenzentren, hinsichtlich Leistung und Fläche, fünf- bis zehnmal grösser geplant als noch ein paar Jahre davor. Dabei sind die einzelnen RZ-Leistungen mit jeweils über 10 MW häufig und gehen bei Vollausbau von 40 bis 100 MW aus. Ebenfalls ist ein klarer Anstieg der Projekte in Planung erkennbar.

Bis 2026 wird von einer Zunahme der installierten Leistung von 700 MW ausgegangen. Bei einer Auslastung von 40 Prozent ergibt sich daraus pro Jahr ein zusätzlicher Stromverbrauch von ca. 2.5 TWh. Dabei weist der Autor der Studie explizit darauf hin, dass aufgrund des volatilen Marktes der Rechenzentren, die in fünf Jahren eintretende Situation nicht präzise vorausgesagt werden kann.

2 Arten von Rechenzentren

2.1 Strom-Effizienz der Infrastruktur

Rechenzentren unterscheiden sich nach der Effizienz der Infrastruktur, die mit der Power Usage Effectiveness (PUE) beschrieben wird. Der PUE-Wert ist eine Kennzahl, die den Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums in das Verhältnis zum Energieverbrauch der IT-Infrastruktur setzt.

Je kleiner der PUE-Wert ist, desto effizienter wird ein Rechenzentrum betrieben. Typische PUE-Werte in älteren Rechenzentren ohne Effizienzmassnahmen liegen etwa bei 2, in modernen Rechenzentren mit umfassenden Effizienzmassnahmen bei etwa 1.1 bis 1.2.

Von dem gesamten Stromverbrauch des Rechenzentrums hängt ab, wieviel Abwärme in einem Rechenzentrum entsteht. Für die Wärmeentwicklung ist dabei nach den folgenden Stromverbrauchern zu unterscheiden:

- IT-Equipment: Server, Prozessor, Server-Netzteil, Kommunikationsausrüstung, Lagerung usw.
Die Auslastung des IT-Equipments hat einen direkten Einfluss auf seinen Energieverbrauch, der höchstens die installierte IT-Leistung betragen kann. In diesem Bericht wird, gemäss der Studie zu den Bau- und Ausbauplänen der Rechenzentren in der Schweiz [5], die IT-Auslastung mit durchschnittlich 40 Prozent angenommen.
- Kühlung: Kälteerzeugung und -verteilung
Der Energieverbrauch hängt hauptsächlich vom Kühlsystem und der Betriebstemperatur des IT-Equipments ab. Kältemaschinen verbrauchen viel Energie. Bei höheren IT-Betriebstemperaturen kann die Kühlung auch durch Free-Cooling erfolgen, was den Energieverbrauch stark reduziert.
- Stromversorgung: Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), Netzersatzanlage (NEA), Trafo, Haupt-/Unterverteilung usw.
- Lüftung: Luftförderung wie Klimageräte, Umluftkühlgeräte, Kühler in Reihe usw.
- Beleuchtung, Diverses

Der Einfluss der Energieeffizienz der oben genannten Geräte und Anlagen auf den gesamten Stromverbrauch eines Rechenzentrums ist nicht Bestandteil dieser Studie.

2.2 Zusammenhang von Stromverbrauch und Abwärme

Grundsätzlich fällt der gesamte Strom, welcher verbraucht wird, schlussendlich als Abwärme an. Um die Abwärme nutzbar zu machen, muss sie mit vertretbarem Aufwand ausgekoppelt werden können.

Die Umwandlungsanteile des Stromverbrauchs, welche als nutzbare Abwärme für Heizung, Warmwasser und Prozesswärme verwendet werden können, hängen vom jeweiligen Stromverbraucher ab und sind in Kapitel 2 beschrieben.

Da der Betreiber eines Rechenzentrums nicht als Wärmeversorger auftritt bzw. auftreten will, wird die von der Kältemaschine (Stromverbraucher) anfallende Abwärme mehrheitlich mittels Rückkühlung ungenutzt an die Aussenluft abgegeben. Durch die Abgabe der Abwärme der Kältemaschine über die Rückkühlung an die Aussenluft, kann die allfällige Abwärme einer Kältemaschine von 35 bis 45°C nicht mehr in einem externen Wärmenetz genutzt werden. In dieser Studie wird deshalb ein Niedertemperaturniveau der Abwärme von 30 bis 32°C angenommen.

Die folgenden Annahmen zu den Umwandlungsanteilen basieren auf der Studie «Energieeffizientes Kühlen von IT-Räumen» [7], und einem Abgleich (Stand 2022) auf Basis der Erfahrungen der Fachexperten René Gürber (eicher+pauli AG) und Adrian Altenburger (HSLU).

- IT-Equipment: Der Stromverbrauch für die IT kann zu 100 Prozent als Abwärme genutzt werden.
- Stromversorgung: Bei der Umwandlung und Verteilung des Stroms entstehen Verluste, die in Wärme umgewandelt und als Abwärme genutzt werden können.
- Lüftung: Der Stromverbrauch zur Luftförderung muss weggekühlt werden und ist 100 Prozent als Abwärme nutzbar.
- Kühlung: Bei der Kühlung entsteht Abwärme. Da die Abwärme-Auskopplung zur externen Nutzung im Wärmenetz nicht auf dem Kühlkreislauf der Kältemaschine betrachtet wird, sondern vor der Kältemaschine, fällt keine extern nutzbare Abwärme an (Systemgrenze).
- Beleuchtung, Diverses: Der Anteil der Beleuchtung ist sehr gering (Präsenzbeleuchtung, mehrheitlich bereits Ersatz mit LED).

Der grösste Anteil des Stromverbrauchs entfällt auf das IT-Equipment und die entstehende Wärme kann 100 Prozent als Abwärme ausgekoppelt werden. Aus diesem Zusammenhang steigt mit zunehmender Effizienz eines Rechenzentrums auch der prozentuale Anteil der extern nutzbaren Abwärme vom Gesamt-Stromverbrauch.

In dem nachfolgenden Energieflossdiagramm ist der nutzbare Anteil der Wärme für die Abwärmenutzung in einem heute typischen Rechenzentrum dargestellt.

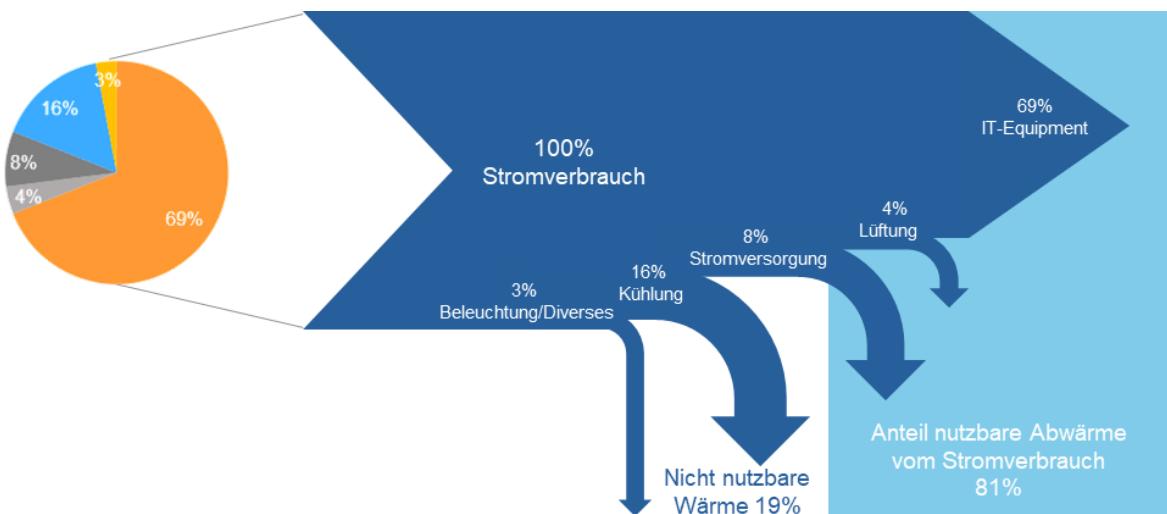


Abbildung 2: Energieflossdiagramm Stromverbrauch und nutzbare Abwärme in Rechenzentren

In den folgenden Kapiteln 2.3 bis 2.5 werden die drei, für die Abwärmenutzung relevanten, Infrastrukturen von Rechenzentren beschrieben. Dabei wird je nach umgesetzten Effizienzmassnahmen in folgende Arten von Rechenzentren unterschieden: Älteres Rechenzentrum ohne Effizienzmassnahmen (Kapitel 2.3), heute typisches Rechenzentrum mit mehreren umgesetzten Effizienzmassnahmen (Kapitel 2.4) und ein modernes Rechenzentrum mit modernster Infrastruktur (Kapitel 2.5).

Die in den nachfolgenden Kapiteln 2.3 bis 2.5 erwähnten Raumtemperaturen sind nicht mit der Ansaugluft des IT-Equipments gleichzusetzen. Je nach Rack-Layout und mit oder ohne Einhausung fällt die Ansaugluft des IT-Equipments über der angegebenen Raumlufttemperaturen an. Bei einer durchgängigen umgesetzten Kaltgang-Einhäusung kann die Raumtemperatur gleich Ansaugluft definiert werden.

2.3 Älteres Rechenzentrum

Ältere Rechenzentren weisen oft keine klare Layoutführung der Racks/Server innerhalb des Serverraumes auf. Die Raumtemperaturen bewegen sich um die 20 bis 22°C und die Kälteversorgung erfolgt grösstenteils über Kältemaschinen ohne Free-Cooling, auf einem tiefen Temperaturniveau des Kaltwassers zwischen 6 und 12°C.

In Abbildung 3 ist ein bestehendes Rechenzentrum mit einer Infrastruktur ohne Strom-Effizienzmassnahmen dargestellt. Da die Abwärmenutzung in diesem System aktuell nicht erfolgt (Kapitel 1.2.1), ist die theoretisch mögliche, externe Abwärmenutzung in einem Wärmenetz gestrichelt dargestellt. Die Wärmeauskopplung kann nachgerüstet werden. Eine Möglichkeit hierfür sind Anbohrschellen mit Absperrungen im laufenden Betrieb. Die Umsetzung ist eine Einzelfallbetrachtung und entsprechend projektspezifisch zu prüfen. In nachfolgender Grafik erfolgt die nachgerüstete Auskopplung zwischen den Kühlgeräten und der Kältemaschine auf Niedertemperaturniveau.

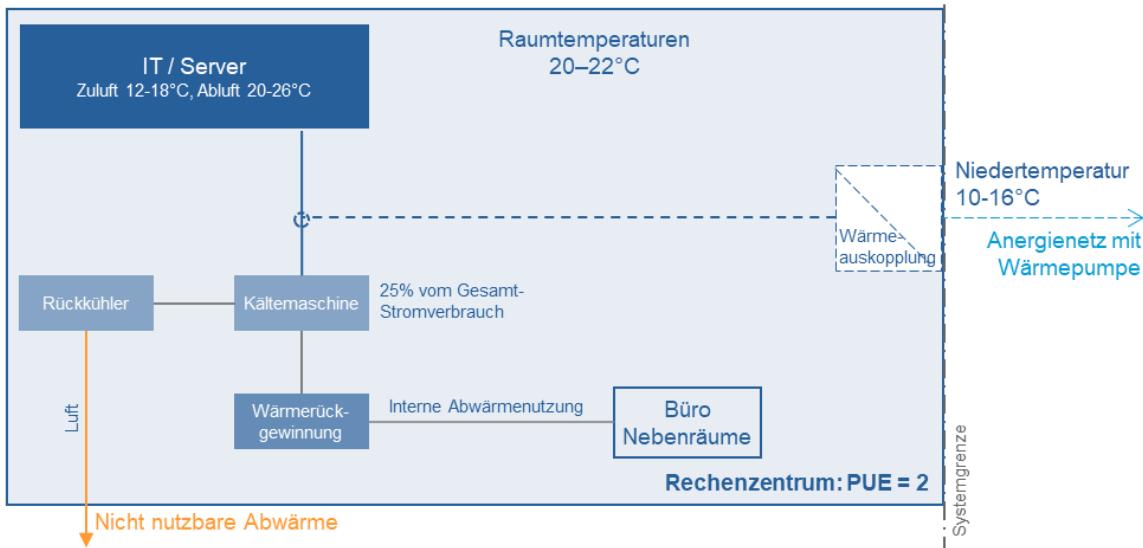


Abbildung 3: Älteres Rechenzentrum – Infrastruktur ohne Effizienzmassnahmen + theoretisch mögliche Abwärmenutzung

Rechenzentren ohne Stromeffizienzmassnahmen weisen in der Regel einen PUE-Wert von 2 auf. Das heisst, dass 50 Prozent des gesamten Stromverbrauchs auf das IT-Equipment entfallen.

Diese Infrastruktur ist typisch für KMU-Serverräume und firmeninterne Rechenzentren. Stand 2019 erfolgte die Kühlung in beiden Segmenten zu über 50 Prozent mit Kältemaschinen.

Die Anteile des Stromverbrauchs und der Umwandlungsanteil in nutzbare Abwärme in einem älteren Rechenzentrum ist nachfolgend dargestellt.

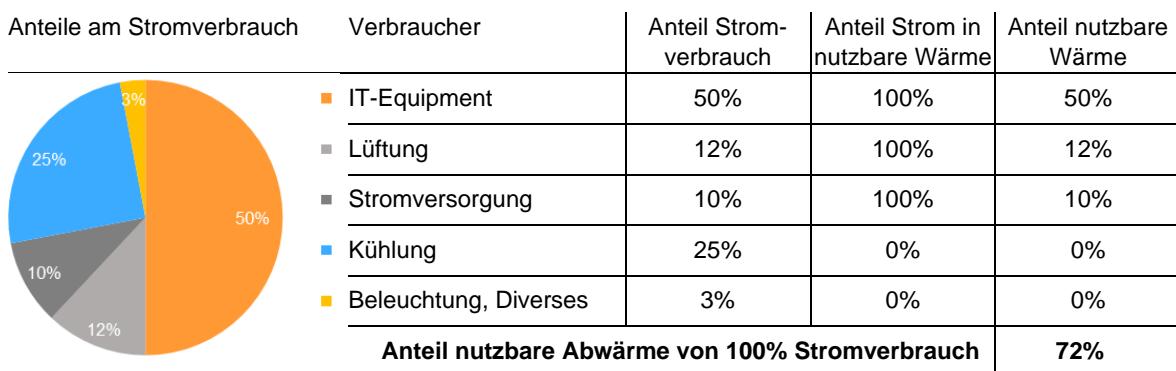


Tabelle 1: Älteres Rechenzentrum – Anteile Stromverbrauch und nutzbare Abwärme nach Verbraucher

2.4 Typisches Rechenzentrum

Ein heutzutage typisches Rechenzentrum weist eine klare Layoutführung der Racks/Server auf. Diese weisen vermehrt bereits eine Einhausung der Racks/Cubes innerhalb des Serverraumes auf. Die Raumtemperaturen bewegen sich um die 26°C und die Kälteversorgung erfolgt grösstenteils noch über Kältemaschinen mit Free-Cooling auf hohem Temperaturniveau des Kaltwassers zwischen 18 und 24°C.

