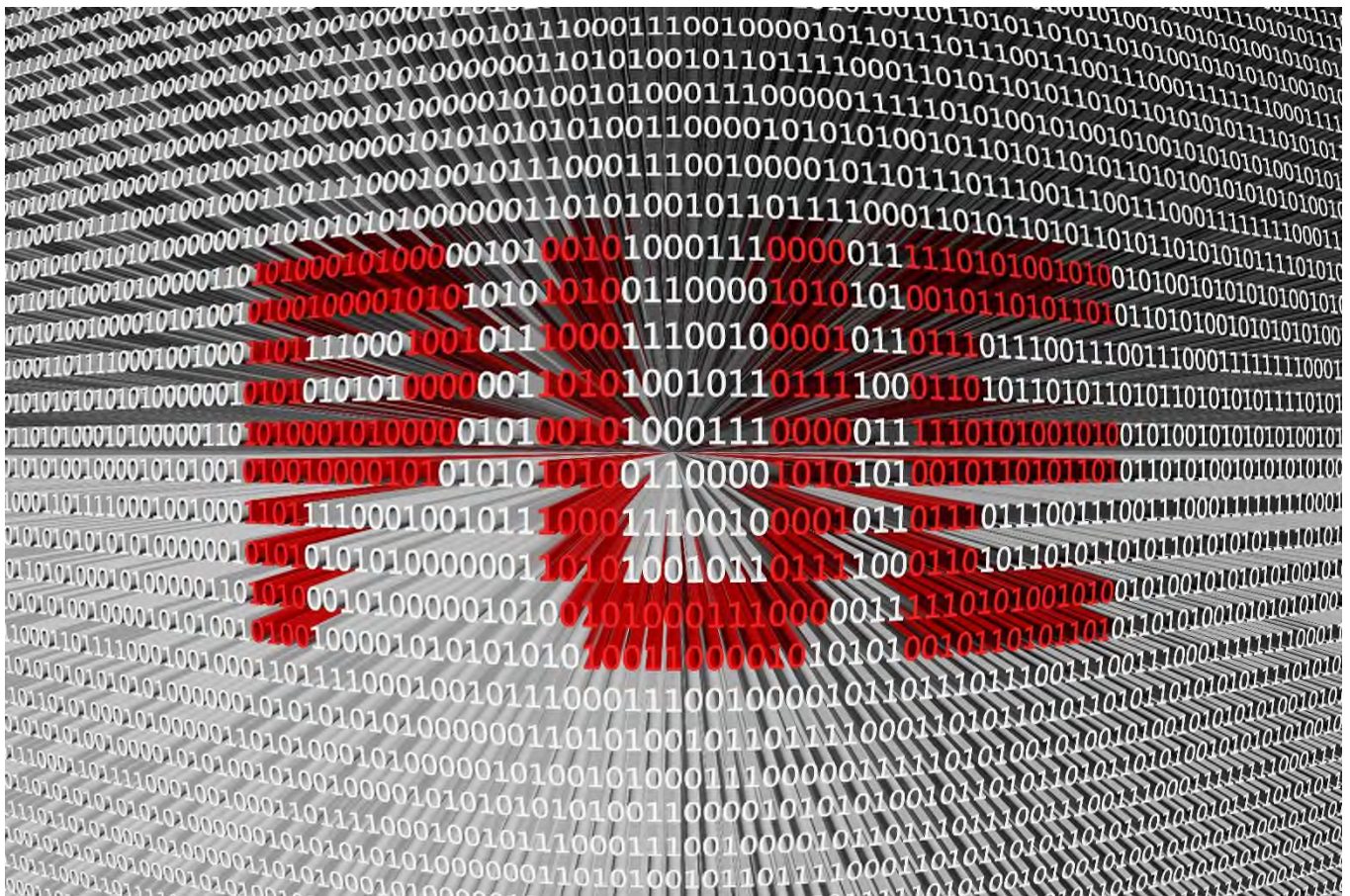


April 2021

Rechenzentren in der Schweiz – Stromverbrauch und Effizienzpotenzial



Autoren

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

Auftragnehmer

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

Hochschule Luzern (HSLU)
Technikumstrasse 21, 6048 Horw
www.hslu.ch/technik-architektur
+41 41 349 33 03
technik-architektur@hslu.ch

Mitarbeit bei der Online-Erhebung

Profondia AG
Netzmedien AG
asut – Schweizerischer Verband der Telekommunikation

Externes Review

Martin Casaulta, HPE
Prof. Babak Falsafi, EcoCloud, EPFL
René Fasan, 7pro solution AG
Kevin Fischer, Netzmedien AG
Christian Grasser, asut – Schweizerischer Verband der Telekommunikation
Martin Maurer, Profondia AG
Roger Weber, Genuel AG

Bildquelle Titelblatt: Shutterstock

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Zusammenfassung

Ausgangslage

Der Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) trägt in der Schweiz gemäss Ex-post Analysen des BFE mit mehr als 5% zum Stromverbrauch bei (BFE, 2020). Mehr als die Hälfte davon fällt auf den Bereich Serverräume (SR) und Rechenzentren (RZ), der bereits 2014 einen Anteil von 2.4% bis 3.3% des schweizerischen Stromverbrauchs ausmachte (Altenburger, Hauri, Puntsgdash, & Deininger, 2014). Der bereits in der Vergangenheit beobachtete Trend einer Zunahme an verarbeiteten und gespeicherten Daten wird durch die zunehmende Digitalisierung weiter verstärkt. Zusätzlich verstärkt wird die Dynamik bei Rechenzentren durch den Trend zu Auslagerungen und zu cloud-basierten Anwendungen. Trotz der zunehmenden Bedeutung der Rechenzentren, sowohl energetisch als auch volkswirtschaftlich, fehlten aktuelle empirische Datengrundlagen zum Stromverbrauch sowie zum bestehenden Energieeffizienzpotenzial. Ziel dieser Studie ist es deshalb, eine entsprechende Datengrundlage zu schaffen und den Stromverbrauch von Rechenzentren zu erheben und das verbleibende Energieeffizienzpotenzial abzuschätzen.

Vorgehen

Anhand einer Online-Erhebung werden die wichtigsten Grössen zur Abschätzung des Stromverbrauchs (installierte Leistung, PUE, Auslastung) sowie bzgl. Energieeffizienzmassnahmen (u.a. Systemraumtemperaturen, Luftführung, Kühlungsart, Speicher- und Backup-Systeme) bei drei verschiedenen Segmenten erhoben: RZ-Dienstleister (Segment A), Betreiber von unternehmensinternen Rechenzentren und Serverräumen in grossen Unternehmen (Segment B) sowie in KMUs (Segment C). Im Segment B sind auch öffentliche Unternehmen und Verwaltungen enthalten. Die KMU im Segment C besitzen evtl. nur ein paar wenige, eigene Server. Basierend auf den Angaben aus der Erhebung und mittels statistischer Methoden wird der Stromverbrauch der RZ und SR in der Schweiz hochgerechnet. In einem zweiten Schritt wird, auch basierend auf der Datenerhebung, das Energieeffizienzpotenzial abgeschätzt. Mittels der Definition von «Szenarien» wird der Effekt von Unsicherheiten eingegrenzt.

Stromverbrauch

Die Netto-Rücklaufquoten aus der Erhebung betragen je nach Segment zwischen 22% und 39% und die Ausfüllbereitschaft kann als zufriedenstellend bezeichnet werden. Aus den statistischen Analysen und der Hochrechnung auf die Schweiz ergibt sich für das Jahr 2019 ein Stromverbrauch in Schweizer RZ und SR zwischen 1.85 und 2.37 TWh. Der „Best guess“ liegt bei 2.1 TWh (siehe Abbildung 1), was rund 3.6% des schweizerischen Stromverbrauchs im Jahr 2019 entspricht. Nebst den grossen RZ-Dienstleistern tragen vor allem auch sehr grosse, spezialisierte firmeninterne RZ, allen voran von Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus der Finanz-, Versicherungs- oder Gesundheitsbranche, zu diesem Stromverbrauch bei.

Effizienzpotenzial

Die Resultate aus der Erhebung zeigen, dass der PUE, ein wichtiges Mass für die infrastrukturseitige Energieeffizienz, bei RZ-Dienstleistern deutlich besser bekannt ist als bei den unternehmensinternen RZ. Weiter zeigte sich, dass insbesondere bei RZ-Dienstleistern die PUE-Werte in den letzten Jahren gesenkt werden konnten. Dies bedeutet, dass im Bereich RZ-Infrastruktur ein erhebliches Energieeffizienzpotenzial ausgeschöpft wurde. Bei den RZ-Dienstleistern wurden bis dato auch deutlich mehr konkrete Effizienzmassnahmen umgesetzt als bei internen RZ. Auch IT-seitig wurden nennenswerte Effizienzfortschritte erzielt, namentlich durch den Einsatz von energieeffizienteren Speichern (Solid state drives, SSD) und durch eine verstärkte Auslastung (durch die zunehmende Virtualisierung).

Trotz dieser erzielten Effizienzfortschritte verbleibt aus heutiger Sicht ein substanzielles Energieeffizienzpotenzial, das je nach Szenario zwischen 0.6 TWh bis 1.1 TWh liegt. Der „Best guess“ beträgt 0.96 TWh und entspricht rund 46% des heutigen Stromverbrauchs der Rechenzentren (siehe Abbildung 1). Sowohl infrastrukturseitige Massnahmen wie z.B. Anheben der Systemraumtemperaturen, Nutzung von Free-Cooling, Trennung der Kalt- und Warmgänge, Einhausung der Serverracks etc. als auch IT-seitige Massnahmen, wie z.B. Wechsel auf Flash Speicher, Virtualisierung, höhere Auslastungen, Einsatz von effizienteren Komponenten etc. können in Zukunft beitragen, dieses Potenzial weiter auszuschöpfen. Als Basis dient dabei die Kenntnis des PUE und die Beachtung der IT-seitigen Effizienz (z.B. mittels des ITI Efficiency Index der SDEA) und die Einrichtung eines kontinuierlichen Energie-monitorings.

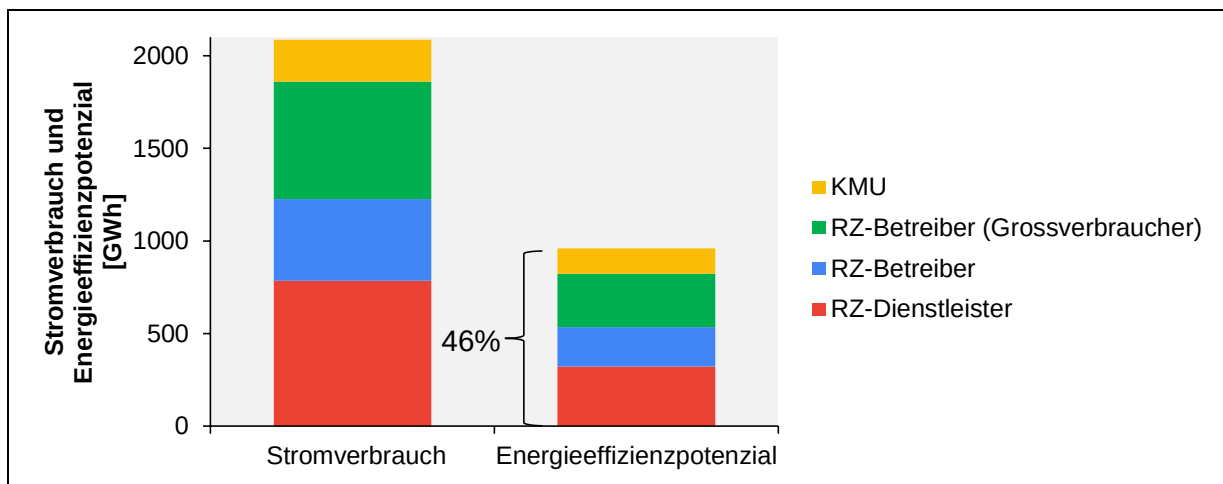


Abbildung 1: Abgeschätzter Stromverbrauch in RZ/SR der Schweiz sowie verbleibendes Energieeffizienzpotenzial.

Rückblick

Ein Rückblick über die vergangenen 6 Jahre seit der letzten Bestandesaufnahme zeigt, dass der Stromverbrauch moderat angestiegen ist. Obwohl die RZ-Dienstleister weitere grosse Rechenzentren in Betrieb genommen haben, hat der Stromverbrauch noch nicht übermässig zugenommen. Dies dürfte auf folgende Hauptgründe zurückzuführen sein: Erstens haben das steigende Bewusstsein, neue technische Möglichkeiten sowie auch gezielte Förderprogramme dazu beigetragen, dass Energieeffizienzmassnahme in RZ umgesetzt wurden. Zweitens dürften Auslagerungstendenzen zu einer Verschiebung der Rechenleistung von

firmeninternen RZ/SR zu RZ-Dienstleistern geführt haben, was in der Regel mit Effizienzgewinnen verbunden ist. Zudem wurde ein Teil des inländischen Datenwachstums exportiert, v.a. was Daten der Haushalte betrifft. Auf der anderen Seite haben sich die meisten der ganz grossen Cloud-Anbieter bis 2019 noch nicht in der Schweiz niedergelassen oder sind erst seit kurzem daran, ihre Aktivitäten auszubauen.

Ausblick

Verschiedene der oben genannten Trends dürften sich in den kommenden Jahren ändern. Steigende Sicherheitsanforderungen und Datenschutzbesorgnisse seitens der Unternehmen führen die grossen Cloud-Anbieter in die Schweiz. Dabei ist die Schweiz dank ihrer politischen Stabilität, der Verfügbarkeit von Fachkräften, der sicheren Stromversorgung sowie der zentralen Lage in Europa ein idealer Standort für den Bau und Betrieb von neuen RZ. Gleichzeitig dürfte die digitale Transformation durch Big Data, Internet der Dinge, Industrie 4.0, Cloud-Computing etc. zu einem stark anwachsenden Datenvolumen führen und damit die Nachfrage nach RZ weiter vorantreiben. Mittelfristig könnten Energieeffizienztrends, die diesem Wachstum dämpfend entgegenwirken könnten, aus technologischen Gründen an Sättigungsgrenzen stossen. Es kann also mit gutem Grund davon ausgegangen werden, dass der Stromverbrauch in Schweizer RZ mittelfristig stärker ansteigen wird als in den letzten Jahren.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass der Stromverbrauch in RZ und SR im Jahr 2019 zwischen 3.3% und 4.1% (Best guess: 3.6%) des Schweizer Stromverbrauchs ausmachte. Das verbleibende Energieeffizienzpotenzial von rund 46% des aktuellen Stromverbrauchs sollte insbesondere deshalb ausgeschöpft werden, um der erwarteten stark ansteigenden Nachfrage nach RZ-Dienstleistungen zumindest teilweise zu begegnen. Diese könnte zu einem Anstieg des Stromverbrauchs von derzeit 2.1 TWh auf grob geschätzt 2.7 bis 3.5 TWh führen, je nach Grad der Umsetzung von Effizienzmassnahmen und weiteren Verlagerungen von internen Rechenzentren zu Dienstleistern und je nach Zunahme des Daten- und Rechenbedarfs sowie des Verhaltens der grossen Anbieter. Durch geeignete Massnahmen kann der Bund in Zusammenarbeit mit Kantonen, Gemeinden und der Branche die Effizienzentwicklung positiv beeinflussen und den Nachfrageanstieg dämpfen.

Résumé

Contexte

Selon les analyses *ex-post* de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), la part de l'électricité consommée par les technologies de l'information et de la communication (TIC) en Suisse dépasse les 5% de la consommation totale (BFE, 2020). Plus de la moitié est imputable aux salles des serveurs (SdS) et aux centres de calcul (CdC), dont la consommation atteignait 2,4% à 3,3% du total de l'électricité consommée en Suisse en 2014 déjà (Altenburger et al., 2014). La transition numérique en cours vient encore accentuer l'augmentation du nombre de données traitées et sauvegardées constatée ces dernières années. De plus, le recours accru à des CdC en raison de l'externalisation de prestations informatiques et de l'utilisation croissante de l'informatique en nuage (*cloud*) favorisent cette dynamique. Que ce soit sous l'angle de l'efficacité énergétique ou de l'économie, l'importance de ces centres va croissant. Or, les données empiriques concernant d'une part, leur consommation d'électricité et, d'autre part, leur potentiel d'amélioration en matière d'efficacité énergétique font défaut à ce jour. La présente étude vise à créer les bases permettant de collecter et d'analyser ces informations.