In einem typisch vorhandenen Rechenzentrum sind mehrere Strom-Effizienzmassnahmen umgesetzt. Die Abwärmenutzung in einem Wärmenetz ist gestrichelt dargestellt. Die Nachrüstung der Wärmeauskopplung erfolgt hier wie in einem älteren Rechenzentrum (Kapitel 2.3) zwischen den Kühlgeräten und der Kältemaschine auf Niedertemperaturniveau.

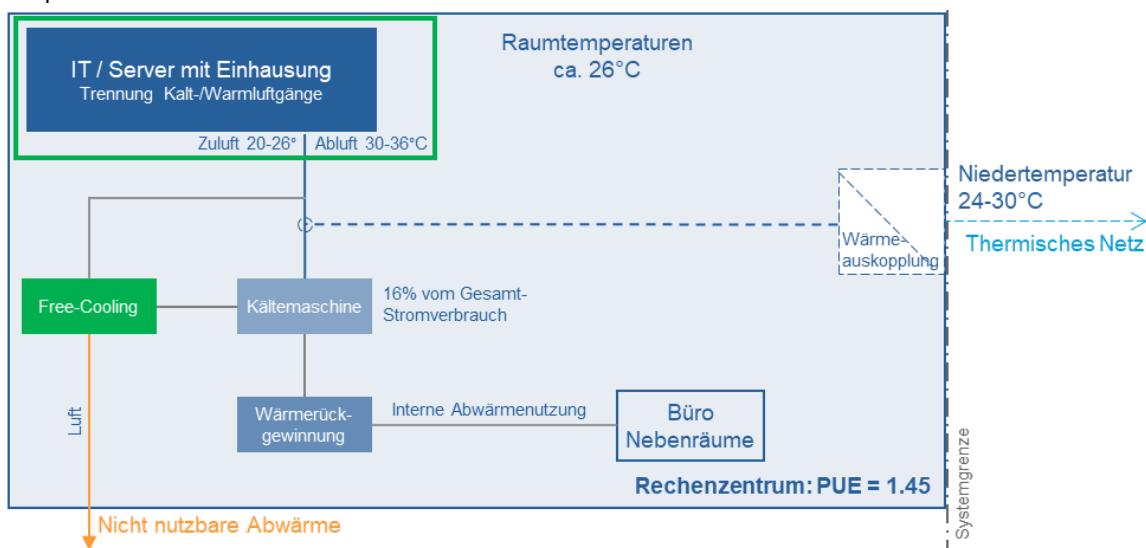


Abbildung 4: Typisches Rechenzentrum – Infrastruktur mit Effizienzmassnahmen + theoretisch mögliche Abwärmenutzung

Im Jahr 2019 ist diese Infrastruktur typisch für Rechenzentrums-Dienstleister, die Effizienzmassnahmen wie in Kapitel 1.2.1 beschrieben, umgesetzt haben. Teils findet sich diese Infrastruktur auch in firmeninternen Rechenzentren.

In Tabelle 2 sind die Anteile von Stromverbrauch und Umwandlung in nutzbare Abwärme in einem typischen Rechenzentrum dargestellt.

Anteile am Stromverbrauch	Verbraucher	Anteil Stromverbrauch	Anteil Strom in nutzbare Wärme	Anteil nutzbare Wärme
	IT-Equipment	69%	100%	69%
	Lüftung	4%	100%	4%
	Stromversorgung	8%	100%	8%
	Kühlung	16%	0%	0%
	Beleuchtung, Diverses	3%	0%	0%
Anteil nutzbare Abwärme von 100% Stromverbrauch				81%

Tabelle 2: Typisches Rechenzentrum – Anteile Stromverbrauch und nutzbare Abwärme nach Verbraucher

2.5 Modernes Rechenzentrum

Ein modernes Rechenzentrum weist eine klare Layoutführung der Racks/Server, mit einer durchgängigen Einhausung aller Racks/Cubes innerhalb des Serverraumes auf. Die Raumtemperaturen bewegen sich um die 28°C und die Kälteversorgung erfolgt grösstenteils über ein indirektes Free-Cooling auf einem hohen Kaltwassertemperaturniveau von >24°C. Auf Kältemaschinen, zur Erhöhung der Verfügbarkeit oder zur Dämpfung von Spitzentemperaturen, wird oft verzichtet.

Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Rechenzentrum mit einer modernen Infrastruktur. Die Wärmeauskopplung erfolgt hier zwischen den Kühlgeräten und der internen Wärmeauskopplung auf Niedertemperaturniveau.

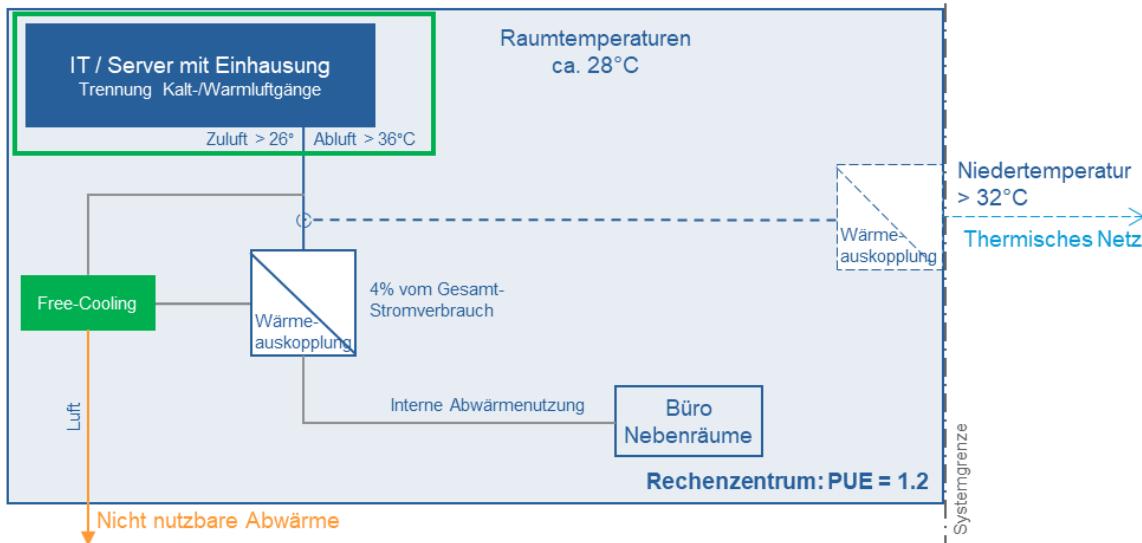


Abbildung 5: Modernes Rechenzentrum – Modernste Infrastruktur mit Abwärmenutzung

Diese moderne Infrastruktur findet man seit wenigen Jahren in den Neubauten der Rechenzentrums-Dienstleister und firmeninternen Rechenzentren.

Die Abwärme wird intern im Rechenzentrum (Büro/Nebenräume) und extern in einem Wärmenetz genutzt. Die hohen Zuluft-Systemtemperaturen von über 26°C ermöglichen die Auskopplung der Abwärme auf einem Temperaturniveau von über 32°C. Damit ist die Nutzung der Abwärme in einem Niedertemperaturnetz, welches näher in Kapitel 3 beschrieben ist, möglich.

Die Anteile von Stromverbrauch und nutzbarer Abwärme eines modernen Rechenzentrums zeigt die nachfolgende Tabelle.

Anteile am Stromverbrauch	Verbraucher	Anteil Stromverbrauch	Anteil Strom in nutzbare Wärme	Anteil nutzbare Wärme
	■ IT-Equipment	84%	100%	84%
	■ Lüftung	4%	100%	4%
	■ Stromversorgung	7%	100%	7%
	■ Kühlung	4%	0%	0%
	■ Beleuchtung, Diverses	1%	0%	0%
Anteil nutzbare Abwärme von 100% Stromverbrauch				95%

Tabelle 3: Modernes Rechenzentrum – Anteile Stromverbrauch und nutzbare Abwärme nach Verbraucher

3 Arten der Abwärmennutzung von Rechenzentren

Für die externe Abwärmennutzung wird die überschüssige Wärme eines Rechenzentrums ausgekoppelt.

Die Abwärme kann je nach Umgebung in ein neues oder in ein bestehendes Wärmenetz eingespeist werden. Das in der Regel von einem Energiedienstleistungsunternehmen betriebene Wärmenetz versorgt dann den Gebäudepark in der Umgebung mit Wärme für Heizung, Warmwasseraufbereitung sowie für gewerbliche und industrielle Prozesse.

Falls eine direkte Nutzung in einem Nachbargebäude, auf dem Areal oder in einem Nahwärmeverbund möglich ist, ist dies eine weitere Option der Abwärmennutzung von Rechenzentren. In diesem Fall tritt entweder der Rechenzent-Betreiber oder der Wärmeabnehmer als Contractor auf.

3.1 Wärmenetze und Abwärmennutzung allgemein

3.1.1 Wärmenetze

Nach Temperaturniveau und Leistungsfähigkeit / Ausdehnung werden Wärmenetze wie folgt charakterisiert:

Temperaturniveau im Betrieb

- Hochtemperaturnetze: $\geq 60^{\circ}\text{C}$
- Niedertemperaturnetze: $< 60^{\circ}\text{C}$

Anschlussleistung / Ausdehnung

- Nahwärmenetz: Kleinere Netze mit Anschlussleistungen von 50 kW bis einigen Megawatt, die sich über verhältnismässig kurze Strecken ausdehnen (z.B. einige benachbarte Grundstücke).
- Fernwärmenetz: Die grösseren Fernwärmenetze decken Anschlussleistungen von etwa 100 kW bis 300 MW ab. Die Leitungsnetze sind ausgedehnter und bis etwa 20 bis 30 km wirtschaftlich zu betreiben.

3.1.2 Abwärmennutzung

Die Abwärme eines Rechenzentrums kann in der Umgebung in bestehenden sowie in neuen Wärmenetzen genutzt werden.

Vorteil eines neuen Wärmenetzes ist, dass dieses optimal auf die auskoppelbare Abwärme des Rechenzentrums und die Wärmeabnahme in der Umgebung ausgelegt und betrieben werden kann.

Die Einspeisung der Abwärme eines Rechenzentrums in ein bestehendes Wärmenetz hingegen ist eine von der lokalen Situation abhängige Sonderbetrachtung. Im ersten Schritt sind hierfür die Möglichkeiten mit dem Netzbetreiber zu evaluieren. Voraussetzungen sind, dass im bestehenden Netz zusätzlicher Wärmebedarf zur Spitzenlastdeckung, Substitution vorhandener Wärmequellen und/oder zur Erweiterung des Wärmenetzes besteht. Des Weiteren sind für den Entscheid auch Alter und Zustand – sprich die restliche Lebensdauer der bestehenden Netzinfrastruktur – zu betrachten.

3.2 Abwärmennutzung in einem Hochtemperaturnetz

Das Temperaturniveau der auskoppelten Abwärme eines Rechenzentrums liegt in der Regel zwischen 20°C und 30°C . Im thermischen Netz wird in einer Wärmezentrale/Quartierzentrale das Temperaturniveau mittels Wärme-pumpen angehoben. Diese Wärmeenergie wird dann in der Regel zur Gebäudeheizung und Warmwasseraufbereitung auf einem Temperaturniveau von 65 bis 80°C genutzt.

Optional kommt bei einem Hochtemperaturnetz zusätzlich ein saisonaler Speicher, wie z.B. ein Erdsondenfeld, in Frage. Die Erdsonden speichern im Sommer die überschüssige Abwärme des Rechenzentrums und regenerieren das Erdreich. Im Winter steht die gespeicherte Wärme dann zusätzlich für die Gebäudeheizung zur Verfügung.

Nachfolgend ist das Prinzipschema für die typische Abwärmennutzung von Rechenzentren in ein Hochtemperatur-netz dargestellt.

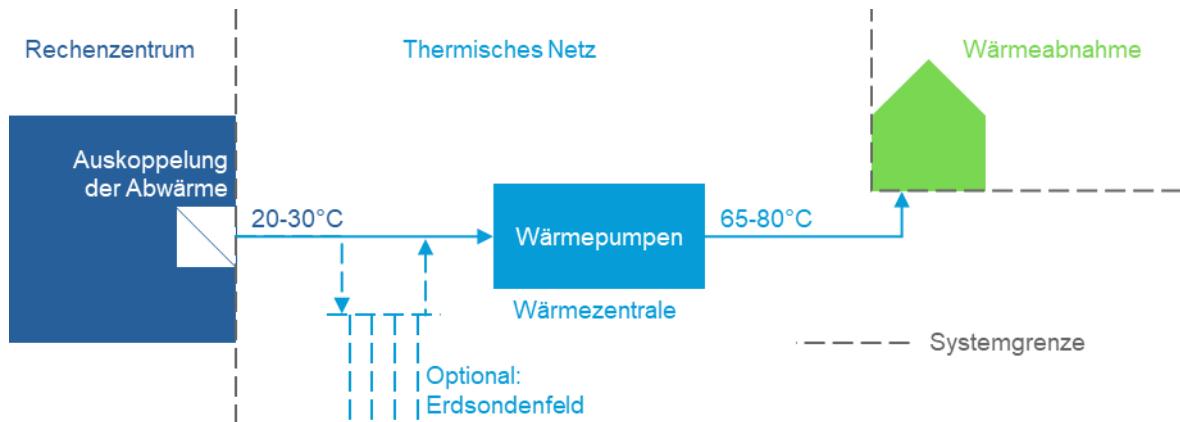


Abbildung 6: Prinzipschema einer indirekten Abwärmenutzung in einem Hochtemperaturnetz mit Wärmezentrale

Vorteile: Das Hochtemperaturnetz kann mittels Anhebung des Temperaturniveaus auch mit den niederen Abwärmetemperaturen eines Rechenzentrums betrieben werden. In Gebieten mit einem hohen Anteil an Altbauten oder anderen Verbrauchern, welche eine hohe Vorlauftemperatur benötigen, bietet sich ein Hochtemperaturnetz an.

Die zentrale Wärmeerzeugung innerhalb des Netzes erlaubt es, natürliche Kältemittel und industrielle Wärmepumpen mit besseren Wirkungsgraden einzusetzen.

Der Einsatz eines saisonalen Speichers ist aufgrund der Temperaturen nur in Kombination mit einer Wärmepumpe möglich. Ein Wärmenetz mit saisonaler Speicherung und Abwärme eines Rechenzentrums eignet sich grundsätzlich nur in Gebieten mit einer saisonalen Verlagerung des Wärmebedarfs. Aufgrund der komplexen technischen und wirtschaftlichen Zusammenhänge ist der Einsatz eines saisonalen Speichers individuell und in jedem Projekt einzeln zu betrachten.

Nachteile: Bei der Nutzung von Abwärme auf Niedertemperaturniveau, wie z.B. bei Rechenzentren, ist ein Hochtemperaturnetz für den Energiedienstleister kostenintensiver als ein Niedertemperaturnetz. Dies, weil im Netz eine Wärmezentrale zur Temperaturanhebung erforderlich ist. In Gebieten mit einem hohen Anteil an Neubauten ist die dezentrale Warmwasseraufbereitung in den Gebäuden mittels Wärmepumpenboiler effizienter und gesamtheitlich wirtschaftlicher.

3.3 Abwärmenutzung in einem Niedertemperaturnetz

Die Abwärmenutzung eines Rechenzentrums in einem Niedertemperaturnetz ist grundsätzlich ohne Temperaturerhöhung über eine Wärmezentrale (Wärmepumpe) möglich. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass das Temperaturniveau der Abwärme des Rechenzentrums bei über 32°C liegt. Damit ist ein Temperaturniveau der Wärmeabgabe an die Nutzer von etwa 30°C gewährleistet. Bei einem Beispiel einer realisierten Auskopplung liegt das Kaltwasserniveau zur Kühlung der Server bei 35/25°C. Die Auskopplung erfolgt über einen Wärmetauscher mit einer Grädigkeit von 2K, was zu einer nutzbaren Abwärme-Temperatur von 33/23°C führt.

Auch im Niedertemperaturnetz ist der Einsatz eines zusätzlichen saisonalen Speichers, wie z.B. über ein Erdsondenfeld, möglich. Da das Temperaturniveau der ausgekoppelten Abwärme im Erdsonderfeld jedoch weiter absinkt, ist im Wärmenetz eine nachgeschaltete zentrale Wärmepumpe zur Temperaturanhebung erforderlich. Infolge der Speicherung ist in dem Niedertemperaturnetz somit keine direkte Wärmeversorgung möglich. Zudem fallen Zusatzkosten für Speicherung plus Wärmepumpe an. Niedertemperaturnetze mit Speicherung werden hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit als eher unattraktiv zur Umsetzung eingeschätzt und deshalb in dieser Studie nicht weiterführend beschrieben.

Die Auskopplung der Abwärme auf einer Systemtemperatur von etwa 33°C (Sicht Rechenzentrum-Seite) ist ein Spezialfall. Die höhere Temperaturauskopplung bedingt ein Rechenzentrum mit einer spezifischen, dafür ausgelegten IT-Architektur und Design der Racks/Server, mit konsequenter Warm- / Kaltgangtrennung und Einhausung. Die eingesetzten IT-Komponenten müssen auf höheren Systemtemperaturen und innerhalb der Garantiegrenzen sicher

betrieben werden können. Somit ist ein Niedertemperaturnetz individuell zwischen Rechenzentrum-Betreiber, Energiedienstleister und dem zu versorgenden Gebiet abzustimmen und zu planen.

Ein mit der Abwärme eines Rechenzentrums betriebenes Niedertemperaturnetz eignet sich in der Umgebung von Gebäuden mit einem Wärmebedarf auf Niedertemperaturniveau. Dies sind z.B. Neubauten, welche mit Vorlauftemperaturen von maximal 30°C zur RaumwärmeverSORGUNG betrieben werden können und/oder Gebäude mit Prozesswärmenuutzungen wie z.B. Warmwasservorwärmung. Dabei muss die Temperaturdifferenz des Wärmeüberträgers berücksichtigt werden. Bei zu hoher Vorlauftemperatur auf der Wärmeabnahmeseite muss ein Zusatzsystem vorgesehen werden, welches als Wärmequelle das Niedertemperaturnetz nutzt.

Die Temperaturerhöhung auf 65°C für die Warmwasseraufbereitung (Legionellen Schutz) erfolgt dezentral direkt in den Gebäuden über Wärmepumpenboiler.

Ist eine direkte Nutzung der Abwärme im Niedertemperaturnetz aufgrund der geforderten Temperaturen der Verbraucher nicht sinnvoll, bietet sich alternativ die Nutzung als Hochtemperaturnetz gemäss Kapitel 4.1 an.



Abbildung 7: Prinzipschema einer direkten Abwärmenutzung in einem Niedertemperaturnetz

Vorteile: Bei der Nutzung der Abwärme von Rechenzentren mit Temperaturen über 32°C, ist das Niedertemperaturnetz für den Energiedienstleister günstiger als ein Hochtemperaturnetz. Dies, weil die zentrale Temperaturanhebung innerhalb des Wärmennetzes entfallen kann. Das Niedertemperaturnetz bietet sich für effiziente Rechenzentren in Umgebungen mit Gebäuden an, welche einen hohen Anteil an einem Niedertemperaturwärmebedarf aufweisen (z.B. Neubauten, Gewerbe und Industrien mit Prozessen zur Warmwasseraufbereitung).

Da oftmals gemischte Areale/Gebiete und nur selten ausschliesslich Neubauten vorhanden sind, ist auch die Kombination eines Anergiennetzes mit dezentralen Clusterstationen, welche Gebiete mit Hochtemperaturwärme versorgen können, denkbar.

Nachteile: Für Rechenzentren in Gebieten mit einem hohen Anteil an Altbauten und/oder Gebäudenutzungen mit Hochtemperaturprozessen (z.B. Galvanik) ist ein Niedertemperaturnetz eher nicht geeignet.

Zudem kommen aufgrund der eher tiefen, dezentralen Wärmepumpenleistungen in den Gebäuden heute noch Kältemittel mit einem höheren Global Warming Potential (GWP) zum Einsatz, als bei einer zentralen Wärmepumpe innerhalb des Netzes. Auch benötigt die dezentrale Wärmeerzeugung mehr Platz und Investitionskosten bei den Wärmebezügern.

4 Nutzbares Abwärmeapotenzial von Rechenzentren

4.1 Zeitlicher Verlauf von Abwärmeangebot und Wärmebedarf

Welcher Anteil der anfallenden Abwärme von Rechenzentren effektiv genutzt werden kann, hängt von der Höhe und dem zeitlichen Verlauf des Abwärmeangebots und des zu deckenden Wärmebedarfs ab (Angebot / Nachfrage).

Die Abwärme des Rechenzentrums fällt konstant an, da die Server saisonal unabhängig und rund um die Uhr betrieben werden. Dies gilt, sofern die Auslastung gleichbleibt. Bei Gebäuden teilt sich der Wärmebedarf in einen saisonal abhängigen Teil für die Gebäudeheizung und einen konstanten Teil für Brauchwarmwasser auf. Der Anteil Brauchwarmwasser am Gesamtwärmebedarf ist vom Gebäudestandard abhängig und ist bei Neubauten erhöht. Dies bedeutet, dass sich der saisonal abhängige Teil verringert.

Der Wärmebedarf von gewerblichen und industriellen Prozessen richtet sich nach den Betriebszeiten der jeweiligen Branche bzw. eines Unternehmens. Diese sind meist unabhängig von der Jahreszeit und können im Wochenverlauf erheblich schwanken, da zum Beispiel am Wochenende teilweise nicht gearbeitet wird.

Durch die Überlagerung von Angebots- und Bedarfskurve (siehe nachfolgende Abbildung) zeigt sich der effektiv nutzbare Anteil der Abwärme. Wenn das Niveau des Abwärmeangebots höher ist als die maximale Spitze (Spitzenlast) des Bedarfs, kann theoretisch der gesamte Bedarf durch die Abwärme gedeckt werden. Aufgrund der saisonalen Abhängigkeit bei der Komfortwärme fällt in diesem Fall aber, vor allem im Sommer, viel überschüssige Abwärme an, die nicht genutzt werden kann. Im umgekehrten Fall, wenn die Bedarfsspitzen das Abwärmeniveau überschreiten, wird eine zusätzliche Wärmequelle benötigt. Die optimale Ausnutzung der Abwärme ergibt sich, wenn die Abwärmeleistung kleiner oder gleich dem konstanten Bedarfsanteil ist. Gerade in grösseren Verbunden kann die Abwärme von Rechenzentren so ideal in Kombination mit anderen Wärmequellen verwendet werden (polyvalente Systeme).

In den folgenden Beispielen wird davon ausgegangen, dass die Abwärme eines Rechenzentrums mit Hilfe einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau angehoben und somit nutzbar gemacht wird. Für die Wärmemenge, welche auf diesem Weg in ein thermisches Netz eingespielen wird, bedeutet das, dass zur ausgetrennten Abwärmemenge noch ein Anteil elektrische Energie hinzukommt. Grund dafür ist die Funktion der Wärmepumpentechnik [8]. In der in Abbildung 8 dargestellten Überlagerung der Jahresprofile ist der Stromanteil der Wärmepumpe im Niveau Abwärme enthalten. Die als Abwärme bezeichnete Energiemenge entspricht der tatsächlich ans Netz abgegebenen Energiemenge.

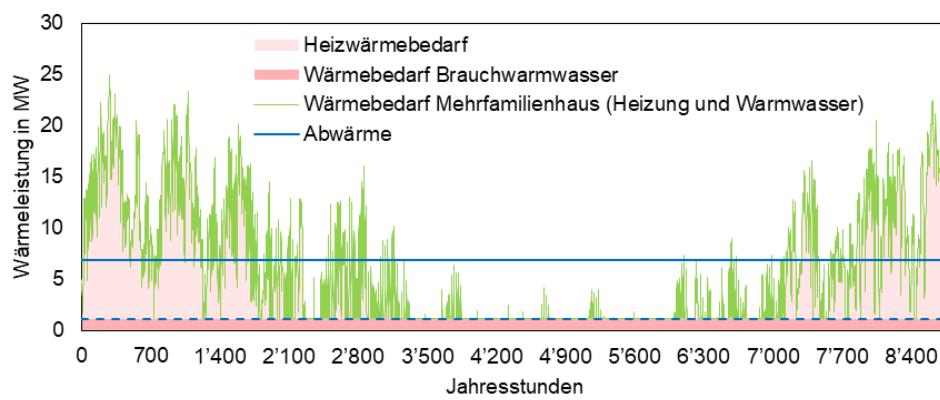


Abbildung 8: Überlagerung der Jahresprofile von RZ-Abwärme und Komfortwärmebedarf im Wärmenetz

Die Abwärmenutzungen von Rechenzentren sind somit gut geeignet in Gebieten mit einer Mischung aus Neubauten (verhältnismässig höherer Energiebedarf für Warmwasser als bei Altbauten und Bestand), Gebäudenutzungen mit einem hohen Warmwasserbedarf (z.B. Fitnesscenter, Krankenhäuser) und Nutzungen mit Prozesswärmeverbrauch auf Niedertemperaturniveau. Nachfolgende Fallbeispiele können zum Verständnis dieser Thematik beitragen.

4.2 Fallbeispiele zum nutzbaren Potenzial

Betrachtet wird ein fiktives, modernes Rechenzentrum (gemäss Rechenbeispiel in Kapitel 6.4), welches sich in einem städtischen Wohnquartier befindet und ausschliesslich von Mehrfamilienhäusern umgeben ist. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass sowohl die Abwärme des Rechenzentrums als auch der Wärmebedarf für Brauchwasser in der Umgebung des Rechenzentrums über das ganze Jahr konstant sind.

Es wird von einem Hochtemperaturnetz (siehe Kapitel 3.2) ausgegangen, welches ein Wohngebiet mit Mehrfamilienhäusern (MFH) mit einem Wärmebedarf, der dem Schweizer Durchschnitt entspricht, versorgt.

Vereinfachend ist in den folgenden Grafiken jeweils nur die gesamte Abwärmemenge, welche zur Versorgung der angeschlossenen Gebäude dient, dargestellt. Auf eine Aufteilung in tatsächliche Abwärme und den Anteil elektrischer Energie, der durch die Wärmepumpen hinzukommt, wird verzichtet. Als Basis für die Grafiken und Berechnungen dienten die untenstehenden Annahmen:

Gebäudepark:

- Auslegetemperatur: -8 °C
- Heizgrenze: 12 °C
- Spezifischer Wärmebedarf Heizen: 80 kWh/m²
- Spezifischer Wärmebedarf Warmwasser: 20 kWh/m²
- Vollaststunden: 2'000 h/a

Rechenzentrum:

- Vollbetriebsstunden: 8'760 h/a
- Installierte IT-Leistung 20 MW
- IT-Auslastung 40 %
- Auskoppelbare Abwärmeleistung: 9.12 MW (gemäss Kapitel 6.4)

Fallbeispiele

- Fallbeispiel 1: Spitzenbedarf Wärmenetz 5 MW
- Fallbeispiel 2: Spitzenbedarf Wärmenetz 25 MW

Das fiktive Rechenzentrum verfügt über eine IT-Leistung von 20 MW. Diese Leistung liegt innerhalb der erwarteten Spannweite der Leistungen von Rechenzentren, welche momentan in Betrieb genommen werden und solcher, deren Bau in naher Zukunft erwartet wird. Die Menge der auskoppelbaren Abwärme resultiert aus Annahmen und Berechnungen, welche in den Kapiteln 4.2 und 6.3 genauer erklärt werden.

Es werden hierbei zwei Situationen untersucht mit jeweils einer Spitzenleistung im Wärmenetz (Nachfrage) von 5 MW (Fallbeispiel 1) und 25 MW (Fallbeispiel 2).

Die nutzbare Abwärmemenge entspricht in den folgenden Grafiken der Schnittfläche zwischen der Fläche unter der Abwärmekurve und der Nachfragekurve.

Im Fallbeispiel 1 ist, wie in Abbildung 9 dargestellt, die Abwärmeleistung deutlich höher als die Spitzenlast. Es kann somit der gesamte Wärmebedarf durch die Abwärme gedeckt werden. Jedoch werden nur 12 Prozent der zur Verfügung stehenden Abwärme genutzt (grüne Fläche). Es sind somit weitere Wärmeabnehmer bzw. eine Erweiterung des Wärmenetzes zu prüfen, um die vorhandene Abwärme besser zu nutzen.

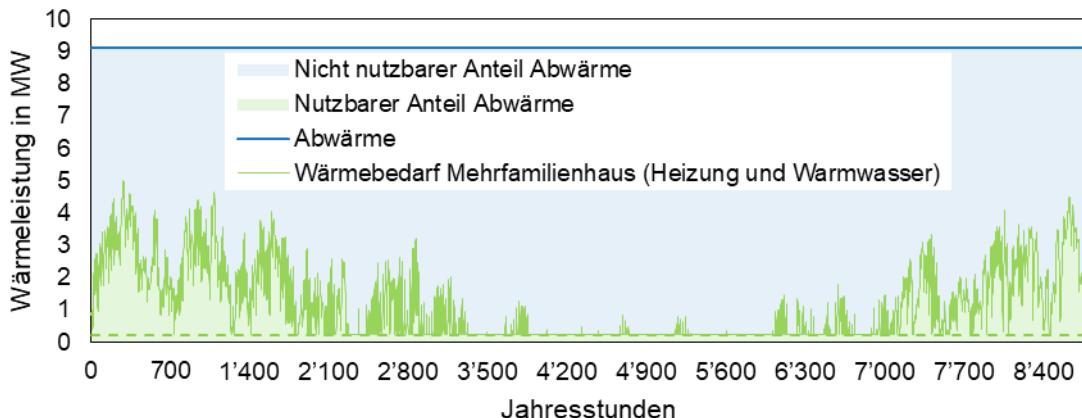


Abbildung 9: Grafische Darstellung Abwärmenutzung – Fallbeispiel 1

Im zweiten Beispiel wird von einem grösseren Wärmenetz ausgegangen, in welchem die benötigte Spitzenlast über der auskoppelbaren Wärmeleistung liegt. In Abbildung 10 ist ersichtlich, dass hier nicht mehr der gesamte Wärmebedarf durch die Abwärme gedeckt werden kann, sondern zusätzliche Wärmequellen benötigt werden (gelbe Fläche). Der Anteil genutzter Abwärme beträgt 48 Prozent.