Méthode

Un sondage effectué en ligne a permis de collecter des données sur les principaux paramètres d'estimation de la consommation d'électricité des CdC et des SdS (puissance installée, *Power Usage Effectiveness [PUE]*, degré d'exploitation) et sur les mesures prises en matière d'efficacité énergétique (température dans les locaux abritant les services informatiques, aération, systèmes de refroidissement, types de mémoire et systèmes de sauvegarde des données informatiques). Il concernait trois segments différents: les CdC fournisseurs de services (segment A), les exploitants de CdC et de SdS internes dans de grandes entreprises (segment B) et dans les PME (segment C). Le segment B inclut également les entreprises publiques et les administrations étatiques. À noter que certaines PME faisant partie du segment C ne possèdent que quelques serveurs et ne disposent donc pas de SdS. Dans un premier temps, la consommation d'électricité des CdC et des SdS en Suisse a été extrapolée sur la base des données obtenues dans le cadre de ce sondage et traitées au moyen de méthodes statistiques. Dans un deuxième temps, leur potentiel d'amélioration en matière d'efficacité énergétique a été estimé, et ce également sur la base des données obtenues via le sondage. Différents scénarios ont aussi été définis afin de limiter les effets dus aux incertitudes.

Consommation d'électricité

Le taux de participation net au sondage se situe dans une fourchette allant de 22% à 39% et diffère selon les segments. Le taux de remplissage du questionnaire peut être considéré comme satisfaisant. Il ressort des analyses statistiques et de l'extrapolation pour la Suisse que la part d'électricité consommée en 2019 par les CdC et les SdS situés en Suisse va de 1,85 à 2,37 TWh. Selon l'estimation la plus probable, ou *best guess*, elle atteindrait 2,1 TWh (cf. illustration 1), ce qui correspond à 3,6% du total de l'électricité consommée en Suisse cette

année-là. Les plus gourmands en électricité sont les grands CdC fournisseurs de services et les très grands CdC internes spécialisés, en particulier ceux qui servent à des institutions de recherche ou à des entreprises travaillant dans le domaine de la finance, des assurances ou de la santé.

Potentiel d'efficacité énergétique

D'après les résultats du sondage, le *PUE* est un paramètre important pour ce qui concerne l'efficacité énergétique au niveau de l'infrastructure. Il est nettement plus connu des CdC fournisseurs de services que des CdC internes. Il est également apparu que le *PUE* des CdC fournisseurs de services a pu être réduit ces dernières années, ce qui indique que leur potentiel d'efficacité énergétique au niveau de l'infrastructure a été considérablement mis à profit. Il ressort également du sondage qu'à ce jour les CdC fournisseurs de services ont aussi pris davantage de mesures concrètes que les CdC internes pour améliorer l'efficacité énergétique de leur infrastructure. Au niveau de l'informatique, des progrès importants ont été réalisés, notamment au moyen de mémoires énergétiquement plus performantes (disques statique à semi-conducteurs ou *solid state drives, SSD*) et d'une meilleure exploitation (par un recours accru à la virtualisation).

Malgré ces avancées en matière d'efficacité, un potentiel d'amélioration substantiel demeure dans la perspective actuelle. Il se situe dans une fourchette allant de 0,6 TWh à 1,1 TWh en fonction du scénario. La *best guess* est de 0,96 TWh et correspond à près de 46% de l'électricité consommée par les CdC (cf. illustration 1). Pour exploiter davantage ce potentiel à l'avenir, il est possible de prendre des mesures soit au niveau de l'infrastructure (p. ex., augmentation de la température des locaux abritant les systèmes informatiques, exploitation du refroidissement passif (*free cooling*), mise en place d'un système de confinement des allées froides et des allées chaudes, dispositif de confinement d'air pour armoire à serveurs) soit au niveau de l'informatique (p. ex., passage à des mémoires flash, virtualisation et meilleure exploitation, recours à des composants énergétiquement plus efficaces). Pour ce faire, il faut connaître le *PUE*, tenir compte de la problématique de l'efficacité énergétique au niveau de l'informatique (p. ex., au moyen de l'*IT Infrastructure Efficiency Index* de la *Swiss Datacenter Efficiency Association* [SDEA]) et mettre en place un suivi continu de la consommation d'énergie.

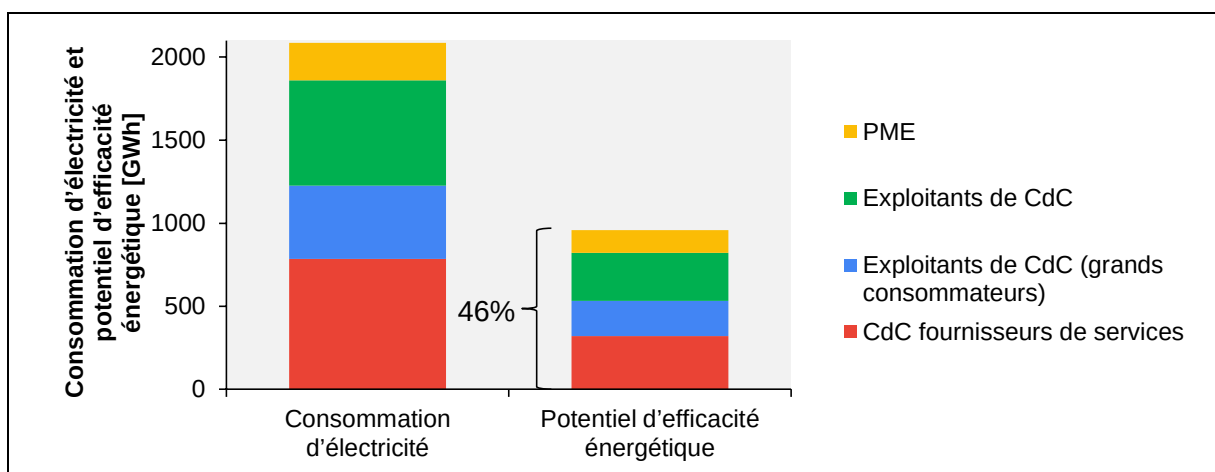


Illustration 2: Estimation de la consommation d'électricité et du potentiel d'efficacité énergétique restant des CdC/SdS en Suisse.

Rétrospective

Depuis le bilan réalisé il y a six ans, la consommation d'énergie a modérément augmenté. Même si les CdC fournisseurs de services ont mis en fonction de nouveaux grands CdC, elle n'a pas enregistré de hausse disproportionnée. Cela est probablement dû à quatre éléments principaux. Premièrement, une meilleure prise de conscience des enjeux, les nouvelles possibilités techniques à disposition et des programmes d'encouragement ciblés ont contribué à la mise en œuvre de mesures qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétique dans les CdC. Deuxièmement, l'externalisation croissante de prestations informatiques des CdC/SdS internes dans des CdC fournisseurs de services s'est généralement traduite par un gain d'efficacité énergétique. Troisièmement, les données indigènes, qui ont augmenté, ont été pour une certaine partie d'entre elles (surtout les données provenant des ménages) exportées. Quatrièmement, cette hausse modérée s'explique aussi par le fait que la plupart des plus grands fournisseurs d'informatique en nuage n'avaient en 2019 pas de siège en Suisse ou bien était seulement en train de développer leurs activités.

Perspectives

Durant les années à venir, certaines des tendances évoquées ci-avant devraient évoluer. Les exigences accrues en matière de sécurité et de protection des données demandées par les entreprises inciteront les grands fournisseurs d'informatique en nuage à s'installer en Suisse. De par sa stabilité politique, sa main d'œuvre qualifiée, la sécurité de son approvisionnement en électricité et sa situation géographique centrale en Europe, la Suisse constitue un site idéal pour la construction et l'exploitation de nouveaux CdC. En parallèle, la transformation numérique due aux données massives (*big data*), à l'internet des objets, à l'industrie 4.0 et à l'informatique en nuage notamment devrait générer un accroissement notable des volumes de données et faire augmenter encore la demande en CdC. Et, à moyen terme, certaines tendances en matière d'efficacité énergétique susceptibles de freiner cet accroissement pourraient arriver à saturation pour des raisons d'ordre technologiques. Il est donc possible de considérer à juste titre qu'à moyen terme la consommation d'électricité des CdC installés en Suisse connaîtra une hausse plus importante que celle qui a été constatée ces dernières années.

La présente étude montre qu'en 2019 la part de l'électricité consommée par les CdC et les SdS se situait dans une fourchette allant de 3,3% à 4,1% (*best guess*: 3,6%) par rapport au total de l'électricité consommée en Suisse. Le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique restant qui correspond à près de 46% de la consommation d'électricité actuelle de ces centres devrait être exploité afin de faire face dans une certaine mesure au moins à la forte augmentation de la demande en prestations fournies par des CdC qui est attendue. En fonction de l'avancée des mesures de mise en œuvre dans le domaine de l'efficacité énergétique, de l'ampleur de l'externalisation de prestations informatiques des CdC internes dans des CdC fournisseurs de services, de l'accroissement du besoin en matière de données et de calcul ainsi que du comportement des grands fournisseurs d'informatique en nuage, cette hausse de la demande pourrait faire passer la consommation électrique actuelle de 2,1 TWh à 2,7 voire 3,5 TWh selon de grossières estimations. La Confédération, en collaboration avec les cantons, les communes et l'industrie, peut influencer positivement le développement de l'efficacité et freiner l'augmentation de la demande en prenant des mesures appropriées.

Summary

Context

According to ex-post analyses by the SFOE, the information and communication technologies (ICT) sector accounts for more than 5% of electricity consumption in Switzerland (BFE, 2020). More than half of this is caused by server rooms (SR) and data centres (DC), which already accounted for a share of 2.35% to 3.25% of Swiss electricity consumption in 2014 (Altenburger et al., 2014). The already observed trend of an increase in processed and stored data, will be further strengthened by digitalisation. The dynamics of data centres will be further fostered by the trend towards outsourcing and cloud-based applications. Despite the increasing importance of data centres, both in energy and economic terms, there is a lack of up-to-date empirical data on electricity consumption and existing energy efficiency potentials. The aim of this study is therefore to create a respective data basis and to estimate electricity consumption and remaining energy efficiency potential of Swiss data centres.

Methodology

By an online survey, the most important parameters for estimating electricity consumption (installed capacity, PUE, utilisation) and energy efficiency measures (e.g. system temperatures, airflow, type of storage and back-up systems) are collected from three different segments: data centre service providers (segment A), in-house data centres and server rooms in large companies (segment B) and server rooms in small and medium-sized companies (SMEs) (segment C). Segment B also includes public companies and administrations. The SMEs in segment C may only have a few own servers. Based on the data from the survey and using statistical methods, the electricity consumption of data centres and server rooms in Switzerland is extrapolated. In a second step, the energy efficiency potential is estimated also based on the data collection. The effect of uncertainties is limited by the definition of scenarios.

Electricity consumption

The net response rates from the survey vary between 22% and 39%, depending on the segment. This and the willingness to complete the survey is quite satisfactory. The estimated electricity consumption by Swiss DC and SR accounts for 1.85 to 2.37 TWh in 2019. The best guess is 2.1 TWh (see Figure 3), which corresponds to around 3.6% of Switzerland's electricity consumption in 2019. In addition to the large data centre service providers, very large, specialised in-house data centres, especially those of research institutions and companies from the finance, insurance, and healthcare sectors contribute to this electricity consumption.

Efficiency potential

The survey results reveal that the PUE, an important index to measure the energy efficiency of the infrastructure, is much better known among data centre service providers than among

in-house data centres. Further, particularly data centre service provider have reduced their PUE in recent years. This means that a considerable energy efficiency potential has been exploited regarding data centre infrastructure. On the IT side, significant progress in efficiency has also been achieved, notably by use of more energy-efficient storage (solid state drives, SSD) and through increased utilisation (through increasing virtualisation).

Despite these efficiency gains, there remains a substantial energy efficiency potential of between 0.6 TWh and 1.1 TWh, depending on the scenario. The best guess is 0.96 TWh which corresponds to around 46% of the current electricity consumption of the data centres (see Figure 3). Both infrastructural measures, such as raising the system temperatures, using free cooling, separating the cold and hot aisles, enclosing the server racks, etc., and IT measures, such as switching to flash storage, virtualisation, higher utilisation, using more efficient components, etc., can contribute to further exploiting this potential in the future. For this reason, the knowledge of the PUE and attention to IT efficiency (e.g. by means of the ITI Efficiency Index of the SDEA) and the establishment of continuous energy monitoring are crucial.

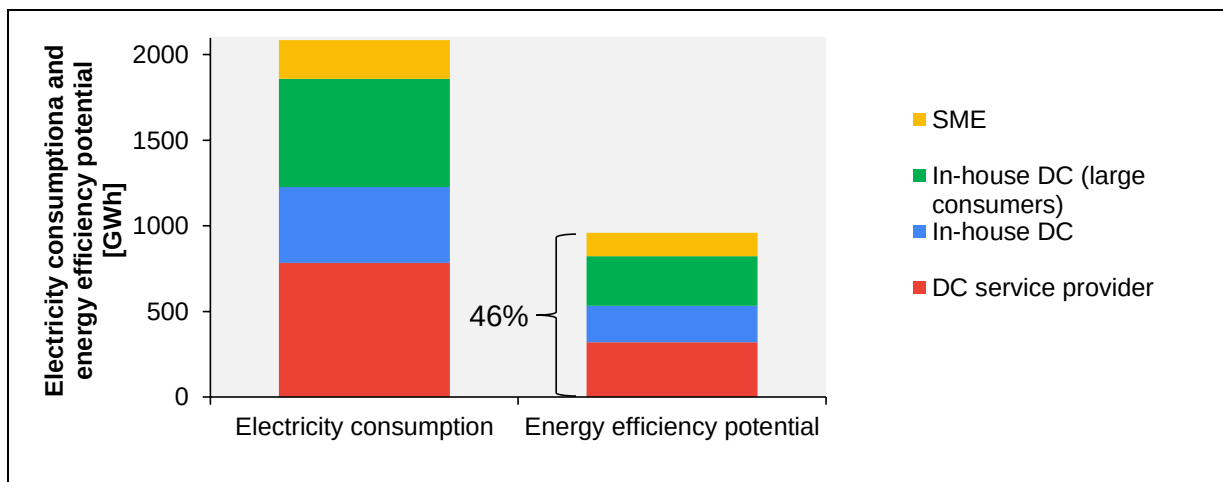


Figure 3: Estimated electricity consumption and energy efficiency potential in Swiss DC/SR.

Review

A review of the past 6 years since the last study shows that electricity consumption has increased moderately. Although new DC space was established by DC service providers, power consumption has not increased excessively until 2019. This can probably be attributed to the following main reasons: Firstly, increasing awareness, new technological options and targeted support programmes have contributed to the implementation of energy efficiency measures in data centres. Secondly, outsourcing tendencies are likely to have led to a shift in computing power from in-house data centres/SRs to data centre service providers, which is usually associated with efficiency gains. In addition, some of the domestic data growth has been exported, especially in the case of household data. On the other hand, most of the very large cloud providers have not yet established themselves in Switzerland by 2019 or have only been starting-up their activities.

Outlook

Several of the above trends are likely to change in the coming years. Increasing security requirements and data protection concerns are reasons for the major cloud providers to enter the Swiss DC market. Switzerland is an ideal location for the construction and operation of new data centres due to political stability, availability of qualified staff, secure power supply and the central location in Europe. At the same time, the digital transformation through big data, Internet of Things, Industry 4.0, cloud computing, etc. leads to a strong increase in data volume and thus further drives demand for data centres. In the medium term, energy efficiency trends that could have a dampening effect on this growth could reach saturation limits due to technological reasons. It can therefore be assumed that electricity consumption in Swiss data centres will increase more strongly in the medium term as compared to recent years.

This study shows that electricity consumption in data centres and server rooms accounted for between 3.3% and 4.1% (best guess: 3.6%) of Swiss electricity consumption in 2019. The remaining energy efficiency potential of around 46% of the current electricity consumption should be exploited, especially to counter-balance at least partly the expected strong increase in demand for data centre services. This could lead to an increase in electricity consumption from the current 2.1 TWh to a roughly estimated 2.7 to 3.5 TWh, depending on the degree of implementation of efficiency measures and further shifts from internal data centres to service providers, and depending on the increase in data and computing demand and the behaviour of the large providers. By suitable measures, the federal authorities, in cooperation with the cantons, municipalities and the industry, can positively influence the development of efficiency and attenuate the increase in demand.