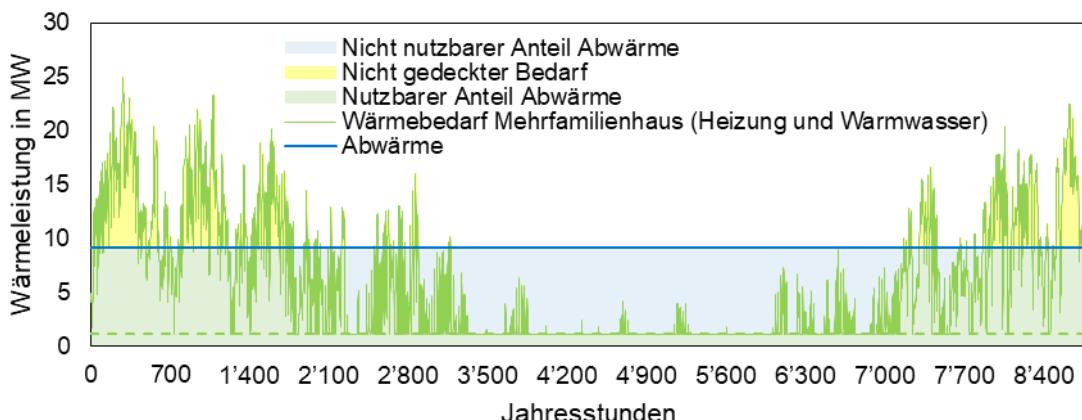


Abbildung 10: Grafische Darstellung Abwärmenutzung – Fallbeispiel 2

Die Anteile der «nutzbaren Abwärme», «nicht nutzbaren Abwärme» und «nicht gedeckter Bedarf» werden noch deutlicher sichtbar, wenn aus Abbildung 10 eine Jahresdauerlinie gebildet wird:

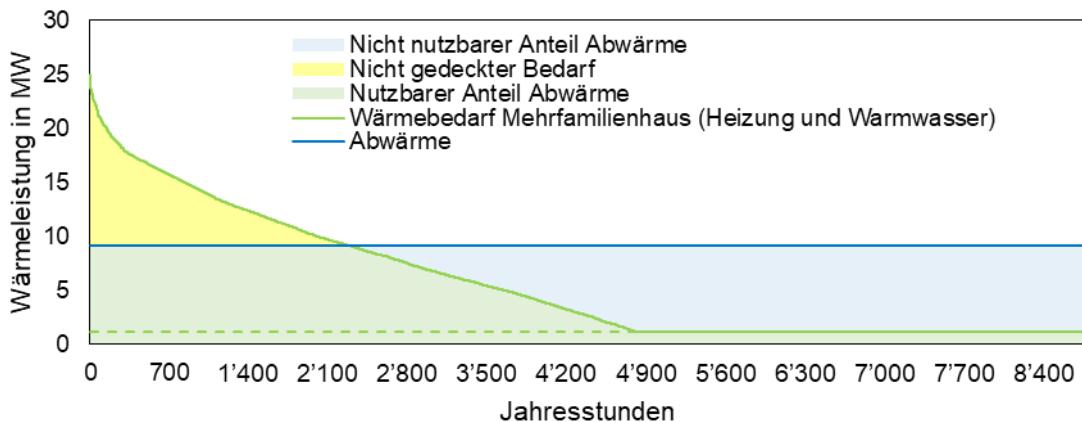


Abbildung 11: Grafische Darstellung Abwärmennutzung – Fallbeispiel 2, Jahresdauerlinie

Im dargestellten Fallbeispiel 2 wird während ca. 2'200 Stunden im Jahr eine zusätzliche Wärmequelle benötigt (gelbe Fläche). Während rund 4'000 Stunden im Jahr ist die benötigte Leistung minimal (nur Brauchwarmwasserbedarf).

Je höher also der Anteil an ganzjährigen Wärmeabnehmenden ist, desto grösser ist der nutzbare Anteil der ganzjährig vorhandenen Abwärme eines Rechenzentrums. Abwärmennutzungen von Rechenzentren sind deshalb gut geeignet in Gebieten mit einer Mischung aus Neubauten (verhältnismässig höherer Energiebedarf für Warmwasser als bei Altbauten und Bestand), Gebäudenutzungen mit einem hohen Warmwasserbedarf (z.B. Fitnesscenter, Krankenhäuser) sowie gewerbliche und industrielle Nutzungen mit Prozesswarmwasserbedarf (z.B. Wäschereien, Nahrungsmittelproduktion).

Ebenfalls ist anzumerken, dass durch die Verwendung von Wärmespeichern die nutzbare Abwärmemenge weiter erhöht werden könnte. Wie viel mehr Abwärme durch den Einsatz von Speichern nutzbar gemacht werden kann, lässt sich jedoch allgemein nicht sagen. Wovon nicht ausgegangen werden kann ist, dass mit konventionellen Langzeitspeichern, im Sinne von grossen Tanks, Abwärme vom Sommer im Winter wirtschaftlich nutzbar gemacht werden kann. Solche Speicher sind kostenintensiv und ein wirtschaftlicher Einsatz wäre eher bei der Speicherung der Abwärme einer KVA, welche auf hohem Temperaturniveau anfällt, denkbar. Für das tiefe Temperaturniveau der Rechenzentrumsabwärme sind solche Speicher ungeeignet.

Was jedoch denkbar wäre, ist die Nutzung bestehender Erdsondenfelder zur Speicherung bzw. die Regeneration dieser Felder im Sommer. Dazu müsste jeweils eine standortabhängige Analyse durchgeführt werden, bei der bestehende Erdsondenfelder in der Umgebung des betrachteten Rechenzentrums bzw. des davon versorgten thermischen Netzes, betrachtet werden würden. Bei den Erdsondenfeldern könnte es sich auch um kleinere, privat genutzte Felder handeln. Die Nutzung dieser Synergie durch die Regeneration von Erdsondenfeldern mit Abwärme ist in jedem Fall zu prüfen.

5 Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung im Wärmenetz

Die Abwärmenutzung in einem Wärmenetz hängt von lokal spezifischen Faktoren ab. Wird an einem Standort in der Umgebung die Abwärmenutzung eines Rechenzentrums in Betracht gezogen, ist deshalb zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im ersten Schritt die Situation vor Ort zu analysieren. So wurde z.B. zur Nutzung der Abwärme des Rechenzentrums Beringen [9] im Kanton Schaffhausen als Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen im ersten Schritt eine Machbarkeitsstudie mit Kostenkennzahlen (Grobkosten +/-30%) erstellt.

Der Netzbetreibende trägt die Investitionskosten des Wärmenetzes. Wer hingegen die Investitionskosten bis zur Einspeisung der ausgekoppelten Abwärme eines Rechenzentrums in das Wärmenetz übernimmt, ist im Einzelfall zu klären. Hier kommen Rechenzentrums-Betreiber, Energiedienstleister, Gemeinden und allfällig weitere Beteiligte gleichermaßen in Frage.

Entsprechend wird nachfolgend die Wirtschaftlichkeit der Auskopplung von Abwärme und der Bau / Betrieb eines Wärmenetzes separat beschrieben.

5.1 Auskopplung von Abwärme

Je nach Grösse eines Rechenzentrums bzw. deren Verfügbarkeitslevel (Tier I bis IV) wird an einer oder an mehreren Stellen die Wärme ausgekoppelt. Dabei erfolgt die Auskopplung in der Regel über Wärmetauscher. Ab diesen Wärmetauscher kann die Abwärme gefasst und in einem System zur Übergabe an die externe Abnahme erfolgen. In der Regel ist die Übergabe innerhalb eines Rechenzentrums in einem eigenen Raum für den externen Wärmeabnehmer vorzusehen.

In Rechenzentren ist je nach örtlichen Gegebenheiten die Auskopplung der Abwärme individuell zu betrachten (z.B. Infrastruktur, Gebäude, IT-Komponenten). Für fiktive Rechenzentren (Bestand / Neubau) sind aus diesem Grund keine Kostenangaben möglich. In dieser Studie werden deshalb auf Basis der Kostenerfahrungen bei eicher+pauli die Investitionskosten der Auskopplung von Abwärme in einem konkreten Neubau eines Rechenzentrums beschrieben.

Die folgenden Kostenangaben mit Stand 2015 gelten für den Neubau eines Rechenzentrums mit einer modernen Infrastruktur gemäss Kapitel 2.5:

- | | |
|--|------------|
| • Spezifische Kosten für Auskopplung in einem Wärmetauscher | 35 CHF/kW |
| • Spezifische Kosten für die Verbindung ab Zentrale bis zur Aussenwand | 65 CHF/kW |
| • Spezifische Kosten innerhalb des Rechenzentrums bis zur Aussenwand total | 100 CHF/kW |

Die Kosten umfassen Material und Arbeit, wobei der Anteil der Materialkosten mit ca. 66 Prozent überwiegt. Nicht berücksichtigt in den Kostenangaben der Auskopplung sind allfällige Wärmezähler, Elektro- und Gebäudeautomationsinstallationen.

Zu beachten ist, dass die Kostenangaben aus dem Jahr 2015 stammen und die Teuerung der letzten Jahre darin nicht enthalten ist.

5.2 Wärmenetz mit zentraler Wärmeaufbereitung

Der wirtschaftliche Betrieb eines Wärmenetzes ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Der Aufbau eines Wärmenetzes ist sehr investitionsintensiv (Energiezentralen/Fernleitungsbau) und die Amortisationszeiten dementsprechend lang. Üblicherweise wird mit Abschreibungsdauern von 30 Jahren gerechnet.

Für eine erste Beurteilung wird im Planungshandbuch Fernwärme eine minimale Liniendichte von mindestens 2 MWh/(a*m) genannt, ab welchem ein Wärmenetz mit zentraler Wärmeaufbereitung potenziell wirtschaftlich betrieben werden kann [10]. Dieser Wert ist als grobe Schätzung zu verstehen und ist nicht auf Wärmenetze mit dezentraler Wärmeaufbereitung anwendbar.

$$\text{Anschlussdichte [MWh/(a*m)]} = \frac{\text{Potenzieller Wärmeabsatz MWh/a}}{\text{Trassenlänge [m]}}$$

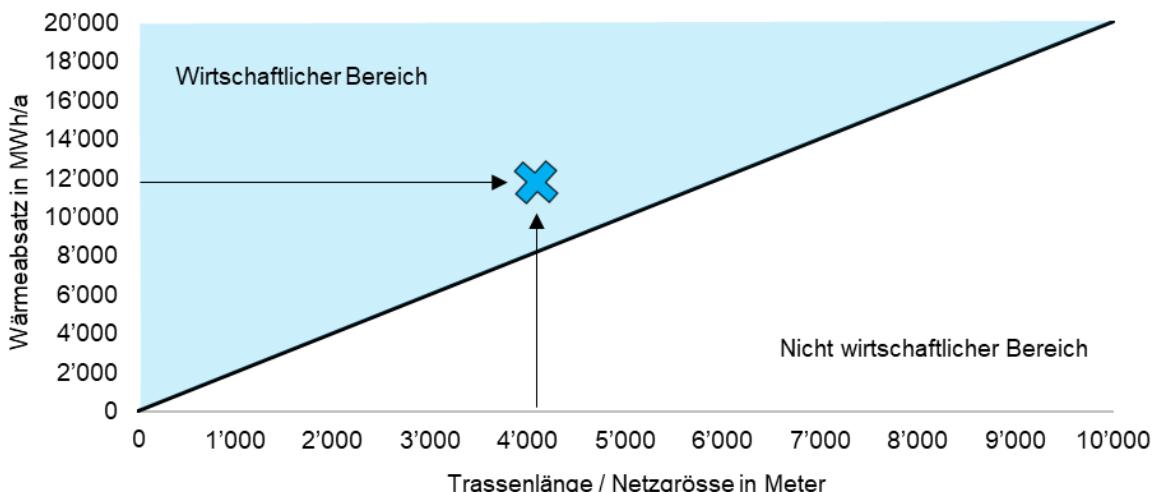


Abbildung 12: Wirtschaftlichkeit thermische Netze mit zentraler Wärmeaufbereitung nach Planungshandbuch Fernwärme

Der Wert der minimalen Liniendichte hängt von den lokalen Voraussetzungen ab. So ist der Leitungsbau in ländlichen Gebieten, wo Leitungen vermehrt «im freien Feld» verlegt werden können deutlich kostengünstiger als im Stadtgebiet. Somit kann in ländlichen Gegenden auch ein Netz mit zentraler Wärmeaufbereitung mit einer Liniendichte < 2 MWh/(a*m) wirtschaftlich betrieben werden, während in urbaneren Gebieten eher eine höhere Liniendichte angestrebt werden muss.

Weiter haben die Energietarife einen starken Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung. Dabei ist entscheidend, welcher Wärmepreis erzielt werden kann und wie hoch die Energiekosten für die eingekauften Energie (aus Sicht Fernwärmebetreiber) ist. Bisher hatte die Abwärme von Rechenzentren kaum einen Preis. Entscheidender ist daher, wie hoch die Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpe sind, falls die Abwärme nicht direkt genutzt werden kann.

Aufgrund der Tatsache, dass die Länge der Fernwärmeleitung der treibende Kostenfaktor ist, wird klar, dass die Nähe des Rechenzentrums zum Siedlungsgebiet entscheidend ist. Rechenzentren sollten in Zukunft nicht «auf der grünen Wiese», sondern nahe am Siedlungsgebiet gebaut werden.

5.3 Anschlussgebühren Eigentümerschaften an Wärmenetz

Die relevanten Faktoren für die allgemeinen Erstellungskosten eines Wärmenetzes mit Temperaturanhebung sind in Kapitel 5.2 beschreiben. Weitere Einflussfaktoren auf die Höhe der Anschlussgebühren für die Eigentümerschaften sind z.B. der Zeitpunkt des Anschlusses und die von der Örtlichkeit abhängige Länge der Hausanschlussleitung an das Wärmenetz.

Bei einem neuen Wärmenetz kann die Hausanschlussleitung zum gleichen Zeitpunkt wie die Hauptarbeiten im Strassenzug realisiert werden. In den überwiegenden Fällen gelten dann die von der Anschlussleistung abhängigen pauschalen Kostenangaben der Energiedienstleister, was den Eigentümerschaften frühzeitig Kostensicherheit bringt.

Bei einem späteren Anschluss an ein bestehendes Wärmenetz hängen die Anschlussgebühren dann im Wesentlichen von der Entfernung des anzuschliessenden Gebäudes an die Wärmeleitung im Strassenzug ab. Je länger die Hausanschlussleitung ist, desto höher sind die Anschlussgebühren. Entsprechend erfordert der Anschluss an bestehende Netze jeweils eine individuelle Berechnung der Anschlussgebühren durch den Energiedienstleister.

6 Beispielrechnungen Rechenzentren

Als Ergänzung zu den Fallbeispielen in Kapitel 4.2, mit deren Hilfe der nutzbare Anteil der Abwärme im Wärmenetz erklärt wurde, wird in diesem Kapitel die Eignung verschiedener Rechenzentren für die Versorgung eines bestimmten Wohngebiets an einem städtischen Standort beispielhaft erklärt.