Inhalt

Zusammenfassung	3
Résumé	6
Summary	9
Glossar und Abkürzungsverzeichnis	14
1 Ausgangslage und Zielsetzung	15
1.1 Ausgangslage	15
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Studie	15
2 Methodik und Vorgehen	16
2.1 Erhebung und Beschreibung des RZ-Marktes in der Schweiz	16
2.1.1 Stichprobe und Grundgesamtheit	16
2.1.2 Entwicklung der Online-Erhebung	17
2.1.3 Versand und Rücklauf	18
2.2 Berechnungs- und Hochrechnungsmethodik Stromverbrauch	19
2.2.1 Übersicht	19
2.2.2 Stromverbrauch der Stichprobe	20
2.2.3 Hochrechnung	22
2.3 Energieeffizienzpotenziale	23
2.3.1 Infrastrukturseitige Energieeffizienzpotenziale	24
2.3.2 IT-seitige Energieeffizienzpotenziale	26
3 Heutiger Stromverbrauch	28
3.1 Charakterisierung der Stichprobe: wichtige Kerngrössen in RZ/SR	28
3.2 Statistische Analyse und Datenimputation	31
3.3 Hochrechnung	36
3.3.1 Ebene Profondiadatenbank	36
3.3.2 Ebene Gesamtschweiz	39
4 Heutige Energieeffizienz und verbleibende Energieeffizienzpotenziale	42
4.1 Heutige Energieeffizienz	42
4.1.1 Umgesetzte Effizienzmassnahmen im Bereich RZ-Infrastruktur	42
4.1.2 PUE: quantitativer Koeffizient zur Charakterisierung der Energieeffizienz	44
4.1.3 Umgesetzte Effizienzmassnahmen im Bereich IT-Infrastruktur	47

4.2	Verbleibende Energieeffizienzpotenziale	50
4.2.1	Verbleibende Energieeffizienzpotenziale im Bereich RZ-Infrastruktur	50
4.2.2	Verbleibende Energieeffizienzpotenziale im Bereich IT-Infrastruktur	52
4.3	Gesamtaussage Energieeffizienzpotenziale (RZ- und IT-Infrastruktur)	54
5	Rückblick, Ausblick und Empfehlungen	55
5.1	Rückblick: Entwicklung Stromverbrauch und Energieeffizienz seit 2013	55
5.1.1	Quantitativer Vergleich	55
5.1.2	Erläuterung der Unterschiede	56
5.2	Ausblick: zukünftige Entwicklung des RZ-Marktes	60
5.2.1	Treiber des Stromverbrauchs	60
5.2.2	Bau- und Ausbauprojekte und Implikation auf Stromverbrauch	61
5.2.3	Entwicklung auf Komponentenebene	62
5.3	Abschliessende Beurteilung und Überlegungen zur Durchführung von weiterführenden Arbeiten	63
5.3.1	Abschliessende Beurteilung	63
5.3.2	Empfehlungen	63
6	Verzeichnisse	65
6.1	Literaturverzeichnis	65
6.2	Abbildungsverzeichnis	67
6.3	Tabellenverzeichnis	71
	Anhang 1: Weitere Grafiken und Tabellen	73
	Anhang 2: Fragebogen	89

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

ASUT	Schweizerischer Verband der Telekommunikation
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
DB	Datenbank
EE	Energieeffizienz
EP	Effizienzpotenzial
GWh	Gigawattstunde (eine Million kWh)
HDD	Hard disk drive
HSLU	Hochschule Luzern
ICT	Information and communication technology
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IT	Informationstechnik oder Informationstechnologie
ITI EE	IT Infrastructure Energy Efficiency
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kW	Kilowatt (1000 Watt)
Log	Natürlicher Logarithmus
MWh	Megawattstunde (1000 kWh)
NEA	Netzersatzanlage
PDU	Power distribution unit
PUE	Power usage effectiveness
RZ	Rechenzentrum
SDEA	Swiss Datacenter Efficiency Association
SR	Serverraum
SSD	Solid state disk
STATENT	Statistik der Unternehmensstruktur des Bundesamts für Statistik
TEP	Technology Economy Policy
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Der Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) trägt in der Schweiz gemäss Ex-post Analysen des BFE mit mehr als 5% zum Stromverbrauch bei (BFE, 2020). Mehr als die Hälfte davon fällt auf den Bereich Serverräume (SR) und Rechenzentren (RZ), der bereits 2014 einen Anteil von 2.4% bis 3.3% des schweizerischen Stromverbrauchs ausmachte (Altenburger et al., 2014). Gleichzeitig wurden im Bereich SR und RZ bedeutende Energieeffizienzpotenziale identifiziert (Puntsagdash, Hass, Bersier, Zwygart, & Blättler, 2015). Durch die stark zunehmende Digitalisierung sowohl im Bereich private Haushalte als auch im Bereich private und öffentliche Unternehmen wächst der Bedarf an Datenverarbeitung inkl. Kommunikation und –speicherung stark an. Durch die zunehmende Nutzung und Verlagerung von Cloud basierten Diensten hat sich die Dynamik bei Rechenzentren zusätzlich verstärkt, was sich z.B. durch eine Zunahme der Anzahl Rechenzentren bei den RZ-Dienstleistern von rund 70 im Jahr 2017 auf über 80 im Jahr 2020 ausdrückt (siehe Netzmedien AG (2017, 2020)) und auch die Fläche RZ hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

Das Bundesamt für Energie möchte die Entwicklung der digitalen Infrastruktur der Schweiz verfolgen und ihre energetischen Wirkungen beurteilen können und hat deshalb die Erstellung einer neuen Studie über den Energieverbrauch von Rechenzentren ausgeschrieben (BFE, 2019).

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Studie

Mit der Studie sollen folgende Fragestellungen geklärt und Zielsetzungen erreicht werden:

1. Erheben von statistischen Daten aus dem Jahr 2019 über den Stromverbrauch von Rechenzentren in der Schweiz, unterteilt in verschiedene Kategorien: RZ-Dienstleister, unternehmens- oder verwaltungsinterne Rechenzentren inkl. Serverräume sowie RZ und SR von KMU.
2. Aufzeigen des verbleibenden Energieeffizienzpotenzials, ebenfalls unterteilt nach den verschiedenen RZ-Kategorien.
3. Aufzeigen der vergangenen Entwicklung seit dem Zeitpunkt der letzten Erhebung im Jahr 2014 und der treibenden Faktoren und daran anknüpfend Abschätzung der Entwicklung für den Zeitraum 2020–2025.

Das Vorgehen zur Abschätzung des Stromverbrauchs und des Energieeffizienzpotenzials ist in Kap. 2 beschrieben. In Kap. 3 wird die Antwortstichprobe charakterisiert, die statistische Analyse erläutert sowie die Resultate zum Stromverbrauch in RZ und SR präsentiert. Die Energieeffizienzpotenziale in RZ und SR werden in Kap. 4 erläutert. Eine Analyse des RZ-Marktes in der Schweiz, ein Rückblick und Vergleich zu früheren Studien, ein Ausblick sowie abschliessende Beurteilung und Empfehlungen für weitergehende Arbeiten runden die Studie in Kap. 5 ab.

2 Methodik und Vorgehen

Stromverbrauch und Effizienzpotenziale werden empirisch durch einen Stichproben-Hochrechnungsansatz bestimmt. Da ein Teil der Zielgrössen nicht direkt erhoben wird (z.B. Energieeffizienzpotenziale), sind basierend auf den Angaben der RZ-Betreiber ergänzende Berechnungen durchzuführen. Dies betrifft auch Fälle von fehlenden Angaben, welche durch Abschätzungen, spezifische Berechnungen sowie Datenimputationen ergänzt werden. Kapitel 2.1 dient der Beschreibung der Erhebung (Stichprobe und Grundgesamtheit sowie Versand und Rücklauf). Kapitel 2.2 erläutert die Berechnung des Stromverbrauchs der Stichprobe sowie die Hochrechnung auf den Stromverbrauch aller RZ/SR in der Schweiz. Das Vorgehen zur Abschätzung der Energieeffizienzpotenziale wird in Kap. 2.3 beschrieben.

2.1 Erhebung und Beschreibung des RZ-Marktes in der Schweiz

2.1.1 Stichprobe und Grundgesamtheit

Die Rechenzentren und Serverräume in der Schweiz lassen sich grob in folgende Kategorien unterteilen:

- RZ-Dienstleister: Rechenzentren, welche Dienstleistungen wie z.B. das Vermieten von Hardware wie Serverflächen, Server und/oder von IT-Dienstleistungen wie Applikationen und Speicher bereitstellen.
- Firmeninterne Rechenzentren/Serverräume: RZ/SR, welche für firmeninterne Zwecke betrieben werden

Für die Erhebung werden drei Segmente definiert, für welche drei unterschiedliche Online-Fragebögen erstellt wurden. Tabelle 1 gibt eine Übersicht zu diesen Segmenten. Der Einfachheit halber werden die Segmente im verbleibenden Teil des Berichtes jeweils mit den Buchstaben A/B/C gemäss Tabelle 1 beschrieben. Die Segmentierung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem auf die ICT-Branche spezialisierten Informationsdienstleister Profondia AG. Die drei Segmente werden wie folgt charakterisiert:

- Für das Segment A, die RZ-Dienstleister, wurde aufgrund der hohen energetischen Bedeutung eine Vollerhebung angestrebt, auch wegen des Fehlens geeigneter Schätzer für die Hochrechnung. In diesem Bereich wurde mit der Netzmedien AG zusammengearbeitet, welche 2020 eine Marktübersicht publizierte (Netzmedien AG, 2020). Darin werden über 80 RZ namentlich aufgelistet. Das Mengengerüst des Segments A entspricht im Wesentlichen dieser Marktübersicht, welche mit Anbietern aus der Profondiadatenbank ergänzt wird.
- Die Unternehmen im Segment B werden aus der Profondiadatenbank ermittelt, wodurch sich ein Mengengerüst von über 2100 Unternehmen/Organisationen ergibt. Die Profondiadatenbank ist jedoch insbesondere bei kleineren Unternehmen nicht komplett, entsprechend stellt das Mengengerüst in Tabelle 1 eine umfassende, aber nicht vollständige Stichprobe dar.

- Für das Segment C wurde auch eine Stichprobe gezogen. Aus Kostengründen wurde eine geographische Eingrenzung vorgenommen (die Stichprobe wurde deshalb auf einen Kanton beschränkt, wobei die Wahl wegen der Grösse und der Wirtschaftsstruktur auf Luzern fiel).

Tabelle 1: Beschreibung der drei Segmente für die Erhebung

Segment und Beschreibung	Segmentierung	Stichproben-grösse
A: RZ-Dienstleister	Marktübersicht RZ (Netzmedien AG, 2017) ergänzt mit Anbietern aus Profondiadatenbank (Profondia AG, 2020a).	98
B: Betreiber von firmeninternen RZ/SR oder Endanwender	Firmen in der Schweiz mit 10 oder mehr physischen Servern oder 35 oder mehr effektiven Servern oder 3000 oder mehr Mitarbeiter aus der Profondia DB.	2156
C: KMU – Endanwender im Kanton LU	KMU – Endanwender im Kanton LU aus der Profondia DB mit mehr als 30 Mitarbeitenden.	550

Quelle: Profondia, TEP Energy

2.1.2 Entwicklung der Online-Erhebung

Um die in der Zielsetzung formulierten Ergebnisse zu erreichen, wurde ein Online-Fragebogen entwickelt, um folgende Angaben zu erheben:

- Jährlicher Stromverbrauch
- Treiber des Stromverbrauchs wie installierte Leistung und Fläche, u.a. auch im Hinblick auf das Imputieren von fehlenden Angaben zum Stromverbrauch,
- Quantitativer Indikator zur Energieeffizienz (PUE).
- Angaben zu technischen und betrieblichen RZ-Charakteristika und zu durchgeführten Massnahmen, um die Energieeffizienz einzuschätzen.
- Weitere allgemeine Angaben.

Während für das Segment A ein ausführlicher Fragebogen zu vielen wichtigen Grössen innerhalb eines RZ erstellt wurde, bekamen die Teilnehmer aus dem Segment B eine etwas verkürzte Version desselben Fragebogens. Der Fragebogen für die KMU- und Endanwender fokussierte darauf, inwieweit KMU ihre IT- und Geschäftsprozesse auslagern oder dies bereits getan haben. Teilnehmer im Segment C, welche angaben, über einen eigenen, firmeninternen Serverraum zu verfügen wurden auch zu den wichtigsten Grössen aus den Fragebogen A und B befragt. Die Fragebogen wurde so konzipiert, dass bei Zahlenwerten nebst dem exakten Wert jeweils auch eine Antwortbatterie zur Verfügung stand. Somit konnten die Antwortenden eine Kategorie ankreuzen (z.B. 50-99 kW installierte IT-Leistung), auch wenn sie den exakten Wert nicht unmittelbar zur Verfügung hatten. Dies hat wesentlich zur hohen Rücklaufquote beigetragen und unvollständige Antworten konnten minimiert werden.

Die Online-Fragebögen für die drei Segmente A, B und C sind im Anhang dokumentiert.

2.1.3 Versand und Rücklauf

Die Einladung zur Umfrage erfolgte mittels postalischem Versand zwischen dem 7. und 11. Mai 2020, organisiert durch TEP Energy. Die Briefe wurden in drei Sprachen versendet (Deutsch, Französisch, Italienisch) mit dem Hinweis, dass die online-Umfrage entweder in Deutsch oder Französisch ausgefüllt werden kann. Mitte Juni 2020 wurde ein Erinnerungsschreiben an alle Firmen mit ausstehender Antwort aus dem Segment A sowie einer Stichprobe von 850 an Firmen mit ausstehender Antwort aus dem Segment B versandt. Aufgrund des hohen Rücklaufs nach dem ersten Anschreiben wurde im Segment C auf ein Erinnerungsschreiben verzichtet.

Abbildung 4 zeigt den Rücklauf für die drei Segmente über die Zeit an. Trotz einem Peak nach dem Versand des Anschreibens trafen auch 2-3 Wochen nach dem Versand noch Antworten ein. Durch das Erinnerungsschreiben Mitte Juni 2020, in der Abbildung durch die vertikale schwarze Linie dargestellt, konnte der Rücklauf für die beiden Segmente A und B nochmals um knapp 50% gesteigert werden. Das Datum kurz vor den Sommerferien scheint sich nicht negativ auf die Teilnahmebereitschaft ausgewirkt zu haben.

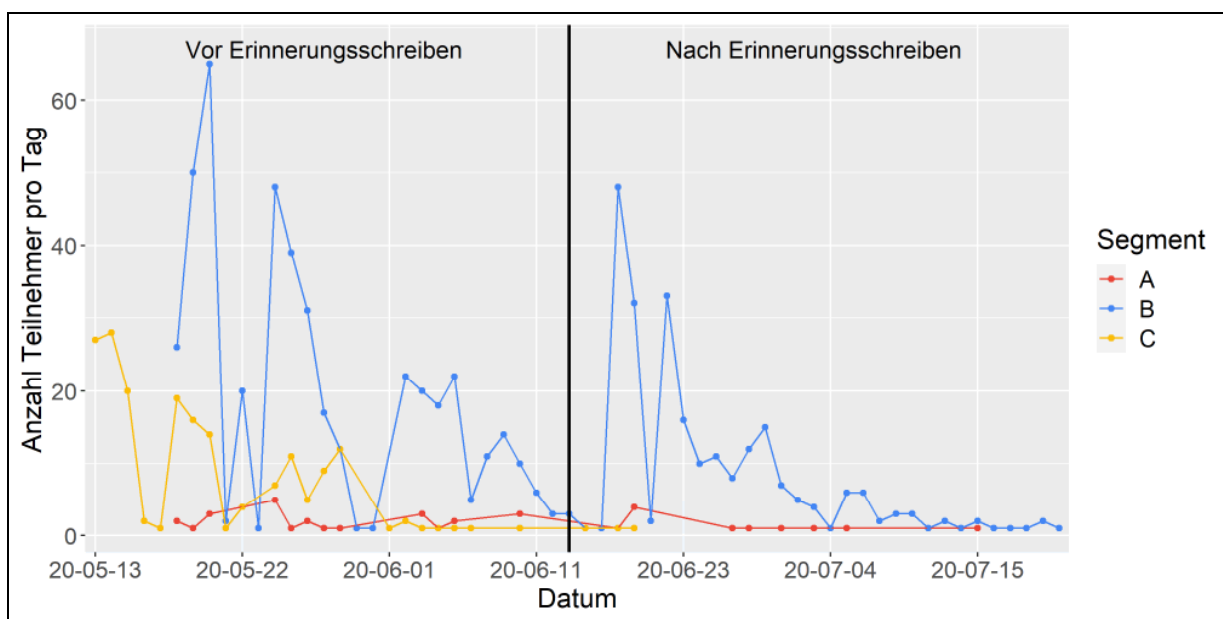


Abbildung 4: Rücklauf über die Zeit. Die schwarze Trennlinie markiert das Versanddatum des Erinnerungsschreibens. Definition der Segmente siehe Tabelle 1.

Der Tabelle 2 sind Anzahl versandte und Anzahl zurückerhaltene Fragebogen, Anzahl Abmeldungen sowie die Brutto- und Netto-Rücklaufquote pro Segment zu entnehmen. Die Abmeldungen gingen schriftlich oder telefonisch ein und betrafen falsche Adressdaten, erloschene Firmen sowie Verweigerungen zur Teilnahme.

Die Bruttoreklaufquote bezieht sich auf Teilnehmende, welche mindestens eine Frage beantwortet haben, während sich die Nettorücklaufquote auf Teilnahmen bezieht, bei welchen bis zur letzten repräsentativen Frage geantwortet wurde. Insbesondere bei den längeren Fragebögen (Segmente A und B) wurde die Umfrage früher abgebrochen. Mit Hinblick darauf, dass die Umfrageteilnehmer nicht über alle abgefragten Größen Bescheid wissen können, wurde die Möglichkeit geboten, einzelne Fragen zu überspringen. Dies hat wahrscheinlich zu

einer erhöhten Rücklaufquote geführt, mit dem Nachteil, dass teilweise Fragen übersprungen wurden. Die Bezugsgrösse der Rücklaufquoten bezieht sich auf die versandten Briefe abzüglich den Abmeldungen.

Insgesamt können Teilnahmebereitschaft und Ausfüllgrad als zufriedenstellend bezeichnet werden, gerade auch bei kleinen Unternehmen (Segment C) und trotz der anspruchsvollen Periode (Covid-19).

Tabelle 2: Versand, Rücklauf, Abmeldungen sowie Brutto- und Nettorücklaufquote pro Segment. RZ-Dienstleister mit mehr als einem RZ haben nur einen Brief bekommen, mit der Bitte die Erhebung für mehrere RZ auszufüllen.

Segment	Versandt (Anzahl)	Abmeldungen (Anzahl)	Rücklauf (Anzahl)	Rücklauf- quote brutto ¹ (%)	Rücklauf- quote netto ² (%)
A	57	3	31	54%	39%
B	2156	35	685	32%	22%
C	550	6	187	34%	33%

¹ Die Bruttoreklaufquote bezieht sich hier auf Teilnehmende, welche mindestens eine Frage beantwortet haben.

² Die Nettorücklaufquote bezieht sich hier auf Teilnehmende, welche bis zur letzten repräsentativen Frage geantwortet haben und widerspiegelt besser die Datenqualität der Umfrage.

Quelle: TEP Energy

2.2 Berechnungs- und Hochrechnungsmethodik Stromverbrauch

2.2.1 Übersicht

Die Berechnung des aktuellen Stromverbrauchs von Rechenzentren und Serverräumen in der Schweiz (in dem die bereits realisierten Energieeffizienzpotenziale bereits inkludiert sind) lässt sich grob in zwei Schritte unterteilen.

4. Die Berechnung für die RZ, welche an der Erhebung teilgenommen haben, für die eine Abschätzung des Stromverbrauchs mit erhobenen Daten erfolgt (Kapitel 2.2.2).
5. Die Berechnung des Stromverbrauchs für die RZ, welche nicht an der Erhebung teilgenommen haben. Dieser Schritt wird in diesem Bericht als Hochrechnung bezeichnet (siehe Kapitel 2.2.3) und dafür werden externe Daten benötigt. Die Hochrechnung erfolgt stufenweise in zwei Schritten:
 - i. Hochrechnung auf Ebene Profondiadatenbank / Marktübersicht RZ
 - ii. Hochrechnung auf die gesamte Schweiz

Das Vorgehen zur Abschätzung des Stromverbrauchs ist auf der linken Seite in Abbildung 5 dargestellt. Anhand der Datenerhebung sowie Regressionsmodellen mit mengengerüstspezifischen erklärenden Variablen wird der Stromverbrauch der Stichprobe bestimmt. Anhand weiterer Regressionsmodelle mit den erklärenden Variablen Mitarbeiter, Segment und Bran-

che wird der Stromverbrauch auf Ebene Profondiadatenbank / Marktübersicht RZ abgeschätzt. Unter Berücksichtigung von Abdeckungsgraden sowie der Annahme einer Dunkelziffer erfolgt die Hochrechnung auf den Stromverbrauch auf Ebene Schweiz.

Die einzelnen Anteile für die Abschätzung des Stromverbrauchs sind pro Segment exemplarisch illustriert. Hierbei stellen die Balkensegmente nicht die wahren Werte dar, sollen aber die Relationen grob illustrieren. Der gesamte Balken pro Segment stellt jeweils den gesamten Stromverbrauch dar (100%), wobei der violette Anteil den direkt mit den Antworten aus der Erhebung ermittelten Stromverbrauch repräsentiert (gemäss Kapitel 2.2.2). Der Anteil in türkis ist der hochgerechnete Anteil auf Ebene der Profondiadatenbank und der grüne Anteil ist der weiter hochgerechnete Anteil auf die gesamte Schweiz.

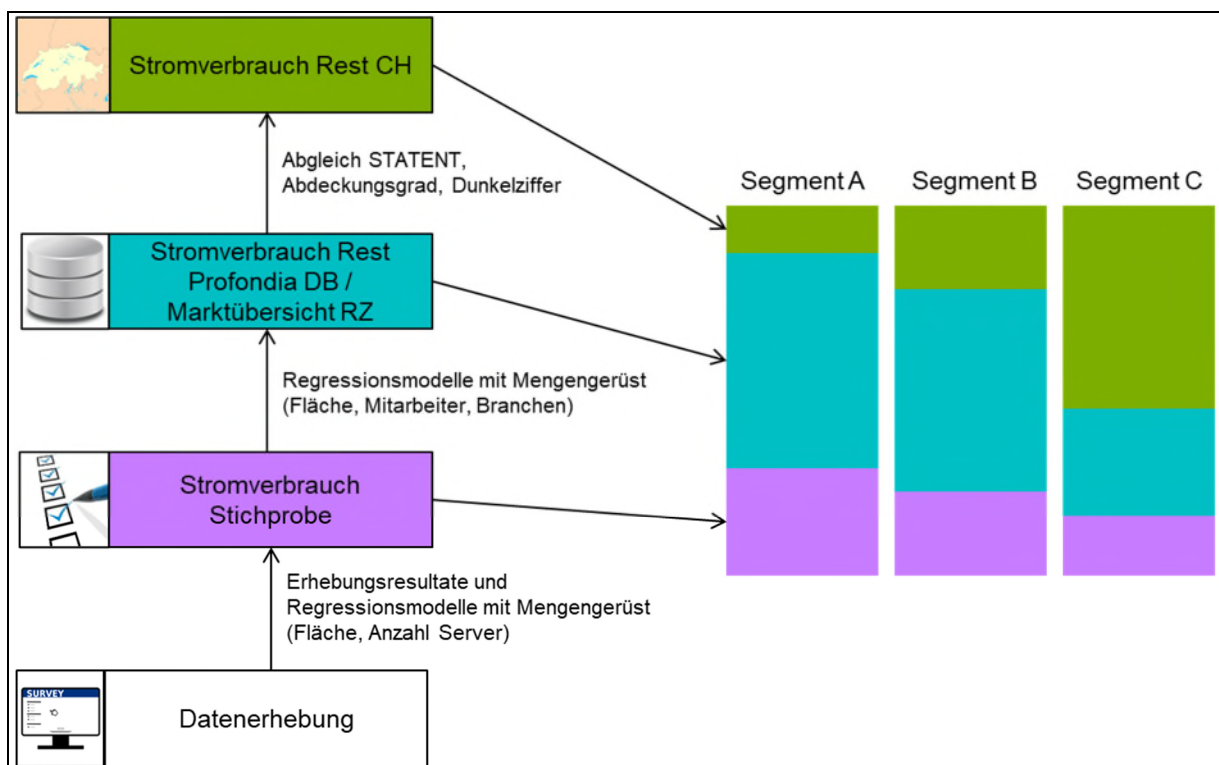


Abbildung 5: Illustration der Hochrechnung des aktuellen Stromverbrauchs auf die Schweiz. Direkt ermittelter Stromverbrauch aus der Erhebung (violett), hochgerechneter Stromverbrauch auf Ebene Profondiadatenbank (türkis) sowie hochgerechneter Anteil auf die Schweiz (grün).

2.2.2 Stromverbrauch der Stichprobe

Um ein möglichst genaues Bild zu bekommen und um auf die unterschiedliche Datenlage zu reagieren, wurde der Stromverbrauch der einzelnen RZ in der Stichprobe (vgl. Abbildung 5) je nach Datenlage aus verschiedenen Daten ervuert (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht der Verfahren und Datenquellen zur Herleitung des Stromverbrauchs aus der Stichprobe der Erhebung.

Verfahren/Gruppe	Datenquelle Stromverbrauch
1. Unternehmen in Stichprobe mit Angabe bzgl. installierter Leistung, PUE und Auslastungsfaktor	Herleitung als Funktion von installierter Leistung, PUE und Auslastungsfaktor
2. Unternehmen in Stichprobe mit Angabe bzgl. Stromverbrauch	Direkt aus Erhebung
3. Unternehmen in Stichprobe mit Flächenangabe oder Serveranzahl	Regressionsmodell als Funktion von der Fläche oder Serveranzahl.

Quelle: TEP Energy

Für RZ/SR, bei welchen die wichtigsten Kenngrößen zur Berechnung resp. der Stromverbrauch direkt in der Erhebung angegeben wurden, werden unabhängig vom Segment die Verfahren 1 oder 2 angewendet. Für Antwortende, bei denen die Herleitung des Stromverbrauchs mit Verfahren 1 oder 2 nicht möglich ist, wird der Stromverbrauch mittels Regressionsmodellen abgeschätzt, wobei deren Spezifikation von der Datenlage abhängt. Dem interessierten Leser sollen im Folgenden die verschiedenen Verfahren 1 bis 3 zur Abschätzung des Stromverbrauchs genauer erläutert werden:

1. Falls dies die Datenverfügbarkeit aus der Erhebung zulässt, berechnet sich der Stromverbrauch mit dem folgenden Ansatz:

$$E_{RZ} = P_{RZ} \cdot PUE \cdot f \cdot 8760h$$

wobei

E_{RZ} Stromverbrauch in [MWh/a]

P_{RZ} Installierte elektrische IT-Leistung [MW]

PUE Power Usage Effectiveness (Der PUE drückt das Verhältnis aus insgesamt verbrauchter Energie und speziell für die IT verbrauchter Energie aus. Je weiter sich der Quotient 1 annähert, umso energieeffizienter ist das Rechenzentrum.)

f Auslastungsfaktor (mittlere elektrizitätsbezogene Auslastung der IT-Komponenten) [%]

Es zeigte sich, dass diese Größen in der Erhebung sehr sorgfältig angegeben wurden. Jedoch wurden nur von einem kleinen Teil der Teilnehmer aller drei erforderlichen Größen angegeben.

2. Angabe des Stromverbrauchs aus Erhebung [MWh/a]
6. Falls der Stromverbrauch nicht über 1. oder 2. ermittelt werden kann, wird ein Imputationsverfahren angewendet, um fehlende Werte möglich genau zu schätzen. In der Literatur ist eine Vielzahl von Methoden bzgl. Datenimputation zu finden. Hier kommen multiple Regressionsmodelle zur Anwendung, wobei sich zeigt, dass insbesondere die Prädiktoren Fläche sowie Serveranzahl einen signifikanten, positiven Effekt

auf den Stromverbrauch haben. Diese beiden Grössen sind den meisten Umfrageteilnehmern bekannt, was sich in den hohen Antwortquoten widerspiegelt: 88% (Nutzfläche) und 87% (Serveranzahl).

Es werden drei Regressionsmodelle spezifiziert, welche je nach Datenlage zur Anwendung kommen (siehe unten):

- i. $\log(E_{RZ}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(PS_{RZ}) + \beta_2 \cdot \log(A_{RZ}) + \beta_3 A + \beta_4 B + \beta_5 C$
- ii. $\log(E_{RZ}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(A_{RZ}) + \beta_2 A + \beta_3 B + \beta_4 C$
- iii. $\log(E_{RZ}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(PS_{RZ}) + \beta_2 A + \beta_3 B + \beta_4 C$

Wobei

$\log$	natürlicher Logarithmus
PS_{RZ}	Anzahl physischer Server
A_{RZ}	Nutzfläche [m ²]
A, B, C	Dummy-kodierte Variablen für Segmente
$\beta_0, \dots, \beta_5$	Zu schätzende Koeffizienten

Bei Verfügbarkeit von Serveranzahl und Fläche wurde Modell i. für die Schätzung des Stromverbrauchs verwendet. Falls die Datenlage eine Schätzung mittels Modell i. nicht zulässt, wird auf Modell ii. oder alternativ auf Modell iii. ausgewichen. Für Antworten aus der Umfrage, bei denen die Frage nicht mit einem exakten Wert, sondern mit einer Kategorie beantwortet wurde, dient der Mittelwert der Kategorie als Wert für die Regressionsmodelle.

2.2.3 Hochrechnung

Zur anschliessenden Hochrechnung von der Stichprobe aus der Erhebung auf die Ebene Profondiadatenbank sowie die Grundgesamtheit aller Rechenzentren in der Schweiz werden folgende Datenquellen herangezogen:

- die Profondiadatenbank (Profondia AG, 2020a), welche Mengengerüstdaten (Anzahl Mitarbeiter, Anzahl PC) zu allen drei Segmenten liefert.
- die Marktübersicht RZ (Netzmedien AG, 2020), welche Mengengerüstdaten (Fläche) zu den RZ-Dienstleistern (Segment A) liefert.
- Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT, 2018), welche Mengengerüstdaten (Anzahl Beschäftigte und Arbeitsstätten) liefert.

Aufgrund der unterschiedlichen Definition der Grundgesamtheit für die drei Segmente, unterscheidet sich die Methodik der Hochrechnung zwischen den Segmenten, wobei das Vorgehen im Folgenden pro Segment erläutert wird.

Segment A

Bei Verfügbarkeit von Flächendaten aus der Marktübersicht (Netzmedien AG, 2020), wird die Hochrechnung mittels Model ii. durchgeführt. Für die verbleibenden, vorwiegend kleineren RZ-Dienstleister, für die keine Flächenangaben aus der Marktübersicht zur Verfügung stehen, wird der Stromverbrauch anhand des Attributs „Anzahl Mitarbeite“ (MA), welches in der

Profondiadatenbank zur Verfügung steht, hochgerechnet. Das angewendete Modell iv. sieht folgendermassen aus:

$$\text{iv.} \quad \log(E_{RZ}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(\text{MA})$$

Da das Segment A bzgl. Mitarbeiteranzahl ein Spezialfall darstellt, wird hier ein separates Modell nur für das Segment A spezifiziert. Die Hochrechnung anhand dieses Modells wird nur auf sehr wenige Unternehmen angewendet, da die meisten RZ-Dienstleister bereits in der Marktübersicht der Rechenzentren (Netzmedien (2020)) aufgeführt und dort mit der Nutzfläche beschrieben sind.

Für das Segment A wird grundsätzlich eine Vollerhebung angestrebt. Dadurch wäre eigentlich nur eine Hochrechnung auf die Profondiadatenbank nötig, um die nicht-antwortenden RZ zu berücksichtigen. Zunehmend drängen jedoch die grossen Public-Cloud-Anbieter wie Apple, Amazon, Google, Microsoft etc. in den Schweizer RZ-Markt. Diese Anbieter wollen speziell nicht nur den Bedarf nach Serverinfrastruktur decken, sondern auch Mietmodelle für die Software-Nutzung und die Datenspeicherung bereitstellen (Schröder M. (2019)). Weil ein Teil der genannten und weiterer Anbieter weder in der Profondia-Datenbank noch in der Marktübersicht der Netzmedien enthalten ist, wird entsprechend beim Segment A von einer Dunkelziffer (grüner Balken im Segment A) ausgegangen, so dass sich ebenfalls ein Hochrechnungsbeitrag ergibt (siehe Kap. 3.3.2).