Als Umgebung des Rechenzentrums wird von einem Wohngebiet mit Mehrfamilienhäusern (MFH) ausgegangen, deren Wärmebedarf dem Schweizer Durchschnitt entspricht. Das Wärmenetz wird als Hochtemperaturnetz mit einer Wärmezentrale betrieben. Um die Eignung eines Rechenzentrums zu beurteilen, wird die Wirtschaftlichkeit des beispielhaften Netzes betrachtet.

Basierend auf den Berechnungsresultaten können die Rechenzentren bezüglich ihrer Eignung, zur Versorgung eines Gebietes mit genannten Eigenschaften, verglichen werden. Wünschenswert sind ein hoher Anteil an genutzter Abwärme und ein hoher Deckungsgrad des Wärmebedarfs im Absatzgebiet durch Abwärme. Aus den Berechnungen geht jedoch hervor, dass diese Ziele nicht gleichermaßen erreicht werden können.

In den nachfolgenden Rechenbeispielen wird mit folgenden Annahmen gerechnet:

- | | |
|---|-----------------------|
| • Durchschnittliche Wohnungsfläche [11] | 100 m ² |
| • Durchschnitt Anzahl Wohnungen pro Mehrfamilienhaus [12] | 7 |
| • Spezifischer Wärmebedarf Heizen | 80 kWh/m ² |
| • Spezifischer Wärmebedarf Warmwasser | 20 kWh/m ² |
| • Angestrebter Deckungsgrad des Wärmebedarfs im Versorgungsgebiet durch Abwärme | 80 % |
| • Anteil Spitzenlastabdeckung | 20 % |
| • Minimale Liniendichte | 2 MWh/(a*m) |

Aus den nachfolgenden Berechnungsbeispielen geht hervor, dass der angestrebte Deckungsgrad dazu führt, dass weniger als die Hälfte der verfügbaren, ausgekoppelten Abwärme genutzt werden kann. Durch eine Anpassung der Eingabewerte, insbesondere des Parameters «Angestrebter Deckungsgrad des Wärmebedarfs im Versorgungsgebiet durch Abwärme», kann der Anteil der nutzbaren Abwärme je nach Bedarf optimiert werden.

Soll die Abwärme als Hauptwärmequelle des Netzes dienen, so ist ein Deckungsgrad von mindestens 80 Prozent anzustreben. Alternativ kann die Abwärme auch dazu genutzt werden, um lediglich die Grundlast bzw. Bandlast im Netz wie z.B. den Wärmebedarf für Brauchwarmwasser zu decken. Zusätzlich würden in diesem Fall eine oder mehrere weitere Wärmequellen benötigt werden, um den restlichen Wärmebedarf im Netz zu decken. Der Anteil nutzbarer Abwärme kann so theoretisch auf bis zu 100 Prozent gesteigert werden (siehe auch Kapitel 4).

6.1 Rechenmethodik

Für ein in einer Gemeinde geplantes Rechenzentrum kann anhand weniger Eingabewerte grob abgeschätzt werden, ob die Abwärme in einem Wärmenetz mit zentraler Wärmeaufbereitung wirtschaftlich genutzt werden kann. Hierzu kann der angestrebte Deckungsgrad durch Abwärme als Variable eingesetzt werden. Je nach Annahme, ergeben sich die Anzahl an Gebäuden, die an ein Wärmenetz angeschlossen werden können, die maximale Trassenlänge für die Wirtschaftlichkeit des Wärmenetzes und der Anteil der Abwärme, die in einem entsprechenden Netz genutzt werden könnte.

Feste Eingabedaten

Rechenzentrums-Betreiber (mind. eine der Angaben erforderlich):

- | | |
|-----------------------------------|---------------|
| • IT-Leistung | in kW oder MW |
| • Gesamtleistung RZ | in kW oder MW |
| • Abwärmemenge des Rechenzentrums | in MWh |

Wärmeabnahme:

- | | |
|------------------------------------|-----------------------|
| • Durchschnittliche Wohnungsfläche | in m ² |
| • Wärmebedarf Heizen | in kWh/m ² |
| • Wärmebedarf Warmwasser | in kWh/m ² |

Variable Eingabedaten

- | | |
|--|------------|
| • Deckungsgrad des Wärmebedarfs im Versorgungsgebiet durch Abwärme | in Prozent |
|--|------------|

Resultate Wärmenetz

- | | |
|---|------------|
| • Anzahl Anschluss Mehrfamilienhäuser | Anzahl |
| • Erstbeurteilung maximal Trassenlänge Wirtschaftlichkeit | in m |
| • Anteil nutzbarer Abwärme | in Prozent |

6.2 Kleines, älteres Rechenzentrum – IT-Leistung 0.2 MW

Dieses Beispiel bezieht sich auf die Infrastruktur und IT-Leistung eines älteren Rechenzentrums (Kapitel 2.3).

Rechenzentrum: Auskoppelbare Abwärme

Installierte IT-Leistung	0.2 MW	
PUE	2	Kennzahl betrachtetes RZ $= 0.2 \text{ MW} * 2$
Gesamtleistung RZ	0.4 MW	
Laufzeiten pro Jahr	8'760 Stunden	
IT-Auslastung im RZ	40%	
Stromverbrauch RZ	1'401 MWh/a	$= 0.4 \text{ MW} * 8'760 \text{ h/a} * 0.4$
Als Abwärme auskoppelbar	72 %	
Ausgekoppelte Abwärme	1'009 MWh/a	$= 1'401 \text{ MWh/a} * 0.72$

Wärmenetz: Deckungsgrad durch Abwärme

Abwärmeleistung	115 kW	$= 1'009 \text{ MWh} / 8760 \text{ h/a}$
Deckungsgrad Wärmenetz durch Abwärme	80 %	Variabler Eingabewert
Gesamtwärmeverbrauch MFH	589 MWh/a	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 13
Spitzenlast im Netz	300 kW	Berechnet aus Abbildung 13
Abwärme genutzt	471 MWh/a	$= 589 \text{ MWh/a} * 0.8$
Abwärme genutzt	47%	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 13
Ungedeckter Bedarf Wärmenetz	118 MWh/a	$= 589 \text{ MWh/a} * (1 - 0.8)$
Minimale Liniendichte	2 MWh/(a*m)	Kennzahl Planungshandbuch Fernwärme
Maximale Trassenlänge	295 m	$= 589 \text{ MWh/a} / 2 \text{ MWh/(a*m)}$

Mehrfamilienhäuser: Erschliessungspotenzial

Gesamtwärmeverbrauch MFH	589 MWh/a	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 13	Thermisches Netz	Wärmeabnahme
Anschluss Anzahl Wohnungen	59	$= 589 \text{ MWh/a} / (100 \text{ kWh}/(\text{m}^2*\text{a}) * 100 \text{ m}^2)$		
Anschluss Anzahl MFH	8	$= 59 / 7$		
Mittlere Trassenmeter pro MFH	37 m	$= 295 \text{ m} / 8 \text{ MFHs}$	Wärmezentrale	Systemgrenze Wärmebedarf 589 MWh/a

Tabelle 4: Rechenbeispiel zur Abwärmenutzung eines älteren Rechenzentrums, installierte IT-Leistung 0.2 MW

Für eine wirtschaftliche Erschliessung der zu versorgenden Wohnungen kann nach der in Kapitel 5 eingeführten Formel zur Berechnung der Liniendichte, die «zur Verfügung stehende Trassenlänge» berechnet werden. Durch Umstellen der Formel nach der Trassenlänge und Einsetzen der genutzten Abwärme als potenzieller Wärmeabsatz und 2 MWh/a als Liniendichte ergeben sich daraus 295 Meter.

Die angegebene mittlere Trassenlänge pro Mehrfamilienhaus kann dabei je nach Gebäudegrösse variieren. Im urbanen Raum werden Wohnblocks mit mehreren Hauseingängen und somit Hausnummern vorkommen. Ein solcher Wohnblock muss in der Praxis nicht mehrmals angeschlossen werden und es können folglich mehr als sieben Wohnungen auf einmal erschlossen werden. Dadurch steigen die im Mittel verfügbaren Trassenmeter pro Mehrfamilienhaus an.

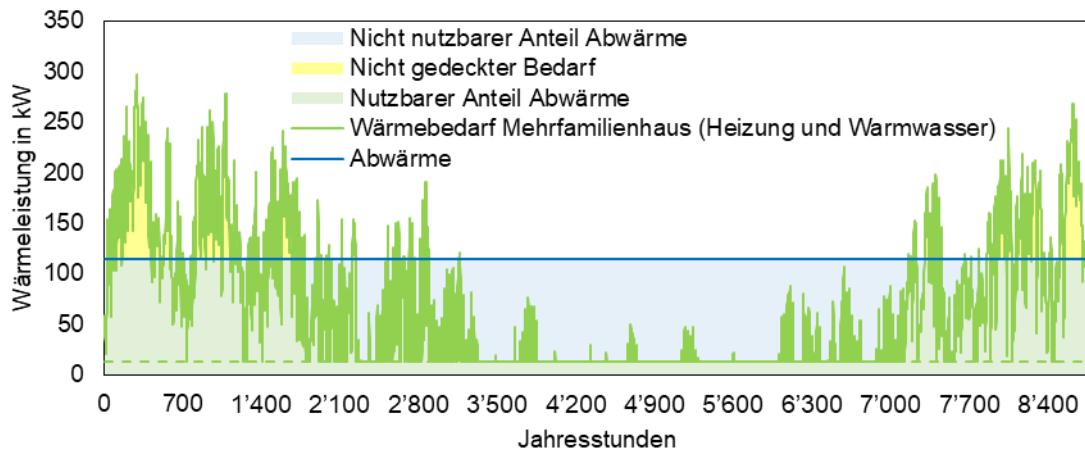


Abbildung 13: Überlagerung Jahresprofile Abwärme und Bedarf – Kleines, älteres RZ

Die hellgrüne Fläche in der oben abgebildeten Grafik entspricht dem Wärmebedarf von 471 MWh/a, welcher durch die ausgetrennte Abwärme gedeckt werden kann. Wie bereits angedeutet, ist für die Deckung der restlichen 118 MWh/a eine zusätzliche Wärmequelle nötig, um die Abnehmer vollständig mit Wärme zu versorgen.

6.3 Mittleres, typisches Rechenzentrum – IT-Leistung 2 MW

Die Infrastruktur und IT-Leistung in diesem Beispiel entsprechen einem typischen Rechenzentrum (Kapitel 2.4).

Rechenzentrum: Auskoppelbare Abwärme

Installierte IT-Leistung	2 MW	
PUE	1.45	Kennzahl betrachtetes RZ $= 2 \text{ MW} * 1.45$
Gesamtleistung RZ	2.9 MW	
Laufzeiten pro Jahr	8'760 Stunden	
IT-Auslastung im RZ	40 %	
Stromverbrauch RZ	10'162 MWh/a	$= 2.9 \text{ MW} * 8'760 \text{ h/a} * 0.4$
Als Abwärme auskoppelbar	81 %	
Ausgekoppelte Abwärme	8'231 MWh/a	$= 10'162 \text{ MWh/a} * 0.81$

Wärmenetz: Deckungsgrad durch Abwärme

Abwärmeleistung	940 kW	$= 8'231 \text{ MWh} / 8'760 \text{ h/a}$
Deckungsgrad Wärmenetz durch Abwärme	80 %	Variabler Eingabewert
Gesamtwärmeverbrauch MFH	4'814 MWh/a	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 14
Spitzenlast im Netz	2'433 kW	Berechnet aus Abbildung 14
Abwärme genutzt	3'851 MWh/a	$= 4'814 \text{ MWh/a} * 0.8$
Abwärme genutzt	47%	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 14
Ungedeckter Bedarf Wärmenetz	963 MWh/a	$= 4'814 \text{ MWh/a} * (1 - 0.8)$
Minimale Liniendichte	2 MWh/(a*m)	Kennzahl Planungshandbuch Fernwärme
Maximale Trassenlänge	2.4 km	$= 4'814 \text{ MWh/a} / 2 \text{ MWh/(a*m)}$

Mehrfamilienhäuser: Erschliessungspotenzial

Gesamtwärmeverbrauch MFH	4'814 MWh/a	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 14	Thermisches Netz	Wärmeabnahme
Anschluss Anzahl Wohnungen	481	$= 4'814 \text{ MWh/a} / (100 \text{ kWh}/(\text{m}^2*\text{a}) * 100 \text{ m}^2)$		
Anschluss Anzahl MFH	69	$= 481 / 7$		
Mittlere Trassenmeter pro MFH	35 m	$= 2.4 \text{ km} / 69 \text{ MFHs}$		

Tabelle 5: Rechenbeispiel zur Abwärmenutzung eines typischen Rechenzentrums, installierte IT-Leistung 2 MW

Im Gegensatz zum Rechenbeispiel in Kapitel 6.2 kann beim Beispiel eines mittelgrossen Rechenzentrums mehr Abwärme ausgekoppelt werden.

Grund dafür ist die, für Rechenzentren dieser Klasse typische, höhere installierte Leistung. Da die Umgebung ausschliesslich aus Mehrfamilienhäusern besteht und die Anzahl potenzieller Anschlüsse an ein Netz von der auskopplbaren Abwärme und dem Deckungsgrad von 80 Prozent ausgehend berechnet wird, fällt der Anteil nutzbarer Abwärme mit 47 Prozent gleich hoch wie im vorgängigen Beispiel aus. Durch Variation der Eingabeparameter zu spezifischem Wärmebedarf und Deckungsgrad kann der Anteil nutzbarer Abwärme optimiert werden.

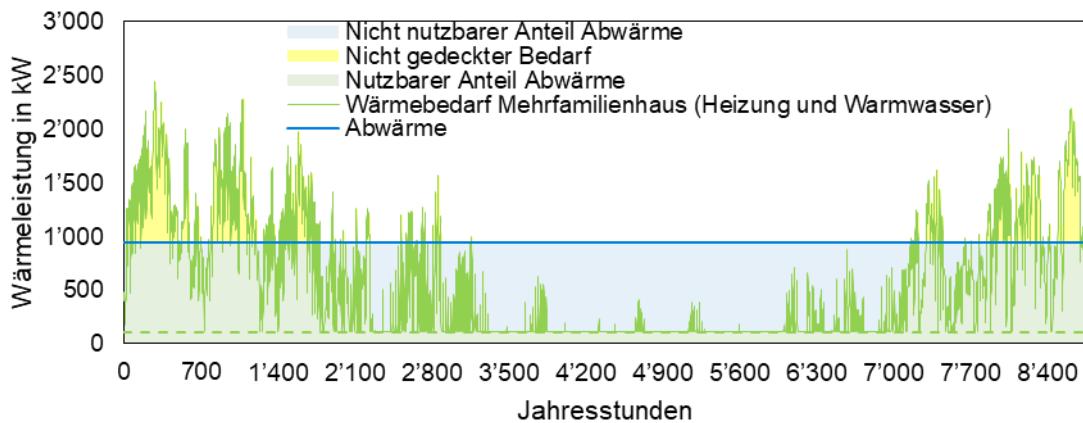


Abbildung 14: Überlagerung Jahresprofile Abwärme und Bedarf - Mittleres, typisches RZ

In der grafischen Darstellung der saisonalen Verläufe von Wärmeangebot und -nachfrage stellt die hellgrüne Fläche den gedeckten Wärmebedarf der Mehrfamilienhäuser 3'851 MWh/a dar. Der Spitzenanteil des Wärmebedarfs beträgt in diesem Beispiel 963 MWh/a (gelbe Flächen) und ist durch alternative Wärmequellen zu decken.

6.4 Grosses, modernes Rechenzentrum – IT-Leistung 20 MW

Dieses Beispiel bezieht sich auf ein grosses Rechenzentrum mit einer installierten IT-Leistung von 20 MW und einer modernen Infrastruktur (Kapitel 2.5).

Rechenzentrum: Auskoppelbare Abwärme

Installierte IT-Leistung	20 MW	
PUE	1.2	Kennzahl betrachtetes RZ $= 20 \text{ MW} * 1.2$
Gesamtleistung RZ	24 MW	
Laufzeiten pro Jahr	8'760 Stunden	
IT-Auslastung im RZ	40%	
Stromverbrauch RZ	84'096 MWh/a	$= 24 \text{ MW} * 8'760 \text{ h/a} * 0.4$
Als Abwärme auskoppelbar	95 %	
Ausgekoppelte Abwärme	79'891 MWh/a	$= 84'096 \text{ MWh/a} * 0.95$

Wärmenetz: Deckungsgrad durch Abwärme

Abwärmeleistung	9'120 kW	$= 79'891 \text{ MWh} / 8'760 \text{ h/a}$
Deckungsgrad Wärmenetz durch Abwärme	80 %	Variabler Eingabewert
Gesamtwärmeverbrauch MFH	46'707 MWh/a	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 15
Spitzenlast im Netz	23'604 kW	Berechnet aus Abbildung 15
Abwärme genutzt	37'366 MWh/a	$= 46'707 * 0.8$
Abwärme genutzt	47%	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 15
Ungedeckter Bedarf Wärmenetz	9'341 MWh/a	$= 46'707 * (1 - 0.8)$
Minimale Liniendichte	2 MWh/(a*m)	Kennzahl Planungshandbuch Fernwärme
Maximale Trassenlänge	23 km	$= 46'707 \text{ MWh/a} / 2 \text{ MWh/(a*m)}$

Mehrfamilienhäuser: Erschliessungspotenzial

Gesamtwärmeverbrauch MFH	37'366 MWh/a	Berechnet aus Summenhäufigkeit Abbildung 15	Thermisches Netz	Wärmeabnahme
Anschluss Anzahl Wohnungen	4'671	$= 46'707 \text{ MWh/a} / (100 \text{ kWh/(m}^2\text{a)} * 100 \text{ m}^2)$		
Anschluss Anzahl MFH	667	$= 4'671 / 7$		
Mittlere Trassenmeter pro MFH	34 m	$= 23 \text{ km} / 667 \text{ MFHs}$	WP	Systemgrenze Wärmebedarf 37'366 MWh/a

Tabelle 6: Rechenbeispiel zur Abwärmenutzung eines modernen Rechenzentrums, installierte IT-Leistung 20 MW

Analog zu den zwei vorgehenden Rechenbeispielen beträgt der Anteil nutzbarer Abwärme, aufgrund unveränderter Berechnungslogik, 47 Prozent. Ebenfalls fällt, aufgrund der für moderne Rechenzentren typischen, erhöhten installierten Leistung, mehr auskoppelbare Abwärme an.

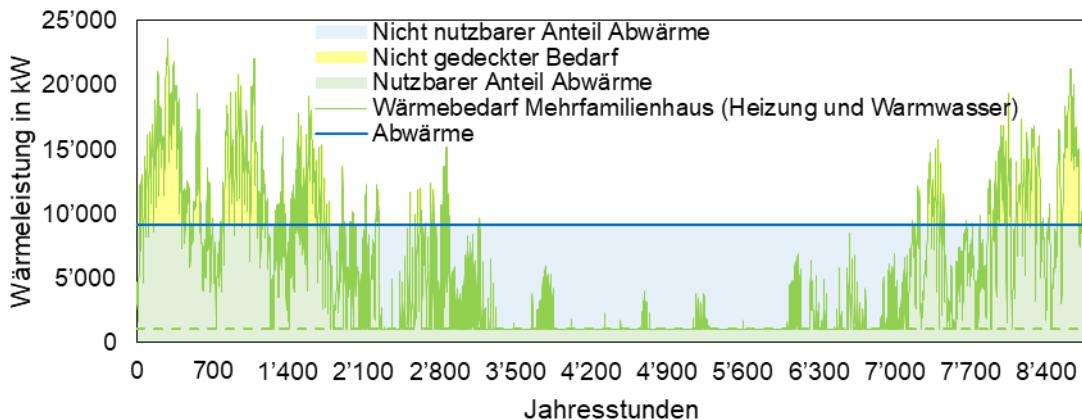


Abbildung 15: Überlagerung Jahresprofile Abwärme und Bedarf - Grosses, modernes RZ

Die in Abbildung 15 hellgrün dargestellte Fläche entspricht wieder dem gedeckten Wärmebedarf der Mehrfamilienhäuser und liegt in diesem Beispiel bei 46'707 MWh/a. Der Spitzenanteil des Wärmebedarfs von 9'341 MWh/a (gelbe Flächen) ist durch alternative Wärmequellen zu decken.

7 Synthese zum Abwärmepotenzial Rechenzentren

In den letzten Jahren hat sich der Markt der Rechenzentren rasant gewandelt und wird sich auch weiter wandeln. Die Datenmengen verlagern sich dabei zunehmend in die grossen Rechenzentren der Dienstleister. Mit diesem volatilen Markt der Rechenzentren weisen somit heutige Schätzungen zum künftigen Stromverbrauch und Abwärmepotenzial von Rechenzentren und Serverräumen in der Schweiz hohe Unsicherheiten auf.

Entsprechend wird das mittelfristige Abwärmepotenzial in dieser Studie mittels einer möglichen Bandbreite dargestellt, in der die folgenden, relevanten Einflussfaktoren berücksichtigt sind:

- Art des Rechenzentrums (gemäß Kapitel 2)
- Entwicklung Segmente von Rechenzentren (gemäß Kapitel 1.2.1 und 8.3)

In der Diskussion zur möglichen Ausnutzung der Rechenzentren werden folgende weiteren Einflussfaktoren berücksichtigt:

- Anteil Rechenzentren mit Abwärmenutzung (Kapitel 7.2.1)
- Anteil Abwärmenutzung in der Umgebung (gemäß Kapitel 4)

Die Annahmen und Schätzungen zu den vorgenannten Einflussfaktoren basieren dabei auf übergeordneten Datengrundlagen (z.B. nicht georeferenzierte Daten, keine Angaben zur Abwärmenutzung «intern / extern»).

7.1 Schätzung Abwärmepotenzial Rechenzentren

Im Folgenden werden die relevanten Einflussfaktoren mit den jeweils getroffenen Annahmen und Schätzungen zum Abwärmepotenzial näher beschrieben.

Wie in Kapitel 2 beschrieben, hängt der Anteil der auskoppelbaren Abwärme vom Stromverbrauch und der Stromeffizienz eines Rechenzentrums ab. Nachfolgend wird für das Abwärmepotenzial der mittelfristige Stromverbrauch der Rechenzentren und Serverräume in der Schweiz zwischen 2.7 und 3.5 TWh/a [3] angenommen. Darin berücksichtigt ist die effektive IT-Auslastung im laufenden Betrieb (siehe Kapitel 1.2.1).

Bei älteren Rechenzentren, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, wird weitergehend davon ausgegangen, dass im Zuge einer Nachrüstung der Abwärmenutzung auch weitere Effizienzmassnahmen umgesetzt werden. Entsprechend wird in bestehenden Rechenzentren für das Abwärmepotenzial der Anteil der auskoppelbaren Abwärme aus dem Stromverbrauch mit 81 Prozent angenommen (Typisches Rechenzentrum, Kapitel 2.4).

Bei neu entstehenden Rechenzentren wird davon ausgegangen, dass die Gebäude mit Abwärmenutzung und gemeinschaftlich moderner Infrastruktur erstellt werden. Demgemäß liegt hier der Anteil der auskoppelbaren Abwärme aus dem Stromverbrauch bei 95 Prozent (Modernes Rechenzentrum, Kapitel 2.5).

Das auskoppelbare Abwärmepotenzial wird somit mit dem Mittelwert von 88 Prozent des Stromverbrauchs der Rechenzentren und Serverräume angenommen. Aus dem Stromverbrauch ergibt sich damit mittelfristig ein auskoppelbares Abwärmepotenzial zwischen 2.38 und 3.08 TWh/a.

Das Abwärmepotenzial der Rechenzentren wird separat für die Segmente gemäß Kapitel 1.2.1 betrachtet: KMU Server/Serverräume, firmeninterne Rechenzentren und Rechenzentren-Dienstleister.

Dabei wird berücksichtigt, dass sich nach Einschätzung der Rechenzentren-Betreibenden künftig 80 bis 90 Prozent aller Datenmengen in der Schweiz in das Segment «Rechenzentren-Dienstleister» (Kapitel 8.3) verschieben werden. Somit verbleiben mittelfristig etwa 10 bis 20 Prozent der eigenen Daten in den Segmenten «Firmeninterne Rechenzentren» und «KMU Server/Serverräume». Für die Abschätzung des Abwärmepotenzials nach Segmenten wird von durchschnittlichen 15% ausgegangen.

Die auskoppelbare Abwärme verteilt sich daher wie folgt auf die Segmente:

- Firmeninterne Rechenzentren und KMU: 0.36 bis 0.46 TWh.
- Rechenzentren-Dienstleister: 2.02 bis 2.62 TWh.

In den Segmenten «Firmeninterne Rechenzentren» und «KMU Server/Serverräume» wird weiterführend angenommen, dass mit den verbleibenden eigenen Daten die entstehende Abwärme zur Nutzung wirtschaftlich unattraktiv und daher vernachlässigbar gering ist.

Hingegen wird in den zunehmend grösseren Rechenzentren im Segment «Rechenzentren-Dienstleister» davon ausgegangen, dass infolge der lokalen Datenbündelung die auskoppelbare Abwärme optimale Voraussetzungen für die interne und die externe Abwärmenutzung in der Umgebung bietet. Es verbleibt somit ein realistisches Abwärmepotenzial von 2.02 bis 2.62 TWh. Eine möglichst hohe Ausnutzung dieses Potenzials ist anzustreben.

7.2 Diskussion Abwärmepotenzial Rechenzentren

Mit den in Kapitel 3 beschriebenen Annahmen und Schätzungen ergibt sich mittelfristig ein nutzbares Abwärmepotenzial von 2.02 bis 2.62 TWh (Kapitel 7.1). Unterschiedliche Einflussfaktoren können den effektiven Ausnutzungsgrad des Abwärmepotenzials beeinflussen.

7.2.1 Anteil Abwärmenutzung im Segment Rechenzentren-Dienstleister

Im Jahr 2019 haben gemäss der Studie zum Stromverbrauch der Rechenzentren in der Schweiz 35 Prozent der Rechenzentren die Abwärme genutzt [3].

In der Marktübersicht 2022 sind die 86 vorhandenen Schweizer Rechenzentren-Dienstleister mit Nachhaltigkeitsmassnahmen aufgelistet [13]. Von den 61 Rechenzentren-Dienstleistern, die Angaben zu Nachhaltigkeitsmassnahmen gemacht haben, nutzen 28 Rechenzentren die Abwärme. Daraus wird im Jahr 2022 die Abwärmenutzung in 46 Prozent der Rechenzentren-Dienstleister abgeleitet.

Bei weiteren neun Rechenzentren ist angegeben, dass die Abwärmenutzung vorbereitet bzw. geplant ist. Ob in der Umgebung Wärmeabnehmer für die wirtschaftliche Realisierung einer externen Abwärmenutzung vorhanden sind, ist in diesen Fällen nicht bekannt. Im besten Fall nutzen mittelfristig 61 Prozent der Rechenzentren-Dienstleister die Abwärme ($28 + 9 = 37$ von 61 Rechenzentren-Dienstleister).

Auf Basis der vorhandenen Datengrundlagen und den Erkenntnissen in dieser Studie wird der Anteil der Rechenzentren-Dienstleister, die mittelfristig ihre Abwärme intern und extern in der Umgebung nutzen, mit einer Bandbreite von 46 bis 61 Prozent geschätzt. Diese Anteile können sich auf Grund zukünftiger Veränderungen der Rahmenbedingungen wie zum Beispiel der Gesetzgebung, Normen oder steigender Energiepreise ändern. Es ist daher das Ziel, die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass sich dieser Anteil erhöhen lässt und das Potenzial möglichst ausgeschöpft wird.

7.2.2 Anteil nutzbare Abwärme in der Umgebung

Welcher Anteil der auskoppelbaren Abwärme effektiv genutzt werden kann, hängt von der lokalen Situation des Wärmeangebots, der Wärmenachfrage und dem angestrebten Deckungsgrad ab (siehe Kapitel 4). Die Bandbreite des nutzbaren Abwärmepotenzials in der Umgebung ist hoch und damit relevant für das Abwärmepotenzial: So liegt der Ausnutzungsgrad mit den theoretischen Annahmen in Kapitel 4.2 im Fallbeispiel 1 bei 12 Prozent und im Fallbeispiel 2 bei 48 Prozent. In einem polyvalenten System, mit alternativen Wärmeerzeugern, kann das Potenzial auch nahezu voll ausgenutzt werden.

Das Abwärmepotenzial der Rechenzentren und Serverräume in der Schweiz wird davon nicht beeinflusst. Die Beispiele unterstreichen aber die Wichtigkeit einer möglichst guten Planung mit hohem Ausnutzungsgrad zur Nutzung des vorhandenen Abwärmepotenzials.

7.2.3 Einordnung Abwärmepotenzial Rechenzentren

In Relation dazu: Die Kehrlichtverbrennungslagen (KVA) in der Schweiz produzierten im Jahr 2017 gesamthaft rund 4.0 TWh Wärme [14]. Die theoretisch auskoppelbare Abwärme der Rechenzentren und Serverräume in der Schweiz entspricht mit 2.02 bis 2.62 TWh (Kapitel 7.1) somit rund 50 - 65 Prozent der in Kehrlichtverbrennungslagen produzierten Wärme und ist vergleichsweise hoch. Bei einer guten Ausnutzung der Abwärme aus Rechenzentren wird das Potenzial für die Erreichung der Klimaschutzziele 2050 als wichtig beurteilt.

Mit dem geschätzten Abwärmepotenzial der Schweizer Rechenzentren und Serverräume können mittelfristig rund 140'000 bis 185'000 Privathaushalte bzw. 3.7 bis 4.7 Prozent aller Privathaushalte beheizt und mit Warmwasser versorgt werden [1]. Dies führt bei der Wärmeversorgung von Wohngebäuden mit einer fossilen Heizung [2] zu einer Einsparung von rund 420'000 bis 555'000 t CO₂eq.