Segmente B und C

Für die Segmente B und C stehen keine Flächenangaben aus externen Datenquellen zur Verfügung. Für die Hochrechnung auf alle Firmen in der Profondiadatenbank werden die Attribute „Anzahl Mitarbeiter“ (MA) sowie Branchencodes der Unternehmen herangezogen (siehe Modell v.). Die Variablen BAN (Banken), BGB (Behörden / Gesundheit / Bildung), INF (Informatik) und R (restliche Branchen) stelle Dummy-kodierte Variablen für die Branchenzugehörigkeit dar. Erneut werden auch die Unterschiede zwischen den Segmenten B und C durch das Modell widerspiegelt.

$$\text{v.} \quad \log(E_{RZ}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(\text{MA}) + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 \text{BAN} + \beta_5 \text{BGB} + \beta_6 \text{INF} + \beta_7 R$$

Ein Abgleich der Beschäftigtenzahlen der ausgewählten Segmente aus der Profondiadatenbank mit der Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT) des Bundes zeigt, dass für die Ermittlung des Gesamtstromverbrauchs aus firmeninternen RZ/SR hochgerechnet werden muss. Entsprechend wird für das Segment ein Abdeckungsgrad der Profondiadatenbank definiert (siehe Szenarien im Kapitel 3.3), wobei das genaue Vorgehen zusammen mit den Resultaten in Kapitel 3.3 näher erläutert wird.

Für das Segment C werden die Daten aus dem Kanton LU weiter anhand eines Regressionsmodells mit der funktionalen Form von Modell iv. sowie der Anzahl Arbeitsstätten auf die Schweiz hochgerechnet.

2.3 Energieeffizienzpotenziale

Der heutige Stromverbrauch von RZ und SR sowie die Effizienzpotenziale hängen von den bereits umgesetzten Energieeffizienzmassnahmen sowie dem Stand der Technik in den beiden Systembereichen Infrastruktur und IT ab. Wobei Kühlung, Lüftung, Anlagen zur Strom-

versorgungssicherheit etc. zu ersterem und Speichertechnologien, Backupsysteme, Auslastung der IT-Komponenten etc. zu letzterem gehören.

2.3.1 Infrastruktureitige Energieeffizienzpotenziale

Das Energieeffizienzpotenzial auf Seite RZ-Infrastruktur hängt stark von den bereits umgesetzten Energieeffizienzmassnahmen sowie dem technischen Stand der Komponenten ab.

Effizienzmassnahmen

Der Stromverbrauch der RZ-Infrastruktur kann im Einzelfall stark durch spezifische technische und betriebliche Effizienzmassnahmen beeinflusst werden. Hierbei sind primär folgende Parameter oder Systemkonfigurationen relevant:

- Systemraumtemperatur (am Eintritt der Server)
- Kälteerzeugung (Kältemaschine, Free-Cooling, Mix)
- Kaltwassersystemtemperatur
- Wärmesenke (Aussenluft, Grund- oder Seewasser)
- Luftführung (Doppelboden, Kalt-/Warmgang, Rackintern)

Für jeden dieser Einflussfaktoren wird das Veränderungspotenzial mit einer Unsicherheit von +/-20% abgeschätzt. Abbildung 32 im Anhang illustriert für verschiedene Massnahmenkombinationen die Einflussfaktoren. Das relative Einsparpotenzial ausgehend vom schlechtesten Fall wird für eine Kombination von Faktoren von jeweils zwei Massnahmen festgelegt. Jeder dieser Faktoren wirkt auf denjenigen Teil des infrastruktureitigen Stromverbrauchs, der durch die Massnahme beeinflusst wird. Hierbei wird für den «Worst case», also ohne jegliche Umsetzung Massnahmen in den obigen Bereichen, von der Verbrauchsstruktur (Verwendungszwecke) gemäss Tabelle 4 ausgegangen.

Tabelle 4: Verwendungszweck und ihr jeweiliger Anteil am infrastruktureitigen Stromverbrauch.

Verwendungszweck	Anteil am infrastruktureitigen Stromverbrauch
Kälteerzeugung	50%
Kaltwasserverteilung	15%
Luftführung	20%
Stromversorgung (USV, Transformatoren) und übriges (z.B. Beleuchtung)	15 %

Quelle: HSLU, Puntsagdash et al. (2015)

Stand der Technik

Nebst den bereits umgesetzten Energieeffizienzmassnahmen hat der «Stand der Technik» der eingesetzten Komponenten (Kältemaschine, Ventilatoren, Pumpen etc.) einen grossen Einfluss auf das Energieeffizienzpotenzial. Beim Stand der Technik wird unterschieden zwischen Normalfall, Alt und Neu (siehe Tabelle 5). Beim heutigen Stand der Technik für die ein-

zelenen Komponenten und deren Regelung beziehen sich 100% auf einen PUE von 2, d.h. auf einen Beitrag der gebäudetechnischen Infrastruktur an den Gesamtstromverbrauch von 1 (=PUE-1). Dies ist kongruent mit den Beobachtungen aus der Erhebung. Die PUE-Berechnung für ein einzelnes RZ erfolgt anhand der folgenden Gleichung:

$$PUE = 1 + MaxInfra \cdot (f_{KE} \cdot f_{Infra,1} \cdot f_{Infra,2} + f_{KV} \cdot f_{Infra,3} + f_{LF} \cdot f_{Infra,4} \cdot f_{Infra,5} + f_{Rest} \cdot f_{Infra,6})$$

Wobei

<i>MaxInfra</i>	Maximaler Anteil Infrastruktur (siehe Tabelle 5)
<i>f_{KE}, f_{KV}, f_{LF}, f_{Rest}</i>	Anteil des Stromverbrauchs je für Kälteerzeugung, Kaltwasserverteilung, Luftführung sowie Rest (USV etc.) gemäss Tabelle 4.
<i>f_{Infra,1}, ..., f_{Infra,6}</i>	Reduktionsfaktoren basierend auf Antworten aus Umfrage (bzgl. Massnahmen) sowie Abbildung 32 im Anhang.

Tabelle 5: Maximaler Infrastrukturanteil am PUE abhängig in Abhängigkeit vom Stand der Technik

Fall	Stand der Technik	Anteil IT (per Definition)	Max. Anteil Infrastruktur (MaxInfra)
Normalfall	0.7	1	1
Alt	1	1	1.42
Neu	0.45	1	0.64

Quelle: HSLU, TEP Energy

Mangels direkt verfügbarer Daten wird der „Stand der Technik“ jeweils basierend auf den Antworten zur Frage bzgl. den bereits umgesetzten Energieeffizienzmassnahmen (vgl. Abbildung 16) angenähert. Dazu werden pro umgesetzte Massnahme Gewichtungspunkte vergeben (vgl. Tabelle 26 im Anhang), so dass Massnahmen mit höheren Stromeinsparpotenzial (z.B. „Free-Cooling“) höher gewichtet werden als z.B. die „Lichtsteuerung“. Darauf aufbauend wird definiert, dass nur bei Antworten mit einer Summe von mehr als 30 Punkten (Maximum: 38 Punkte) vom höchsten Stand der Technik („Neu“) ausgegangen werden kann. Bei Antwortenden, wo gewisse Massnahmen umgesetzt sind, andere jedoch nicht (5-30 Punkte) geht man vom „Normalfall“ aus. Mit weniger als 5 Punkten, wird der Fall „Alt“ angenommen. Insbesondere im Segment B wird doch bei einigen RZ/SR vom schlechtesten Stand der Technik ausgegangen, während im Segment A bereits über 30% der Kategorie «Neu» zugeordnet werden (siehe Tabelle 27).

Wie der obenstehenden Gleichung zu entnehmen ist, wird die Effizienzwirkung der in Abbildung 32 aufgeführten Massnahmen als Multiplikationsfaktor angegeben. Bei Kombination der Massnahmen, die auf denselben Verwendungszweck wirken (z.B. Kälteerzeugung) sind diese multiplikativ zu verwenden. Weitere Effizienzbeiträge lassen sich im Bereich Redundanz und USV erzielen. Aufgrund des geringeren energetischen Gewichts in der Verbrauchsstruktur leisten diese Massnahmen im Quervergleich entsprechend einen geringeren Beitrag.

Kombination Massnahmen und Stand der Technik

Mit den in Abbildung 32 aufgeführten Massnahmen sowie Massnahmen im Bereich USV kann der PUE von 2 auf ca. 1.15 reduziert werden. Noch tiefere PUE können erreicht werden, wenn effizientere Komponenten im Sinne von «Best available technology» (BAT) eingesetzt werden. In diesem Fall kann der PUE bis auf 1.1 gesenkt werden. Umgekehrt werden noch höhere PUE aus der Vergangenheit (bis zu 2.4) abgebildet, indem von einem ineffizienteren Stand der Technik ausgegangen wird.

2.3.2 IT-seitige Energieeffizienzpotenziale

Ähnliche Ansätze werden verfolgt, um die Effizienzwirkung von IT-seitigen Massnahmen abzuschätzen. Hier sind vor allem die verwendeten Speichertechnologien und Backup-Systeme sowie der Auslastungsgrad der IT-seitigen Komponenten von Wichtigkeit. Gemäss SDEA (2019) sind Auslastung, Speicher und Backup zusammen für rund 50% des IT-seitigen Stromverbrauchs verantwortlich. Für die Abschätzung der Aufteilung dieser drei Bereiche wird auf Puntsagdash et al. (2015) abgestützt. Zu bemerken ist, dass oft nur die CPU-Auslastung bekannt ist. Eine hohe CPU-Auslastung ist aber nicht zwingend ein umfassendes Indiz für einen energieeffizienten Betrieb, dafür ist auch eine hohe Auslastung der Arbeitsspeicher nötig.

Energieeffizienzpotenziale sind jedoch auch in weiteren Bereichen zu finden. Sogenannte Rack-PDUs versorgen Server und weitere Geräte mit Strom und helfen die Lasten zu steuern. Dieses Ausbalancieren der Systeme ermöglicht weitere Stromeinsparungen. Zudem führt auf Netzwerkebene ein Umstieg von Kupfer- auf Glasfaserverbindungen zu weiteren Effizienzsteigerungen. Diese nicht direkt erhobenen Angaben zur Energieeffizienz werden unter der Rubrik «weitere Verbräuche» zusammengefasst. Im Ergebnis ergibt sich die IT-seitige Verbraucherstruktur gemäss Tabelle 6.

Tabelle 6: Verwendungszweck und Anteil am IT-seitigen Stromverbrauch. Konsultierte Experten kommen auf ähnliche Schätzwerte.

Verwendungszweck	Anteil am IT-seitigen Stromverbrauch
Auslastung	35%
Speicher	10%
Backup	5%
Weitere Verbräuche im Bereich Server/Netzwerk sowie komponentenbedingte Verbräuche (Stromversorgungsrating, Glasfaseranteil)	50%

Quelle: Puntsagdash et al., 2015, HSLU

Mit der angenommenen Verbraucherstruktur sowie anhand der in der Erhebung angegebenen Massnahmenkombinationen bzgl. Auslastung, Speichertechnologien und Backup-Systemen (vgl. Abbildung 33) wird das IT-seitige Energieeffizienzpotenzial ermittelt. Anstatt der PUE-Berechnung wird IT-seitig pro RZ ein IT-Effizienzfaktor (IT_{EF}) berechnet:

$$IT_{EF} = f_{Auslastung} \cdot f_{IT,1} + f_{Speicher} \cdot f_{IT,2} + f_{Backup} \cdot f_{IT,3} + f_{SN,Komponenten} \cdot f_{IT,4}$$

Wobei:

IT_{EF}

IT-Effizienzfaktor: quantifiziert die IT-seitige Energieeffizienz und nimmt Werte zwischen 0.5 (sehr effizient) und 1 (nicht effizient).

$f_{Auslastung}, f_{Speicher},$
 $f_{Backup}, f_{SN,Komponenten}$

Anteil des Stromverbrauchs je für Auslastung, Speicher, Backup sowie weitere Verbräuche im Bereich Server / Netzwerk und komponentenbedingte Verbräuche gemäss Tabelle 6.

$f_{IT,1}, f_{IT,2}, f_{IT,3}, f_{IT,4}$

Reduktionsfaktoren basierend auf Antworten aus Umfrage sowie Abbildung 33 im Anhang.

Der IT-seitige Stromverbrauch ist heute im «Normalfall» ca. 11% und im «Best case» ca. 50% tiefer im Vergleich zum «Worst case». Letzterer beinhaltet keine IT-seitigen Massnahmen (tiefe Auslastung, d.h. deutlich unter 20%, hoher Anteil Hard Disk Drives, geringer Anteil SSD oder Flash Speicher sowie vornehmlich Disks als Backup-Träger sowie keine weiteren umgesetzten Massnahmen).

Basierend auf den pro RZ ermittelten PUE-Werten und IT-Effizienzfaktoren lässt sich das Energieeffizienzpotenzial sowohl absolut (in GWh) als auch relativ (in % des Gesamtstromverbrauchs) für die beiden Systembereiche Infrastruktur (Gebäudetechnik) und IT ermitteln (siehe Resultate in Kapitel 4).

3 Heutiger Stromverbrauch

Im vorliegenden Kapitel wird der heutige Stromverbrauch ermittelt. Kap. 3.1 charakterisiert die Antwortstichprobe aus der Erhebung und analysiert die wichtigsten Kenngrößen für die anschliessende Hochrechnung deskriptiv. Kap. 3.2 erläutert die statistische Analyse anhand der erhobenen Daten und zeigt den Stromverbrauch aus der Antwortstichprobe auf. Kap. 3.3 beschreibt die Hochrechnung auf den Stromverbrauch der RZ/SR in der Schweiz.

3.1 Charakterisierung der Stichprobe: wichtige Kerngrößen in RZ/SR

Die Berechnung des Stromverbrauchs soll einzeln für die verschiedenen Segmente vorgenommen werden. Entsprechend ist es sinnvoll, die Antwortstichprobe differenziert zu analysieren. Tabelle 7 zeigt eine Übersicht zu den Anzahl Antworten bzgl. Nutzfläche, Serveranzahl, elektr. IT-Leistung sowie Stromverbrauch pro Kategorie und Segment. Weiter sind der Mittelwert ($\bar{x}$) und die Standardabweichung (sd) angegeben (numerische Werte gemäss Kap. 2.2.2). Insbesondere beim Segment B ergeben sich aufgrund der heterogenen Teilnehmerstruktur sehr grosse Unterschiede bei den Antworten.

Tabelle 7: Anzahl Antworten (n), Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (sd) für verschiedene Größen aus der Erhebung differenziert nach Segmenten.

	Segment A			Segment B			Segment C		
	n	$\bar{x}$	sd	n	$\bar{x}$	sd	n	$\bar{x}$	sd
Stromverbrauch [MWh]	23	1573	3002	287	675	3450	74	23	94
Nutzfläche	29	783	631	553	157	696	131	23	44
Serveranzahl	22	1955	3316	558	217	1173	129	12	67
IT-Leistung [kW]	25	994	1271	345	278	1332	79	13	34

Quelle: Online-Erhebung dieser Studie, Auswertung TEP Energy

Nachfolgend werden die Antworten aus der Erhebung für die Größen in Tabelle 7 als Häufigkeitsverteilung dargestellt (100% entsprechen jeweils der Anzahl Antworten aus der Erhebung pro Segment). Abbildung 6 illustriert die Angaben aus der Erhebung bzgl. Nutzfläche. Insgesamt sind $n = 713$ ($n = 29/553/131$ für die Segmente A/B/C) Antworten zu dieser Frage eingegangen. Bzgl. Nutzfläche zeigen sich erhebliche Unterschiede zwischen den Segmenten. Serverräume in KMU sind mehrheitlich nur bis 25 m² gross. Im Segment B gibt es bereits einzelne sehr grosse RZ, während es im Dienstleistungsbereich (Segment A) auch einige RZ mit mehr als 1000 m² gibt. Trotz der mehrheitlich grösseren RZ gibt es im Dienstleistungsbereich auch kleinere RZ mit Nutzflächen unter 250 m². Dies widerspiegeln auch die Resultate aus der Marktübersicht der Netzmedien (Netzmedien AG (2020)). Nur 98 Teilnehmer haben die Frage nicht beantwortet (vgl. Beschriftung der Abbildung 6). Die Nicht-Antwortenden Quote variiert von 9% (Segment C) bis 19% (Segment A). Eine Übersicht der Nicht-Antwortenden Quote für alle Fragen aus der Erhebung ist im Anhang in Abbildung 63 zu finden.

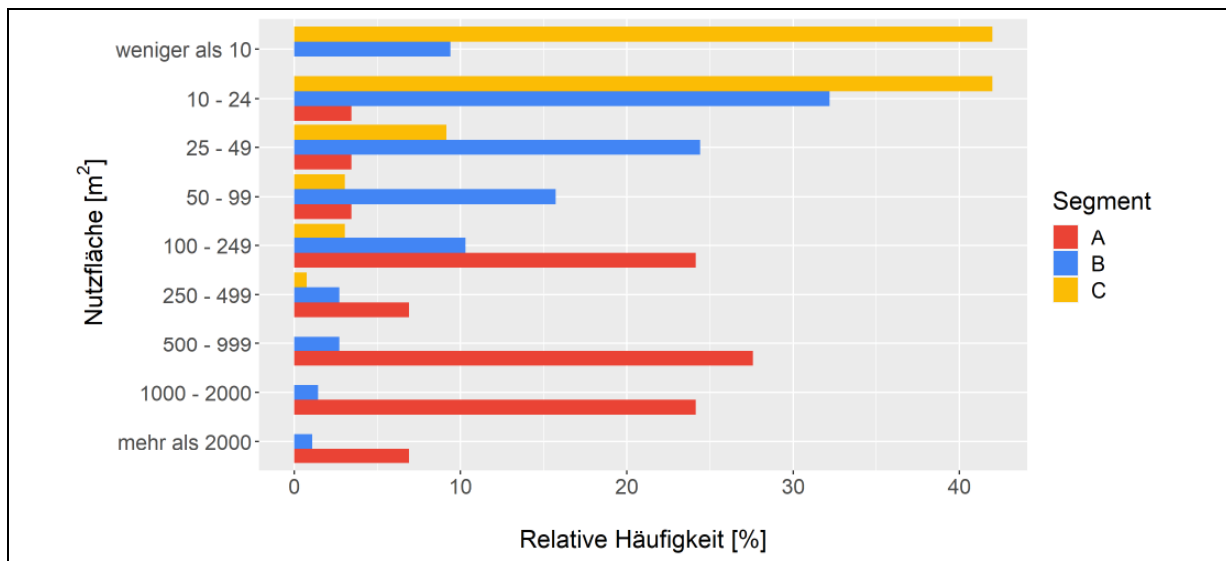


Abbildung 6: Nutzfläche in den RZ/SR für die Segment A, B und C. Anzahl bezogene Häufigkeitsverteilung. Für diese Frage sind n = 713 Antworten eingegangen (A:29, B:553, C:131).

Bei der Verteilung der Anzahl Server (Abbildung 7) zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Nutzfläche: Die Antwortquote liegt ähnlich hoch und die Unterschiede zwischen den drei Segmenten sind gross, namentlich auch zwischen dem Segment B (interne RZ von grossen Unternehmen) und dem Segment A (RZ-Dienstleister). Trotz Auslagerungstendenz sind immer noch viele Server in firmeninternen RZ zu finden. Mehrheitlich sind es weniger als 50 Server und nur relativ selten mehr als 100, im Gegensatz zum Segment A, bei dem es in mehr als 60% der RZ mehr als 100 sind. In den Segmenten B und C handelt es sich oft Server für einzelne spezifische Anwendungen einzelne physische Server, was teilweise mit tiefer Auslastung verbunden ist (Abbildung 24).

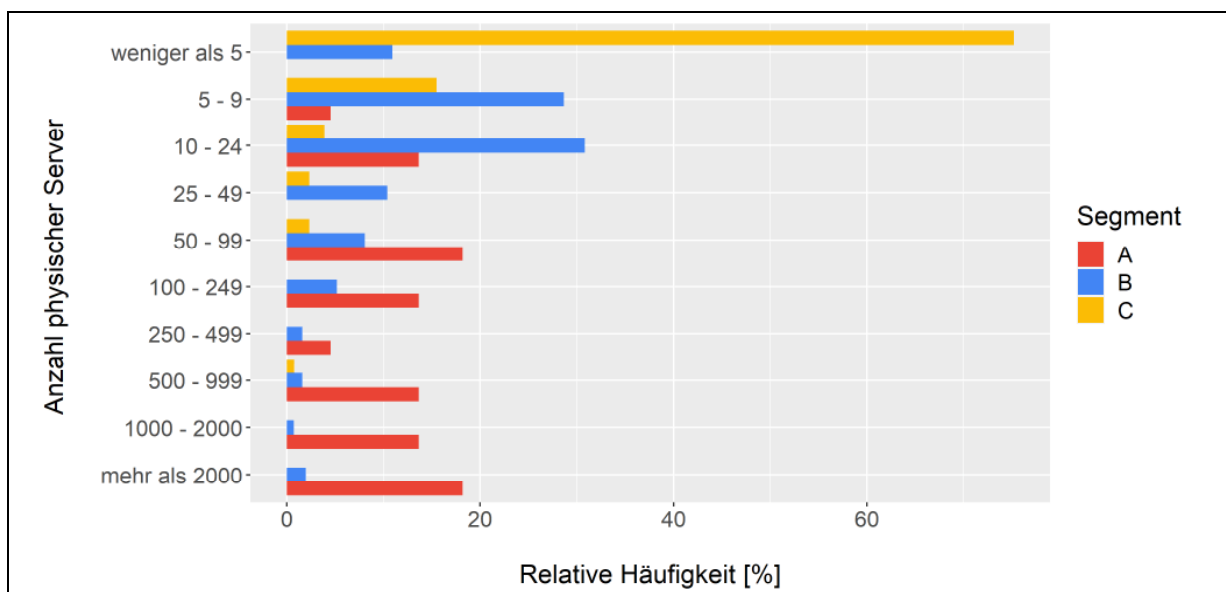


Abbildung 7: Anzahl physischer Server in den Segmenten A, B und C (anzahlbezogene Häufigkeitsverteilung). Zu dieser Frage sind n = 709 Antworten eingegangen (A:22, B:558, C:129).

Aus Abbildung 8 geht hervor, dass die RZ-Dienstleister in der Regel über deutlich grössere Leistungskapazitäten verfügen als firmeninterne RZ, auch wenn es vereinzelte firmeninterne RZ mit einer sehr hohen installierten Leistung von mehr als 1 MW gibt. Solch hohe Leistungen sind im Segment A in mehr als 35% der Fälle anzutreffen und weitere rund 25% weisen solche zw. 250 kW und 1000 kW auf. Auf der anderen Seite des Spektrums umfasst das Segment C (KMU) gemäss den Ergebnissen der Erhebung Serverräume ausschliesslich installierte IT-Leistung von weniger als 250 kW.

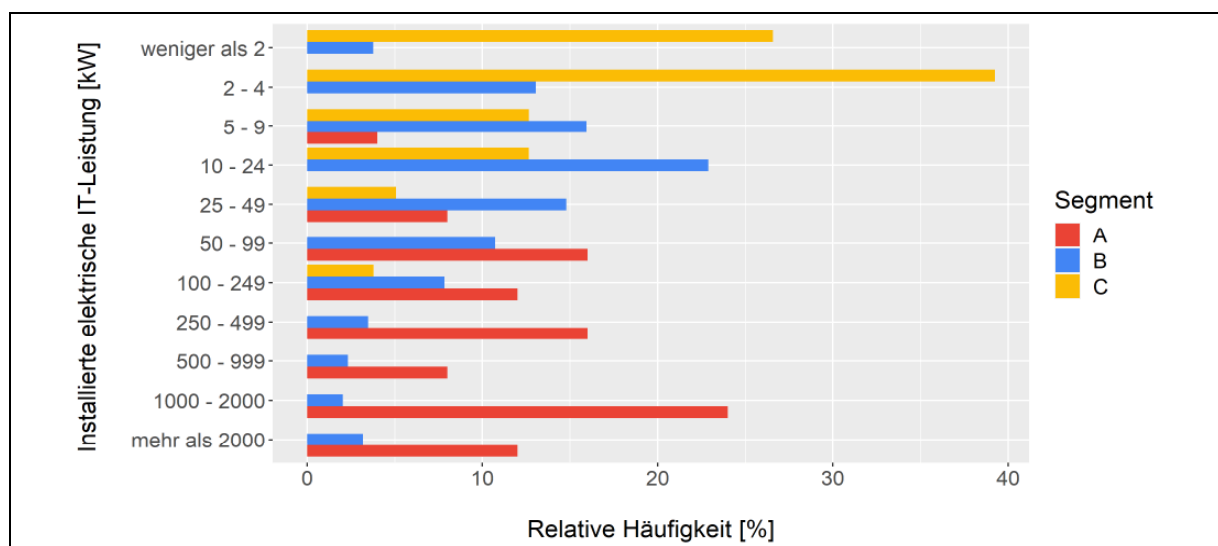


Abbildung 8: Installierte elektrische IT-Leistung für die drei Segmente A, B und C: Anzahl bezogene Häufigkeitsverteilung. Die Anzahl Antworten auf diese Frage beträgt n = 449 (A:25, B:345, C:79).

Abbildung 9 illustriert den Stromverbrauch der RZ/SR pro Jahr. Auch hier zeigt sich die Tendenz von grösseren RZ mit höherem Stromverbrauch in den Segmenten B und speziell A. Im Segment C gibt es nur vereinzelte grosse Stromverbraucher.

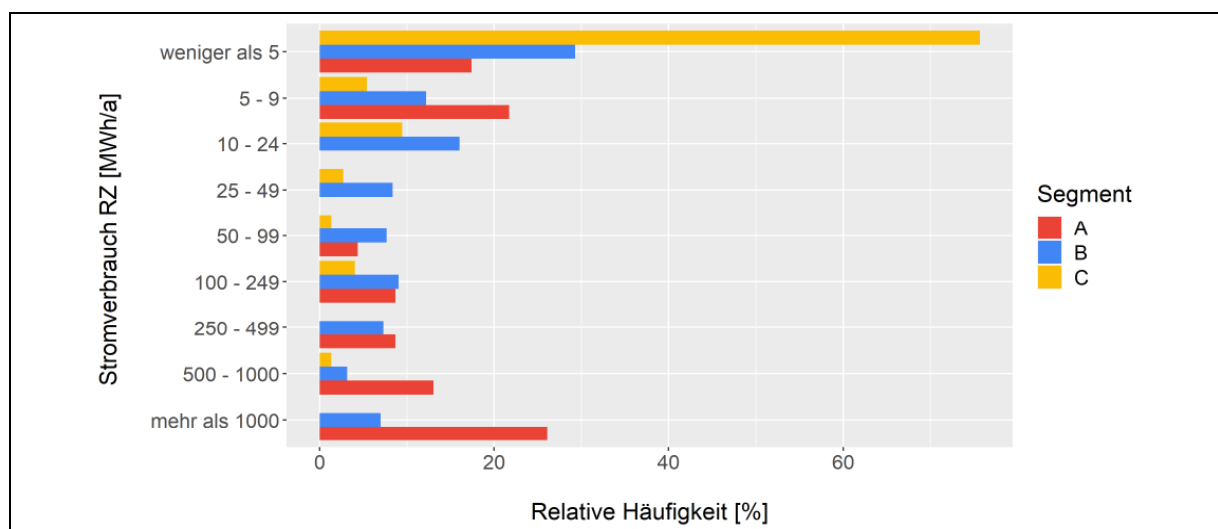


Abbildung 9: Stromverbrauch des RZ/SR pro Jahr für die Segment A, B und C: Anzahl bezogene Häufigkeitsverteilung. Die Anzahl Antworten beträgt n = 384 (A:23, B:287, C:74).

Abschliessend lässt sich festhalten, dass die grossen RZ eine noch grössere Bedeutung aufweisen, wenn statt der anzahlbasierten Häufigkeit die quantitativen Anteile von Fläche, Serveranzahl, Leistung und Stromverbrauch dargestellt werden.

3.2 Statistische Analyse und Datenimputation

Für 59 RZ wird der Stromverbrauch gemäss dem in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Verfahren anhand der Formel aus installierter Leistung, PUE sowie Auslastung berechnet. Für weitere 306 RZ wurde der Stromverbrauch direkt in der Umfrage angegeben. Für Datensätze, bei welchen weder Daten zum Stromverbrauch aus der Erhebung noch solche zur direkten Berechnung zur Verfügung stehen, erfolgt die Abschätzung des Stromverbrauchs mittels verschiedener Regressionsmodelle (siehe Kapitel 2.2.2):

- für 270 RZ durch Anwendung von Modell i.
- für weitere 37 RZ durch Anwendung von Modell ii.
- für weitere 6 RZ durch Anwendung von Modell iii.

Somit kann anhand der Daten aus der Erhebung eine Abschätzung für total 678 RZ gemacht werden (siehe auch Tabelle 11). Nachfolgend wird auf die Ergebnisse dieser Regressionsmodelle eingegangen.

Analyse Modell i.

Tabelle 8 zeigt den Modelloutput von Modell i. Wie zu erwarten haben sowohl die Nutzfläche A_{RZ} als auch die Serveranzahl PS_{RZ} einen starken, positiven Einfluss auf den Stromverbrauch der RZ. Der Zusammenhang unterscheidet sich zwischen den Segmenten: Bei gleicher Fläche und gleicher Serverzahl liegt der Stromverbrauch bei den Segmenten B und C deutlich tiefer.

Die einfachen Grössen Nutzfläche und Serveranzahl sind den meisten RZ-Dienstleistern und -Betreibern bekannt. Der Modelloutput zeigt, dass dies zuverlässige Grössen sind und eine weitere Erhebung resp. ein Monitoring dieser Grössen durchaus Sinn macht.

Tabelle 8: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Werte für Modell i. zur Schätzung des $\log(\text{Stromverbrauch in MWh})$.

Variable	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik	p-Wert
Intercept	0.91	0.56	1.64	1.01e-01
$\log(A_{RZ})$	0.41	0.11	3.88	1.28e-04***
$\log(PS_{RZ})$	0.61	0.08	7.40	1.27e-12***
Segment B	-0.92	0.44	-2.12	3.46e-02*
Segment C	-1.19	0.50	-2.37	1.87e-02*
RSE: 1.53, R^2 : 0.61, Adj. R^2 : 0.61			*** 0.001, ** 0.01, *0.05	

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Auch aus statistischer Sicht ist der Ansatz zielführend: die Multikollinearität zwischen Nutzfläche und Serveranzahl ist nicht problematisch (Varianzinflationsfaktoren deutlich unter 5).

Abbildung 10 illustriert die Anwendung des Modells von Tabelle 8 (Geraden) im Vergleich zu den zugrundeliegenden Daten (Punkte). Die Daten zum Stromverbrauch sind als Funktion der Fläche aufgetragen. Die Farbe der Punkte kennzeichnet die Zuteilung zu den Segmenten A, B und C und die Grösse der Datenpunkte widerspiegelt als weitere Dimension die Serveranzahl. Die Modellgeraden wurden für die vier Abbildungen a-d bei jeweils konstanter Serveranzahl geplottet und im Quervergleich zwischen den vier Abbildungen erschliesst sich damit der Einfluss der Serveranzahl. Mit zunehmender Serveranzahl (a bis d) verschieben sich die Geraden vertikal nach oben, wodurch das Modell andere Grössenklassen (bzgl. Anzahl Server) darstellen kann.

Für das Segment C ist v.a. Abbildung a) relevant, da diese in der Regel weniger als 10 Server aufweisen. Bzgl. des Segments B sind v.a. die Abb. a) und b) relevant. Bei den Abb. c) und d) ist insbesondere der deutlich höhere Wert für das Segment A gut zu erkennen.