Allgemein ist die CO₂-freie Abwärme von Rechenzentren für den Klimaschutz, wenn immer am Standort wirtschaftlich möglich, zur Wärmeversorgung in der Umgebung zu nutzen. Nebst diversen anderen Klimaschutzmassnahmen im Gebäudebereich kann die Abwärmennutzung der Rechenzentren in der Schweiz einen grundlegenden Beitrag zur Erreichung des langfristigen Klimaziels von Netto-Null Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 des Bundes leisten.

Das grösste Potenzial für den mittelfristigen Anschub der Abwärmennutzung von Rechenzentren wird in der ortsspezifischen Maximierung des Ausnutzungssgrades von Abwärme für die Wärmeabnahme gesehen. Hierzu sind mögliche Lösungsansätze sowie Empfehlungen in Kapitel 9 aufgeführt.

8 Interviews und Erkenntnisse

Die qualitativen Interviews dieser Studie dienen im Wesentlichen zur Validierung der identifizierten Rahmenbedingungen der Abwärmenutzung von Rechenzentren. Dies mit dem Ziel, anhand von Risiken, Chancen und Hemmnissen, Lösungen aufzuzeigen und zielgerichtete Empfehlungen zum Anschub der Abwärmenutzung von Rechenzentren abzugeben.

8.1 Qualitative Interviews

In einem offenen, leitfadengestützten Interview wurden alle Interviewpartner*innen zur Abwärmenutzung von Rechenzentren nach denen aus Ihrer Sicht vorhandenen und künftigen Chancen, Risiken und Hemmnissen befragt. Die Interviewpartner*innen haben den Interview-Leitfaden teils vorgängig erhalten.

Zu beachten ist, dass die geführten Interviews nicht repräsentativ sind und keine allgemeingültige Beurteilung zur Abwärmenutzung von Rechenzentren darstellen. Vielmehr sind die Aussagen der Interviewpartner*innen als persönliche Meinungen zu verstehen, die in diesem Fall ein stimmiges Gesamtbild ergeben.

8.1.1 Kernfragen

Bei den Gemeinden lag der Fokus der Fragen auf dem Baubewilligungsverfahren, der Energieplanung, vorhandenen Regulatorien und den Zuständigkeiten von Gemeinden, Kantonen und Bund.

Bei den Rechenzentren-Betreibenden und den Energiedienstleistern bezogen sich die Kernfragen auf wesentliche Kriterien und Anreize für die Auskopplung der Abwärme bzw. den Betrieb des Wärmenetzes, die vertraglichen Regelungen, Versorgungssicherheit und Lebenszyklusbetrachtung sowie auf technische Kennzahlen.

Vertiefte Fragen an die Rechenzentren-Betreiber waren zusätzlich noch die Standortwahl, das Monitoring sowie die Unternehmensstrategie hinsichtlich Nachhaltigkeit.

Es wurden insgesamt neun qualitative Interviews mit den Beteiligten an der Abwärmenutzung von Rechenzentren geführt:

- Rechenzentrums-Dienstleister, 2 (Marketingmanager, Senior Programm Manager)
- Firmeninterne Rechenzentren, 1 (Teamleiter Energie Nachhaltigkeit)
- Energiedienstleister, 2 (Leiter Verkauf Energiesolutions, Projektleiter Energieverbund)
- Netzbetreiberin (Genossenschaft), 1 (Bereichsleiterin Bau und Außenraum)
- Gemeinden, 2 (Umweltbeauftragte/Leiterin Bau und Infrastruktur, Leiter Hochbau und Planung)
- Planungsbüro, 1 (Planer)

8.2 Gemeinden

8.2.1 Bewilligungsverfahren

Die mit zwei Gemeinden geführten Interviews haben gezeigt, dass heutzutage für Rechenzentren bei der Baueingabe weder von den Gemeinden noch vom Kanton (z.B. Emissionen) spezifische energetischen Anforderungen gestellt werden.

Im Verlauf des Bewilligungsverfahren würde man sich ein normiertes Vorgehen wünschen (SIA-Norm, Leitfaden), welches momentan nicht vorhanden ist. In diesem Zusammenhang wurde erwähnt, dass spezifisches Knowhow bei seltenen Gebäudenutzungen in den Verwaltungen von kleinen bis mittelgrossen Gemeinden ungenügend vorhanden ist. Der Erfahrungsaustausch mit anderen Gemeinden findet statt, allerdings wäre ein einheitliches Vorgehen effizienter und wirkungsvoller.

Es wurde angemerkt, dass die finanziellen Rahmenbedingungen zur Umsetzung der Energie- und Klimapolitik in den Gemeinden sehr unterschiedlich sind. Während es Gemeinden gibt, welche finanzielle Anreize für den Anschub der Abwärmenutzung von Rechenzentren anbieten könnten, können andere Gemeinden dies nicht. Aus diesem Grund wurde in einem Interview angeregt, dass erst Anreizinstrumente für die Abwärmenutzung lanciert werden sollten, bevor gesetzliche Rahmenbedingungen mit Anforderungen zur Abwärmenutzung eingeführt werden.

Für die Einheitlichkeit von Bewilligungspraxis und Förderinstrumenten bei der Abwärmenutzung von Rechenzentren sehen die Gemeinden die Zuständigkeit bei den Kantonen und allenfalls beim Bund.

8.2.2 Energieplanung

In den Interviews wurde angemerkt, dass je nach Grösse und Struktur der Gemeinden (z.B. Bevölkerung, Gewerbe und Industrie) eine Festlegung von Energieverbundgebieten mit der Abwärme von Rechenzentren einschränkend und damit nachteilig in der Stadtplanung sein kann.

Als weiterer Punkt wurde das Risiko «Versorgungssicherheit» hinsichtlich der Kurzlebigkeit von Rechenzentren, im Kontrast zu den langjährigen Amortisationszeiten von Wärmenetzen, genannt.

8.2.3 Wärmenetz: Eigentümerschaften

In einem Interview wurde darauf hingewiesen, dass in der Umgebung des Rechenzentrums nicht nur die Wärmeabnahme gross genug sein muss, für den Wärmeabnehmer (Hauseigentümer) muss der Anschluss an das Wärmenetz auch attraktiv sein. Dies ist in der Regel nicht der Fall, wenn die bestehende Heizung zum Zeitpunkt des möglichen Netzanschlusses noch nicht amortisiert ist. Auch wurde auf schlechte Erfahrungen von Planenden und Eigentümerschaften mit privaten Wärmeversorgern hingewiesen. Aus Sicht dieser Gemeinde braucht es hierzu attraktive Förderungen via Kanton und/oder Bund.

8.3 Rechenzentren-Betreibende

Es wurden zwei Interviews mit Rechenzentrums-Dienstleistern und ein Interview mit einem Unternehmen mit firmeninternem Rechenzentrum geführt. Weitere Erkenntnisse zu Rechenzentren haben auch die mit Gemeinden und Energiedienstleistern geführten Interviews gebracht.

Die mit grossen Rechenzentren-Betreibenden geführten Interviews zeigen, dass die Abwärmenutzung allgemein positiv beurteilt wird und die in den Unternehmungen vorhandenen Nachhaltigkeitsstrategien eine zentrale Rolle beim Betrieb der Rechenzentren spielen. Die Abwärme wird in allen Rechenzentren intern genutzt und das Monitoring des Betriebs läuft. Letzteres ermöglicht es, den Stromverbrauch zu reduzieren und mehr Gewinn zu machen.

Für die Standortwahl werden als Hauptkriterien eine stabile und wirtschaftliche Stromversorgung, sowie eine leistungsfähige Datenanbindung (Glasfasernetz) genannt. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Sicherheit hinsichtlich Politik und Naturgewalten.

Zur bevorzugten Lage, ob Land oder Stadt, sind die Aussagen in den Interviews sehr unterschiedlich. Für einen Rechenzentrums-Dienstleister überwiegen die Vorteile für ein Rechenzentrum auf dem Land. Genannte Gründe hierfür sind das einfachere Bewilligungsverfahren, günstigere Investitionskosten und die tiefere Relevanz der Emissionen von Rechenzentren (Lärm und Abgase Notstrom). Für den anderen Rechenzentrums-Dienstleister stehen hingegen die Nähe zu Kunden und Daten im Vordergrund, so dass Rechenzentren in städtischen Regionen bevorzugt werden.

Die interviewten Rechenzentren-Betreibenden geben die Abwärme kostenlos an den Energiedienstleister zur Nutzung im Wärmenetz ab. Jedoch verpflichten sie sich in der Regel weder zu einer verbindlichen Mindestdauer der Wärmelieferung noch zu einer zu liefernden Wärmemenge oder Leistung. Als Anreiz für die Wärmeabgabe wurde in den Interviews die Wettbewerbsfähigkeit genannt. Durch die Auskopplung der Abwärme sinkt der Stromverbrauch des Rechenzentrums, da weniger Strom für die Kälteproduktion benötigt wird.

Von Seiten eines Marketingmanagers wurde auch das positive Image als Anreiz erwähnt. Die Aussagen zum Anreiz für Rechenzentren werden auch von einer Gemeinde bestätigt: Das dort ansässige Rechenzentrum hat beim Bau des Gebäudes die Infrastruktur zur Wärmeauskopplung für ein zukünftig mögliches Wärmenetz bereits vorbereitet.

Bei der Auskopplung wurde darauf hingewiesen, dass sowohl die Rechenzentren-Betreibenden wie auch deren Kunden keine Eingriffe in die technischen Betriebsabläufe des Rechenzentrums von aussen akzeptieren. Das heisst jedoch nicht, dass alle Rechenzentren-Betreibender die Kosten der Auskopplung übernehmen. Hier zeigten sich in den geführten Interviews folgende Unterschiede: Während der Rechenzentrums-Dienstleister aus dem Ausland die Investitionskosten übernommen hat, hat bei dem Schweizer Rechenzentrums-Dienstleister die Gemeinde die Kosten getragen. Bei dem firmeninternen Rechenzentrum wird die Abwärme in dem eigenen Wärmenetz genutzt.

Weiter geführte Interviews, mit Netzbetreibenden und einer Gemeinde, lassen vermuten, dass heutzutage ausländische Rechenzentren-Dienstleister die Kosten der Auskopplung übernehmen und Schweizer Rechenzentren-Betreibende nicht.

Gemäss den Aussagen in den Interviews zum IT-Equipment war jede neue Hardwaregeneration der letzten Jahre jedes Jahr um sieben bis acht Prozent effizienter. Die Aussagen zur Verdopplung der Datenmengen schwanken zwischen einem Jahr und 18 Monaten. Trotz des Anstiegs der Datenvolumen schätzen die befragten Rechenzentren-Betreibenden den Anstieg des Stromverbrauchs in den nächsten Jahren als moderat/flach ein. Dies, weil Elektronik und Server stetig effizienter und leistungsfähiger werden, dadurch weniger Strom verbrauchen und sich die Entwicklungen grösstenteils gegenseitig aufheben.

Gemäss Einschätzung der Rechenzentren-Betreibenden werden sich 80 bis 90 Prozent der Daten der firmeninternen Rechenzentren und Server der KMU in die Rechenzentren der Dienstleistenden verlagern. Vertrauliche Daten, die in den firmeninternen Rechenzentren und KMU-Serverräumen verbleiben, werden entsprechend mit 10 bis 20 Prozent geschätzt.

Bezüglich technischer Angaben wurden PUE-Werte zwischen 1.2 – 2 genannt. Diese Bandbreite entspricht den in Kapitel 0 beschriebenen drei Arten von Rechenzentren. Zu den technischen Fragen zur Abwärmenutzung (z.B. Abwärmemenge, Anteil genutzte Abwärme) konnten die Interview-Partner kaum bis keine Aussagen machen. Da in den Interviews das laufende Monitoring des Betriebs erwähnt wurde, werden bzw. können Daten hierzu vermutlich erfasst werden. Unbekannt ist, ob die Interview-Partner zu wenig mit dem Datenmanagement vertraut sind und ob diese Daten erfasst sowie ausgewertet werden.

Die befragten Interviewpartner gaben eine Lebenszyklusbetrachtung zwischen 20 und 30 Jahren an. In einem Interview wurde entgegen dieser vorherigen Aussage zur Lebenszyklusbetrachtung auch «core-edge» und «jederzeit weggehen» geäussert. Wenn das Rechenzentrum den Standort verlässt, wird das Gebäude entweder abgebrochen, von der Konkurrenz übernommen oder komplett saniert (Umnutzung). Aussagen zu Lebenszyklusbetrachtungen liegen aus den Interviews mit Energiedienstleistern vor und werden im folgenden Kapitel beschrieben, so dass die in den Interviews widersprüchlichen Angaben der Rechenzentren-Dienstleister nicht weiterverfolgt werden.

8.4 Energiedienstleister

Gemäss den geführten Interviews mit zwei Energiedienstleistern ergibt sich, wie nachfolgend beschrieben, ein einheitliches Bild.

Die Energiedienstleister nehmen dem Rechenzentrum nur die in ihrem Wärmenetz effektiv benötigte Wärme ab. Welcher Anteil dies von der ausgekoppelten Abwärme des Rechenzentrums ist, ist nicht bekannt.

Die Abwärme wird den Rechenzentren-Betreibenden nicht vergütet, was mit dem geringen Temperaturniveau der ausgekoppelten Abwärme eines Rechenzentrums begründet wird.

In der Lebenszyklusbetrachtung wird bei Rechenzentren von 10 bis 15 Jahren und bei den Wärmenetzen von 30 bis 40 Jahren ausgegangen.

Die Energiedienstleister streben bei einem Wärmenetz eine Mindestlaufzeit von 20 Jahren an. Zur Versorgungssicherheit gibt es bei den Wärmenetzen mit der Abwärme von Rechenzentren hierfür einen Plan B: In einem Fall wird das bestehende Wärmenetz parallel mit weiteren Wärmequellen versorgt und im anderen Fall ist im Businessplan eine alternative Wärmequelle als allfällige Anschlusslösung enthalten.

Ob ein Wärmenetz wirtschaftlich betrieben werden kann, hängt im Wesentlichen von der Energiedichte und den Distanzen zu den Wärmeabnehmenden ab. Ebenfalls als sehr wichtig wird erwähnt, dass der Anschluss an das Wärmenetz für Eigentümerschaften finanziell attraktiv sein muss. Technische Themen wie Abwärmemenge und das Temperaturniveau spielen untergeordnet eine weitere Rolle.

Als optimal wurde ein aktuell geplanter Energieverbund mit einer grosses Wärmeleistung (25 MW) und mit grossen Wärmeabnehmenden in der Umgebung, die teils auch einen ganzjährig hohen Bandlastwärmbedarf aufweisen, erwähnt.

Die fossile Spitzenlastabdeckung in den Wärmenetzen wurde mit 15 bis 25 Prozent angegeben. In einem Fall wird aktuell in der Planung eine fossilfreie Spitzenlastabdeckung mit Kombi-Hochtemperatur-Wärmepumpen angestrebt.