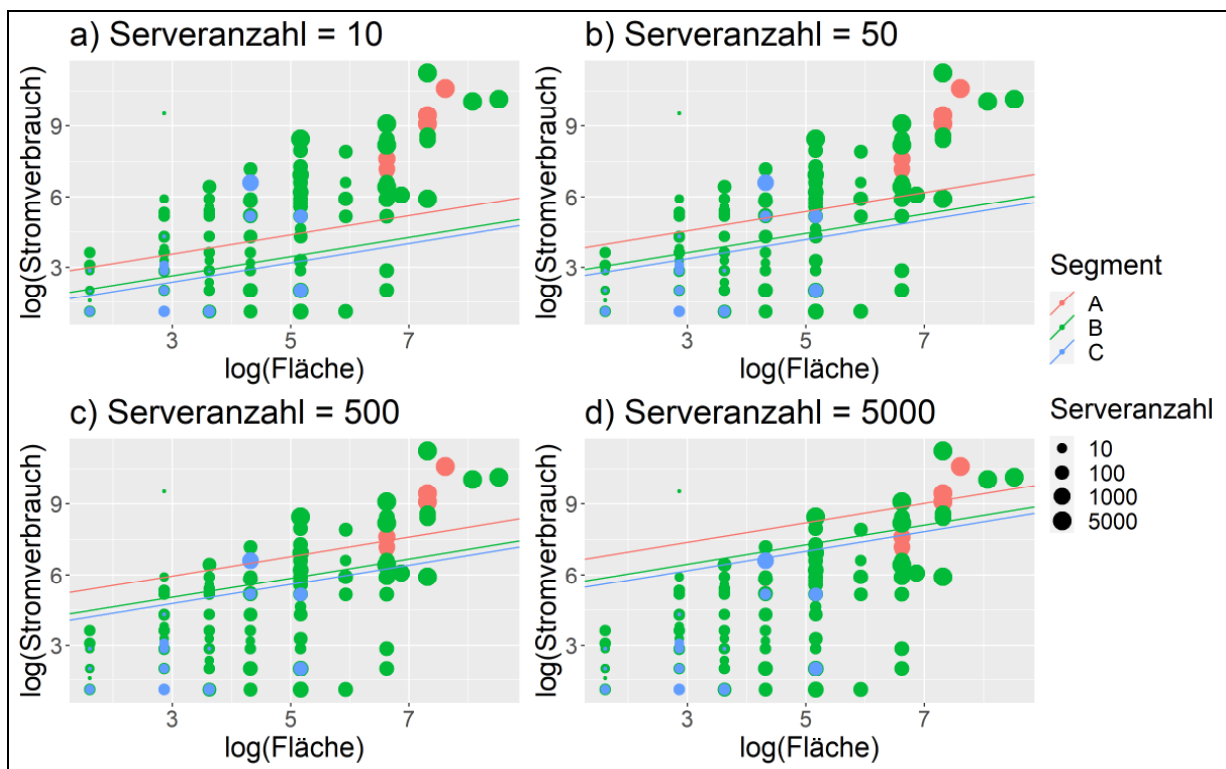


Abbildung 10: $\log(\text{Stromverbrauch in MWh})$ als Funktion von Fläche, Serveranzahl und Segment anhand eines log-log-Ansatzes gemäss Modell i. Die Grösse der Datenpunkte widerspiegelt die Serveranzahl, wobei zur Illustration der Modellgerade die Serveranzahl jeweils pro Abbildung a) – d) konstant gehalten wurde (gemäss Beschriftung der Grafik).

Anhand des Modells lässt sich auch die Energiedichte (kWh/m^2) berechnen. Diese ist im Segment B deutlich tiefer als im Segment A (um rund 60% bei gleicher Fläche und Serverzahl). Für einen Vergleich sind allerdings eher die typischen Grössen (oder die Mediane) der beiden Segmente zu vergleichen. Beispielsweise beträgt die Energiedichte beim Segment A rund 2700 kWh/m^2 (bei beispielhaften 500 Servern auf 750 m^2) und im Segment B rund 700 kWh/m^2 (bei rund 25 Servern auf 50 m^2), also mehr als 3-mal weniger. Dies verdeutlicht die hohe Energiedichte beim Segment A und die hohen Energieverbräuche bei RZ, die häufig auch mehr als 1000 m^2 gross sind.

Analyse Modell ii.

Die Nutzfläche ist ein hochsignifikanter Prädiktor für den Stromverbrauch (jeweils logarithmisch). Das Modell ii. ist insbesondere hilfreich, den Stromverbrauch der grossen RZ im Segment A auf die Grundgesamtheit hochzurechnen, da die Nutzfläche durch die Marktübersicht Rechenzentren für knapp 80 RZ-Dienstleister, d.h. in den meisten Fällen, bekannt ist (Netzmedien AG, 2020).

Der Modelloutput von Modell ii. mit der Fläche als hauptsächlicher Mengenvariable mit den geschätzten Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Werten ist in Tabelle 9 abgebildet. Das Bestimmtheitsmass sowie das korrigierte R^2 betragen für Modell ii. 0.59 resp. 0.58 und sind damit etwas tiefer als beim Modell i. Umgekehrt liegt der Standardfehler der Regression (RSE) mit 1.624 etwas höher.

Tabelle 9: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Werte für Modell ii. zur Schätzung des $\log(\text{Stromverbrauch in MWh})$.

Variable	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik	p-Wert
Intercept	0.81	0.52	1.55	0.122
$\log(A_{RZ})$	1.06	0.06	17.23	<2e-16***
Segment B	-1.32	0.39	-3.35	8.96e-04***
Segment C	-1.93	0.46	-4.17	3.82e-05***
RSE: 1.62, R^2 : 0.59, Adj. R^2 : 0.58			*** 0.001, ** 0.01, *0.05	

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Die Datenpunkte sowie die Modellgeraden für die drei Segmente sind in Abbildung 11 illustriert. Erneut zeigt sich die relativ breite Verteilung der RZ im Segment B auf verschiedene Nutzflächengrössen. Dies im Gegensatz zu den RZ aus dem Segment A, welche mehrheitlich grössere Nutzflächen aufweisen (in der Regel über 100 m², $\log(\text{Fläche})=4.6$, häufig über 500 m², d.h. $\log(\text{Fläche})=6.2$). Wie beim Modell i. liegt der Stromverbrauch der Segmente B und C tiefer im Vergleich zum Segment A.

Die Antworten der Teilnehmer im Segment A können direkt mit der Marktübersicht der Netzmedien verglichen werden. Hierbei zeigt sich, dass die Differenz in der Summe der Flächen weniger als 5% beträgt, was illustriert, dass das statistische Modell gut für den vorgesehenen Verwendungszweck im Rahmen dieser Studie geeignet ist.

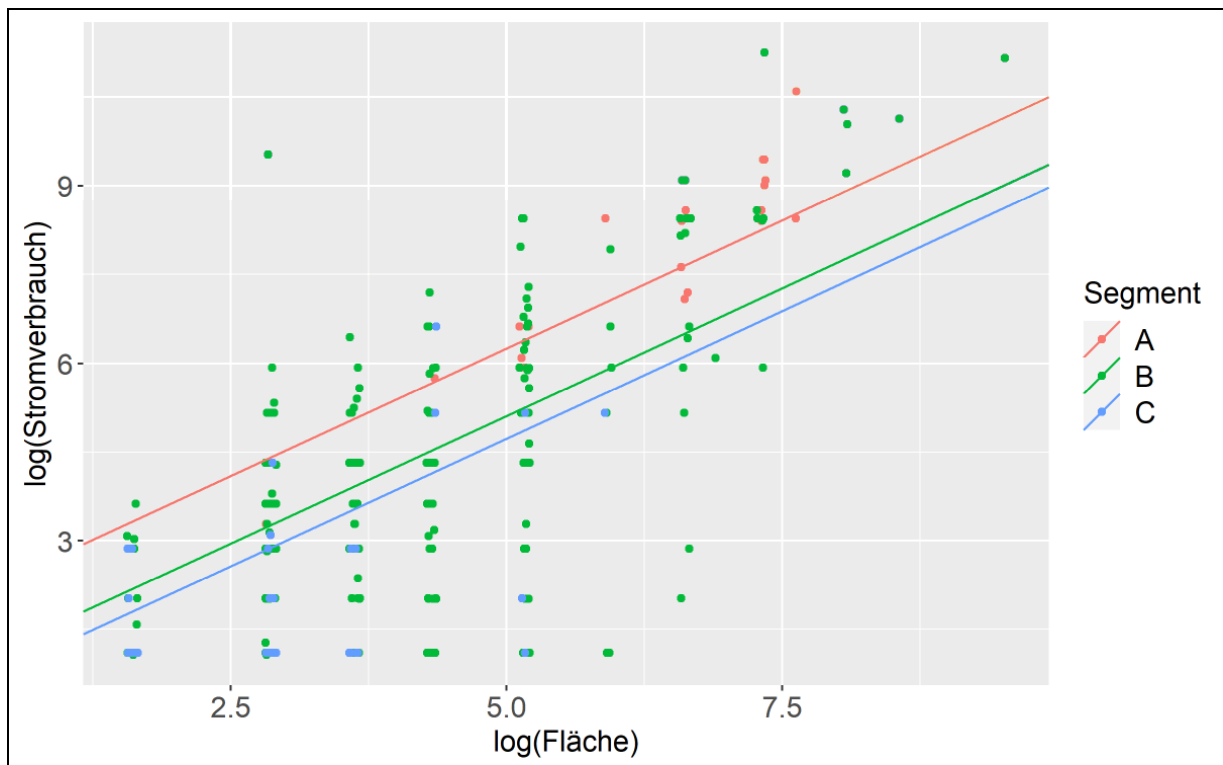


Abbildung 11: log(Stromverbrauch in MWh) als Funktion von Nutzfläche und Segment mit einem log-log-Ansatz gemäss Modell ii.

Analyse Modell iii.

Falls nur die Serveranzahl, aber nicht die Nutzfläche aus der Erhebung hervorgeht, wird der Stromverbrauch mit Modell iii. abgeschätzt. Auch die Serveranzahl (PS_{RZ}) ist ein signifikanter Prädiktor für den Stromverbrauch. Die verschiedenen Variablen, geschätzten Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Werte sind in Tabelle 10 abgebildet. Das Bestimmtheitsmass sowie das korrigierte R^2 betragen für Modell iii. 0.59 resp. 0.58, d.h. ähnlich wie beim Modell ii. Der Standardfehler der Regression (RSE) liegt bei 1.57.

Tabelle 10: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert für Modell iii. zur Schätzung des log(Stromverbrauch in MWh).

Variable	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik	p-Wert
Intercept	1.93	0.51	3.79	1.78e-04***
$\log(PS_{RZ})$	0.86	0.05	16.81	<2e-16***
Segment B	-1.14	0.44	-2.58	1.04e-02*
Segment C	-1.52	0.51	-3.00	2.92e-3**
RSE: 1.57, R^2 : 0.59, Adj. R^2 : 0.58				*** 0.001, ** 0.01, * 0.05

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Die Datenpunkte sowie die Modellgeraden für die drei Segmente sind in Abbildung 12 illustriert. Wiederum deutet die höher liegende Gerade im Segment A auf deren höheren Stromverbräuche bei vergleichbarer Anzahl Server hin.

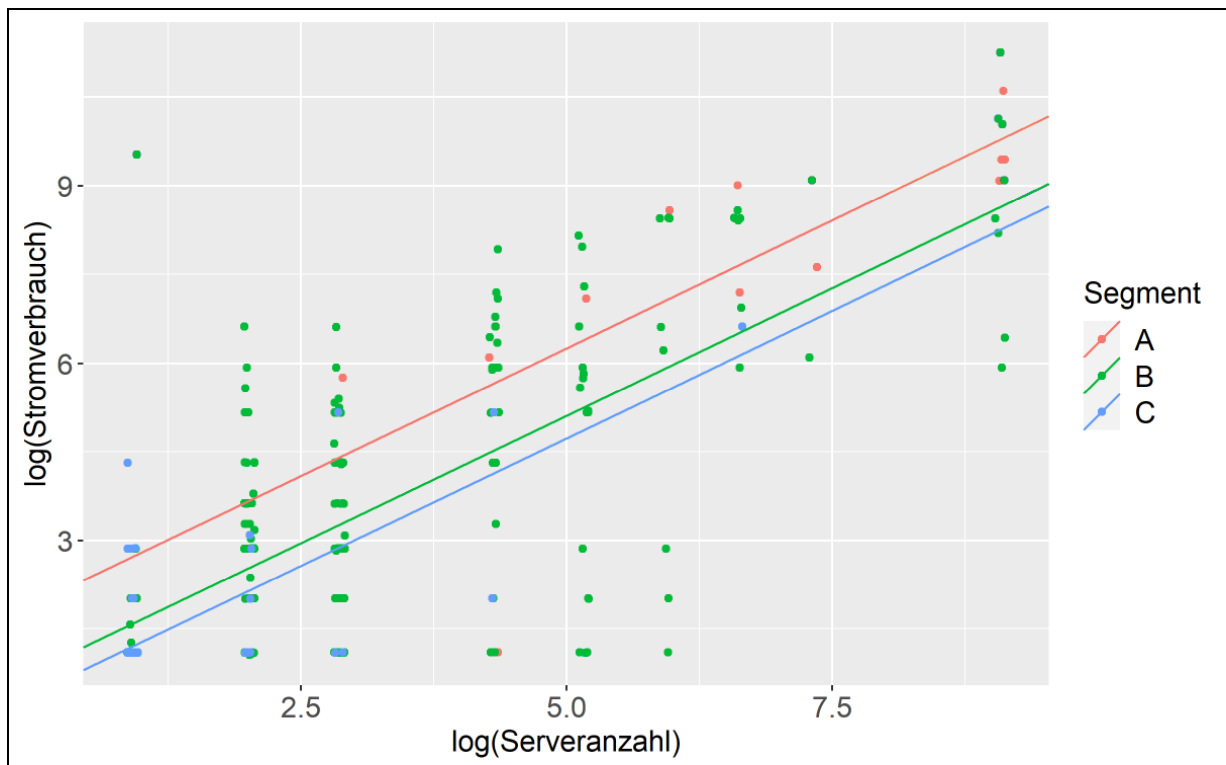


Abbildung 12: $\log(\text{Stromverbrauch in MWh})$ als Funktion von Serveranzahl und Segment mit einem log-log-Ansatz gemäss Modell iii.

Verwendete Methoden für Stromverbrauch in Stichprobe

Der gesamte Stromverbrauch aus der Antwortstichprobe, sprich den RZ, für welche mit installierter Leistung, PUE, Auslastung, Serveranzahl oder Nutzfläche der Stromverbrauch ermittelt werden konnte, beläuft sich auf ca. 0.5 TWh (siehe Tabelle 11). Einige Firmen gaben an, über keinen eigenen Serverraum (mehr) zu verfügen; im Segment C sind dies 43 RZ und im Segment B 54 RZ.

Im Segment B gibt es einige Grossverbraucher (Finanzdienstleister sowie Forschungseinrichtungen) mit einem Stromverbrauch von mehr als 20 GWh/Jahr. Diese sind hier separat dem Segment B* zugeteilt. Die Spalten 3-7 in Tabelle 11 zeigen, anhand welcher Methode 1 bis 3 sowie ggf. durch welchen Modellansatz i. bis iii (alle Verfahren gemäss Kapitel 2.2) der Stromverbrauch für die RZ in der Stichprobe geschätzt wird. Es zeigt sich, dass für den grössten Teil der Erhebungsteilnehmer der Stromverbrauch über die Methode 1, direkt aus der Umfrage oder mit dem Modellansatz i. ermittelt werden kann. Nur für einen kleinen Teil muss aufgrund fehlender Daten auf die Modellansätze ii. und iii. ausgewichen werden.

Tabelle 11: Angewendete Methoden sowie Modellansätze zur Schätzung des Stromverbrauchs für die RZ mit Angaben in der Erhebung (Stichprobe).

Segment	Anzahl Antwortstichprobe	Anzahl RZ/SR pro Methode (und Modellansatz) ¹					Stromverbrauch [GWh]
		1.	2.	3. + i.	3. + ii.	3. + iii.	
A	29	13	8	2	5	1	139
B	519	41	229	218	27	4	141
B*	5	5	0	0	0	0	225
C	125	0	69	50	5	1	2
Total	678	59	306	270	37	6	507

¹ Alle Verfahren gemäss Kapitel 2.2.2

Quelle: Berechnungen TEP Energy

3.3 Hochrechnung

Das Vorgehen zur Hochrechnung des Stromverbrauchs aus der Antwortstichprobe auf die gesamte Schweiz erfolgt gemäss dem in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Vorgehen. Die einzelnen Anteile für die Abschätzung des Stromverbrauchs sind in Abbildung 5 pro Segment exemplarisch illustriert. Der violette Teil betrifft den Stromverbrauch aus der Antwortstichprobe und wurde in Kapitel 3.2 abgeschätzt. In diesem Kapitel werden die Resultate der eigentlichen Hochrechnung auf die Ebene Profondiadatenbank (Kapitel 3.3.1) sowie auf die Gesamtschweiz (Kapitel 3.3.2) beschrieben.