8.5 Erkenntnisse

Über die Zielgruppen hinweg zeigten die Interviews ein einheitliches Bild: Die Befragten beurteilen die übergeordneten Chancen, Risiken und Hemmnisse gleich. Diese werden von den Befragten wie folgt beurteilt:

- Chancen: Die Abwärmennutzung der Rechenzentren wird als grosse Chance beurteilt, die genutzt werden sollte.
- Hemmnisse, heute: Das grösste Hemmnis für die Abwärmennutzung von Rechenzentren ist die fehlende Wärmeabnahme in der Umgebung. Bei den Wärmenetzen kommt als Hemmnis hinzu, dass nicht alle Eigentümerschaften Interesse an einem Anschluss haben (Heizung noch nicht amortisiert, schlechte Erfahrungen usw.).
- Risiken: Versorgungssicherheit bei der Abwärmennutzung von Rechenzentren für einen langfristigen Netzbetrieb und die Wärmeversorgung.

An einer Informationsveranstaltung, zu einem mit Abwärme eines Rechenzentrums geplanten Energieverbundes, haben Eigentümerschaften Bedenken zur Versorgungssicherheit geäussert. Dies, obwohl bei diesem Energieverbund eine alternative Wärmequelle vor Ort vorhanden ist und der Businessplan des Energiedienstleisters das Szenario «Wegzug Rechenzentrum» beinhaltet. Bedenken von Seiten Eigentümerschaften zu privaten Wärmequellen wurde auch in einem mit einer Gemeinde geführten Interview geäussert.

Wie sich in den Interviews abzeichnete, konnten kaum Aussagen zu technischen Kennzahlen gemacht werden. Dies unabhängig davon, ob der Interview-Leitfaden vorgängig versendet wurde oder nicht. Die wenigen mündlichen Angaben in den Interviews erwiesen sich als sehr optimistisch und wichen von den teils nachträglich zur Verfügung gestellten Unterlagen deutlich ab. Die nachträglich zur Verfügung gestellten Daten wiederum sind nicht selbsterklärend und wurden im Rahmen dieser Studie nicht weiterführend ausgewertet.

Wie die Interviews gezeigt haben, sind alle Beteiligten – Gemeinden, Energiedienstleister und Rechenzentrums-Betreiber – interessiert an der Abwärmennutzung von Rechenzentren. Es zeigen sich dabei für die Beteiligten folgende win-win-Situationen:

- Rechenzentrum-Betreibende: Wenn die Abwärme für die externe Nutzung in einem Wärmenetz genutzt werden kann, reduziert sich der Energieverbrauch des Rechenzentrums. Die Rechenzentren-Dienstleister werben mit Nachhaltigkeit und Energieeffizienz – je geringer der Stromverbrauch, desto wettbewerbsfähiger ist das Rechenzentrum.
- Energiedienstleister: Die Rechenzentren geben die mehr oder minder ganzjährig konstante Abwärme gratis zur Nutzung in ein extern betriebenes Wärmenetz ab.
- Gemeinden: Die CO₂-freie Abwärme von Rechenzentren unterstützt Gemeinden bei der Erreichung ihrer Energie- und Klimapolitischen Ziele. Zudem nimmt die Gemeinde damit gegenüber Bevölkerung und ansässigem Gewerbe eine Vorbildfunktion ein (Imagesteigerung).

9 Lösungsansätze und Empfehlungen

Gemäss den allgemeinen Erkenntnissen und denen aus den qualitativen Interviews heraus, werden für den Anschub der Abwärmenutzung in neuen Rechenzentren nachfolgend Lösungsansätze und Empfehlungen beschrieben. Dabei werden übergeordnet die grössten Hebel bei Gemeinden, Kantonen und Bund gesehen.

9.1 Bewilligungsverfahren und Energieplanung

Einheitliche Rahmenbedingungen im Baubewilligungsverfahren helfen insbesondere kleineren und mittelgrossen Gemeinden bei der Prüfung von Baugesuchen und der Definition von Vorgaben für eine hohe Energieeffizienz und Abwärmenutzung von Rechenzentren.

Ziel ist es, dass das Bewilligungsverfahren zukünftig positiv Einfluss auf die Stromeffizienz und Abwärmenutzung von Rechenzentren nimmt. Für Rechenzentren werden aus den Erkenntnissen der Studie heraus im Baubewilligungsverfahren für Neubauten und Neu-Inbetriebnahmen in bestehenden Gebäuden dafür folgende Massnahmen zur Überprüfung auf Machbarkeit empfohlen:

- Nachweis zur Abwärmenutzung mit dem Baugesuch: Verpflichtende Abklärungen der Rechenzentren-Betreibenden zu den Möglichkeiten der lokalen oder regionalen Nutzung der auskoppelbaren Abwärme. Um Aufwand und Kosten für die Antragstellenden so gering wie möglich zu halten, wird ein schweizweit gelendes und einfach zu bedienenden Tool zur Erbringung dieses Nachweises empfohlen.
- Auflagen in der Baubewilligung, wenn der Nachweis «Wirtschaftliche Abwärmenutzung möglich» ergibt: Auskopplung der Abwärme ist baulich umzusetzen und die auskoppelbare Abwärme ist zur externen Nutzung in der Umgebung zur Verfügung zu stellen.

In der Energieplanung wird empfohlen, dass Gebiete mit einer genügend grossen Wärmeabnahme in der Umgebung evaluiert werden. Hierbei sind für die Abwärmenutzung sowohl in Aussicht stehende wie auch bereits vorhandene Rechenzentren einzubeziehen. Bei der Erarbeitung sowie der turnusmässig anstehenden Überarbeitung der Energierichtpläne (behördenverbindlich) sind auf dieser Basis «Energieverbundgebiete mit Abwärme» auszuscheiden. In einigen Gemeinden und Städte der Schweiz sind solche Energieverbundgebiete bereits im Richtplan Energie ausgeschieden (z.B. Stadt Zürich).

Es ist zudem zu überprüfen, ob im Baureglement (grundeigentümerverbindlich) als allgemeiner Artikel, Standorte von Rechenzentren zielführend festgelegt werden können. Damit würden die Abwärme der Rechenzentren und die Wärmeabnahme in der Umgebung geografisch zusammenkommen. Ein weiterer Vorteil ist, dass bereits zum Zeitpunkt der Standortwahl Gemeinden und Rechenzentren-Betreibende frühzeitig zur Abklärung der Abwärmenutzung in Kontakt kommen.

9.2 Versorgungssicherheit

9.2.1 Versicherungsmodelle

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) hat eicher+pauli im Jahr 2021 die Studie «Risiko-Absicherung thermische Netze» [15] bearbeitet. Das Ziel war es, Versicherungsmodelle zur Absicherung von thermischen Netzen mit industrieller oder gewerblicher Abwärme – wie z.B. Rechenzentren – zu definieren. Im Bericht vom 23. März 2021 wird unter anderem die Absicherung beim Wegfall der Wärmequelle empfohlen. Bei einem Rechenzentrum wären damit die Ersatzinvestition für den weiteren Betrieb des Wärmenetzes mit erneuerbarer Energie und der Rückbau des Anschlusses an das Rechenzentrum als Wärmequelle abgesichert. Zur Umsetzung weiterer Wärmenetze, würde der Bund diese Absicherungslösung anbieten (Risikogarantie). Eine gesetzliche Grundlage für die Umsetzung einer solchen Absicherung ist im Rahmen der Revision des CO₂-Gesetzes aktuell im Parlament in der Beratung.

9.2.2 Vertragliche Regelungen

Wie die Interviews gezeigt haben, gibt es unter den Rechenzentren-Betreibenden und den Energiedienstleistern wenig Verbindlichkeiten zur Abwärmenutzung. Zusätzliche vertragliche Regelungen würden das Versorgungsrisiko der Abwärmenutzung von Rechenzentren reduzieren und könnten für beide Seiten die Abwärmenutzung attraktiver machen. Für die Energiedienstleister ist z.B. eine Mindestlaufzeit für die Versorgungssicherheit oder klar definierte Ausstiegsszenarien mit Ersatzpflicht zur Sicherstellung der Wärmeversorgung festzulegen. Für die Rechenzentrums-Betreibenden könnten Anreize z.B. die Vergütung der Abwärme sowie eine garantierter Abnahmemenge sein.

9.3 Hilfsmittel zur Potenzialabschätzung der Abwärmenutzung

Als weitere Unterstützung kann für alle Beteiligten – Gemeinden, Energiedienstleister und Rechenzentren-Betreibende – ein einfaches Rechentool für eine Erstabschätzung des Potenzials der Abwärmenutzung an einem Standort dienen. So kann der Rechenzentren-Betreiber abschätzen, wie viel Abwärme theoretisch auskoppelbar ist und der Energiedienstleister kann anhand der auskoppelbaren Abwärme für ein Wärmenetz einen dazu passenden Perimeter ermitteln und eine Erstüberprüfung der Wirtschaftlichkeit vornehmen. Gemeinden können mit dem Tool bei der Energieplanung anhand des lokal vorhandenen Energiebedarfs passende Gebiete für Energieverbunde mit Abwärme ausscheiden. Im Baubewilligungsverfahren kann, für die in Kapitel 9.1 empfohlene verpflichtende Abklärung zur Abwärmenutzung, das Tool für den erforderlichen Nachweis eingesetzt werden.

9.4 Energiedatenmanagement

Für eine belastbare Abschätzung des Abwärme-Potenzials von Rechenzentren in der Schweiz fehlen bislang georeferenzierte Datengrundlagen. Zudem ist die Entwicklung des Rechenzentren-Markts volatil, so dass eine Schätzung der in den nächsten Jahren eintretenden Situation kaum möglich ist.

Auf Basis georeferenzierter Datengrundlagen sind belastbare Aussagen zur Abwärmenutzung der Rechenzentren in der Schweiz möglich. In der Annahme, dass eher die grösseren Rechenzentren für die wirtschaftlich Nutzung der Abwärme in der Umgebung geeignet sind, wird das folgende, schrittweise Vorgehen empfohlen:

1. Kurzfristig «Segment Rechenzentrums-Dienstleister» [13]: Ergänzung des Planungshandbuchs Fernwärme mit einem Kapitel «Rechenzentrum». In diesem werden die rund 90 Rechenzentrum-Dienstleister in der Schweiz betrachtet. Diese in der Regel eher grossen Rechenzentrums werden mit Standort und Gesamtleistung / IT-Leistung in die bestehende GIS-Plattform des Bundes map.geoadmin.ch implementiert. Mit der Methodik des Handbuchs werden die in der GIS-Plattform vorhandenen Nachfragedaten pro Hektar mit der Abwärmeleistung des jeweiligen Rechenzentrums abgeglichen.

Diese georeferenzierte Betrachtungsweise ermöglicht eine ganzheitliche Beurteilung der Abwärmenutzung von Rechenzentren (Rechenzentrum, Wärmeabnahme in der Umgebung und Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung in Hoch- und Niedertemperaturnetzen). Auf dieser Basis sind für den nächsten Schritt Abgrenzungen

möglich, ab welcher Leistung bzw. unter welchen Voraussetzungen ein Rechenzentrum für die Abwärmenutzung geeignet ist.

2. Mittelfristig «alle Rechenzentrum-Segmente»: Die Möglichkeiten einer gesetzlichen Verpflichtung zur Datenerfassung und -lieferung (Stromverbrauch, Abwärmenutzung usw.) für Rechenzentrums sind zu überprüfen und soweit möglich in Kraft zu setzen. Diese Verpflichtung gilt, für die im ersten Schritt identifizierten zur Abwärmenutzung geeigneten Rechenzentren.

9.5 Marktbeobachtung

Die Datenmengen werden weiter zunehmen und damit werden auch weiteren neuen und grossen Rechenzentrums hinzukommen. Es ist davon auszugehen, dass die in den letzten Jahren gewählten, sowie die künftigen Standorte in der Region Zürich und in den Kantonen Waadt, Genf und Bern für die Rechenzentrums-Dienstleister attraktiv bleiben (Netz, Sicherheit usw.). Die weltweit vorhandene Attraktivität von Standorten könnte in Zukunft die Geschäftsmodelle der grossen Rechenzentrums-Dienstleister dahingehend beeinflussen, dass Rechenzentren über einen längeren Zeitraum an den jeweiligen Standorten bleiben. Es wird empfohlen, diesbezüglich die Trends und Entwicklungen bei den Rechenzentrums-Dienstleistern zu beobachten.

Wenn sich hier eine Veränderung bezüglich der Lebenszyklusbetrachtung der Rechenzentrums-Dienstleister abzeichnen sollte, könnte sich das grosse Hemmnis «Versorgungssicherheit» abschwächen. Damit wäre die Abwärmenutzung von Rechenzentren für Energiedienstleister und Eigentümerschaften attraktiver.

10 Quellen

- [1] „Energieverbrauch nach Verwendungszweck (admin.ch),“ Februar 2023. [Online].
- [2] Bundesamt für Statistik, „ bfs.admin.ch Energiebereich Heizsysteme und Energiequellen,“ [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/gebaeude/energiebereich.html#:~:text=Heizsystem%20und%20Energiequelle,Anteil%20der%20stark%20gestiegen%20ist..> [Zugriff am 19 04 2023].
- [3] T. E. Hochschule Luzern, „Rechenzentren in der Schweiz - Stromverbrauch und Effizienzpotential,“ EnergieSchweiz, 2021.
- [4] „Data Center Market Switzerland 2021 (cbre.ch),“ 2023. [Online].
- [5] R. Fasan, „Rechenzentren in der Schweiz - Bau- und Ausbaupläne,“ EnergieSchweiz, 2021.
- [6] Bundesamt für Energie, „Faktenblatt Abwärme für den Umgang mit energie- und klimapolitischen Instrumenten,“ 2018. [Online].
- [7] A. Altenburger, „Energieeffizientes Kühlen von IT-Räumen - auch ökonomisch interessant,“ Amstein + Walther AG, Zürich, 2005.
- [8] EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie (BFE), „EnergieSchweiz,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.energieschweiz.ch/heizungssysteme/waermepumpen/>. [Zugriff am 16 03 2023].
- [9] Amstein + Walther AG, „Machbarkeitsstudie zur Nutzung der Abwärme des Rechenzentrums Beringen,“ Baudepartement des Kantons Schaffhausen, Energiefachstelle, Zürich, 2022.
- [10] B. f. E. EnergieSchweiz, Planungshandbuch Fernwärme V1.2, 2018.
- [11] „Wohnungsgröße | Bundesamt für Statistik (admin.ch),“ Februar 2023. [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/wohnungen/groesse.html>. [Zugriff am 19 04 2023].
- [12] „Gebäudefläche | Bundesamt für Statistik (admin.ch),“ Februar 2023. [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/gebaeude/groesse.html>. [Zugriff am 19 04 2023].
- [13] „So sieht der Schweizer Markt für Rechenzentren aus | IT-Markt,“ März 2023. [Online].
- [14] Bundesamt für Energie, „opendata.swiss,“ 31 12 2021. [Online]. Available: <https://opendata.swiss/de/dataset/kehrichtverbrennungsanlagen-kva>. [Zugriff am 14 04 2023].
- [15] Bundesamt für Energie, „Risiko-Absicherung thermische Netze,“ UVEK, Ittingen, 2021.
- [16] „Weniger Strom in Serverräumen und Rechenzentren (energieschweiz.ch),“ Februar 2023. [Online].
- [17] Programm ProKilowatt, Bundesamt für Energie, „PUEDA+,“ Februar 2023. [Online].
- [18] „Anzahl Privathaushalte in der Schweiz (2021),“ Februar 2023. [Online].