3.3.1 Ebene Profondiadatenbank

Wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben wird für die Hochrechnung auf die Gesamtheit aller Firmen, welche für die Erhebung aus der Profondiadatenbank ausgewählt wurden, mit Regressionsmodellen gearbeitet. Für das Segment A erfolgt die Hochrechnung anhand des Modellansatzes ii., da die Nutzfläche ein wichtiger Prädiktor ist und für die meisten RZ, die Nutzfläche aus der Marktübersicht der Netzmedien (Netzmedien AG, 2020) bekannt ist. Falls die Fläche nicht bekannt ist, wird der Stromverbrauch anhand von Modell iv. geschätzt, wobei die geschätzten Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik und p-Werte in Tabelle 12 aufgeführt sind. Der Mitarbeiteranzahl kommt im Segment A eine ganz andere Bedeutung zu, wie in den Segmenten B und C. Entsprechend wurde hier ein separates Modell geschätzt.

Tabelle 12: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert für Modell iv. zur Schätzung des log(Stromverbrauch in MWh) im Segment A.

Variable	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik	p-Wert
Intercept	5.54	0.95	5.82	1.31e-05***
log(MA)	0.53	0.24	2.22	0.04e-2*
RSE: 2.00, R ² : 0.21, Adj. R ² : 0.16			*** 0.001, ** 0.01, *0.05	

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Für die Segmente B und C stehen im Gegensatz zum Segment A für die Hochrechnung auf Ebene Profondiadatenbank keine Flächenangaben zur Verfügung. Deshalb kommt das Modell v. zur Anwendung. Tabelle 13 zeigt die geschätzten Koeffizienten sowie Standardfehler, Teststatistik und p-Werte für das verwendete Modell v. Der Relation zwischen der Anzahl Mitarbeiter und dem Stromverbrauch scheint weniger stark zu sein im Vergleich zum Ansatz mit Nutzfläche/Serveranzahl als erklärende Variablen. Das zeigt sich in den tieferen Werten für das R² und dem korrigierten R². Trotzdem sind alle Variablen statistisch hoch signifikant.

Das Segment B dient als Basiskategorie für die Segmente, während die Variable „Branche Rest“ (restliche Branchen) als Basiskategorie für die Branchenzugehörigkeit dient. Der negative Koeffizient für das Segment C zeigt die deutlich tieferen Werte im Stromverbrauch verglichen mit Segment B. Mit weiteren Variablen können die Branchen identifiziert werden, die über einen höheren Strombedarf in RZ aufweisen. Dies betrifft insbesondere die Branchen Informatik (INF) mit einem 2.3-mal höheren Verbrauch bei gleicher Anzahl Mitarbeitenden, die Banken (BAN) mit einem 5-mal höheren Verbrauch sowie in der Branchengruppe Behörden/Gesundheit/Bildung (BGB) mit einem 2.7-mal höherem Stromverbrauch. Letztere beinhaltet beispielsweise Spitäler sowie auch Forschungsanstalten mit höherem Rechen- und Datenbedarf. Der im Quervergleich tiefere Wert bei der Branche INF erklärt sich durch die Heterogenität der Branche mit vielen Beratungs- und Planungsfirmen und dem Umstand, dass die Rechenzentren des Segments A eine separate Stichprobe bilden.

Tabelle 13: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert für Modell v. zur Schätzung des Log(Stromverbrauchs in MWh) der Segmente B und C.

Variable	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik	p-Wert
Intercept	0.36	0.47	0.77	0.44
log(MA)	0.65	0.09	7.44	1.24e-12***
Segment C	-1.34	0.28	-4.76	3.06e-6***
Branche BAN	1.65	0.58	2.81	5.27e-3**
Branche BGB	1.01	0.27	3.63	3.42e-4***
Branche INF	0.83	0.36	2.34	2.00e-2*
RSE: 1.79, R ² : 0.35, Adj. R ² : 0.34			*** 0.001, ** 0.01, *0.05	

Quelle: TEP Energy

Anstatt der Anzahl Mitarbeiter wurde das Modell auch anhand der Variable „Anzahl PCs“, die ebenfalls in der ProfondiDatenbank verfügbar ist, evaluiert (Resultate siehe Tabelle 23 im Anhang), wobei die Resultate in einem ähnlichen Rahmen ausfallen. Da die Anzahl Mitarbeiter auch eine gute Vergleichsgrösse zur Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT) darstellt, wird die Hochrechnung mit dem Modell in Tabelle 13 durchgeführt. Dabei werden die Grossverbraucher aus Segment B* zum Schätzen der Regressionsgleichung ausgeschlossen und auch die Hochrechnung erfolgt für dieses Segment separat.

Die Grossverbraucher aus dem Segment B (in Tabelle 11 dem Segment B* zugewiesen) stellen seltene spezielle Einzelfälle dar, die jedoch eine hohe energetische Bedeutung haben. Dies ist gut ersichtlich aus Abbildung 13, wobei die 5 grössten Verbraucher je einen Stromverbrauch von mehr als 20 GWh aufweisen und einen Anteil von ca. 60% im gesamten Segment B (inkl. B*) ausmachen. Der Regressionsansatz aus Tabelle 11 jedoch kann solchen Extremwerten bei gleichzeitig geringer Fallzahl nicht gerecht werden. Entsprechend ist für die Grossverbraucher eine Einzelfallbetrachtung notwendig. Dafür werden für die grössten Unternehmen aus der Finanz- und Versicherungsbranche, für Pharma und Spitäler, die grössten Unternehmen für TV- und Telekommunikation sowie für eine grosse Forschungseinrichtung Schätzwerte imputiert, dies gestützt auf Experteneinschätzungen und Erkenntnissen aus der Erhebung.

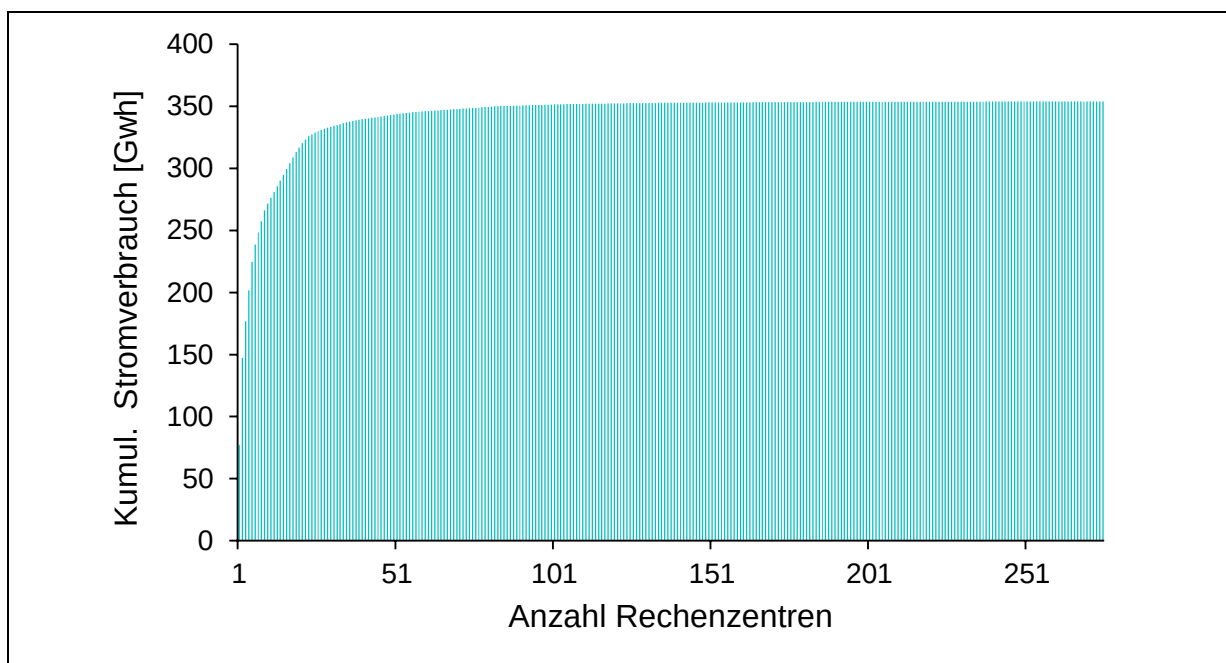


Abbildung 13: Stromverbrauch der RZ/SR aus dem Segment B, welche mittels Methode 1 oder 2 ermittelbar sind. Fünf Grossverbraucher mit mehr als 20 GWh/Jahr sind für über 60% des Stromverbrauchs verantwortlich.

Die hochgerechneten Daten auf Ebene ProfondiDatenbank (inkl. Marktübersicht Netzmedien) sind in Abbildung 14 ersichtlich. Der Gesamtstromverbrauch der RZ-Dienstleister (Segment A) sowie der Segmente B+B* beläuft sich dabei auf je über 600 resp. 700 GWh. Der Stromverbrauch für die KMU im Segment C auf knapp ca. 4.6 GWh, wobei dies lediglich den Kanton LU betrifft. Der totale Stromverbrauch, hochgerechnet auf Ebene ProfondiDatenbank und unterteilt in die Segmente A/B/B*/C in Abbildung 14, entspricht ca. 1.4 TWh.

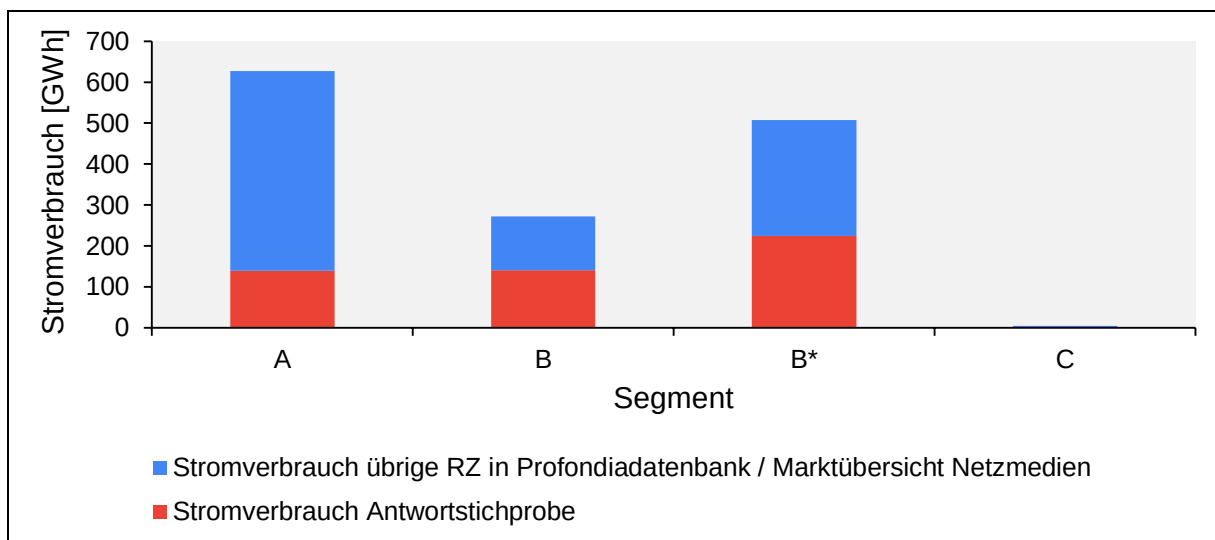


Abbildung 14: Stromverbrauch hochgerechnet für die Segmente A-C sowie für Segment B* (Grossverbraucher) auf Ebene Profondiadatenbank.

3.3.2 Ebene Gesamtschweiz

Wie bereits oben erwähnt wurde für das Segment A eine Vollerhebung angestrebt. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass einige RZ-Dienstleister nicht in der verwendeten Datengrundlage von Profondia und von Netzmedien enthalten sind. Eine kleine Anzahl RZ-Dienstleister, die potenziell nicht im Mengengerüst enthalten sind, kann jedoch einen relevanten Einfluss auf den Stromverbrauch haben. Um die Unsicherheit und insbesondere um den möglichen Einfluss einer mutmasslichen Dunkelziffer aufzuzeigen, werden für die Hochrechnung auf den Stromverbrauch in der Schweiz drei Szenarien unterschieden (Tabelle 14). Der Abdeckungsgrad der aktuellen Resultate variiert also von tief (Szenario 1) bis hoch (Szenario 3), wobei ein tiefer Abdeckungsgrad einer höheren Dunkelziffer entspricht. Diese Unsicherheit besteht auch beim Segment B* und annahmengenäss wird hier von den gleichen Szenarien ausgegangen.

Tabelle 14: Angenommene Abdeckungsgrade für die drei Szenarien für die Segmente A/B*.

Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
70%	80%	90%

Quelle: TEP Energy

Für die Segmente B und C kann ein Abgleich der Beschäftigtenzahlen der ausgewählten Segmente aus der Profondiadatenbank mit der Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT) Aufschluss darüber geben, welcher Anteil noch nicht berücksichtigt ist. Ein Vergleich, differenziert nach Grössenklassen für Anzahl Beschäftigte und Anzahl Arbeitsstätten, ist in Tabelle 15 und in Tabelle 16 dargestellt. Für das Segment C wurden lediglich Unternehmen aus dem Kanton Luzern befragt, entsprechend sind die STATENT-Daten sowohl auf Ebene Schweiz als auch für den Kanton LU dargestellt.

Tabelle 15: Anzahl Beschäftigte pro Grössenklasse der Arbeitsstätte in STATENT (STATENT, 2018) sowie in der Profondia-datenbank (Profondia AG, 2020a)

Beschäftigte pro Grössenklasse	Beschäftigte pro Grössenklasse auf Ebene STATENT		Beschäftigte pro Segment und Grössenklasse auf Ebene Profondiadatenbank		
	CH	LU	B	B*	C
1-9	1'406'129	68'907	140	0	30
10-49	1'507'913	74'437	10'221	0	7'098
50-249	1'358'584	68'399	126'102	120	27'902
>=250	977'332	42'113	590'466	121'148	11'072
Total	5'249'958	253'856	726'929	121'268	46'102

Quelle: STATENT, Profondia, TEP Energy

Tabelle 16: Anzahl Arbeitsstätten pro Grössenklasse in STATENT (STATENT, 2018) sowie in der Profondiadatenbank (Profondia AG, 2020a).

Arbeitsstätten pro Grössenklasse	Arbeitsstätten pro Grössenklasse auf Ebene STATENT		Arbeitsstätten pro Segment und Grössenklasse auf Ebene Profondiadatenbank		
	CH	LU	B	B*	C
1-9	594'245	27'665	24	0	4
10-49	76'977	3'808	342	0	218
50-249	14'045	701	1'030	1	298
>=250	1'755	81	730	12	23
Total	687'022	32'255	2'126	13	543

Quelle: STATENT, Profondia, TEP Energy

Geht man von einem physischen Server pro 30 Mitarbeitende aus (Erfahrungswert aus der Profondiadatenbank), zeigt sich, dass das Segment B insbesondere die grossen Unternehmen mit mehr als 250 Beschäftigten betrifft. Der Abdeckungsgrad der Profondiadatenbank beläuft sich in dieser Grössenklasse folglich auf knapp 75% und es kann davon ausgegangen werden, dass der Abdeckungsgrad bei den kleineren Unternehmen stark abnimmt. Da hier eine gewisse Unsicherheit besteht, wird der Abdeckungsgrad erneut von tief (Szenario 1) bis hoch (Szenario 3) variiert, dargestellt in Tabelle 17.

Tabelle 17: Szenarien mit unterschiedlichem Abdeckungsgrad der Profondiadatenbank bzgl. dem Segment B bezogen auf die gesamte Schweiz.

Grössenklasse	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
1-9	5%	15%	45%
10-49	25%	35%	55%
50-249	50%	55%	65%
>=250	75%	75%	75%

Quelle: TEP Energy

Im Segment C wird für jede Grössenklasse anhand des Modells in Tabelle 24 (siehe Anhang) der Stromverbrauch geschätzt und mit dem Mengengerüst „Anzahl Arbeitsstätten“ verknüpft. Das Mengengerüst der Arbeitsstätten beinhaltet jedoch nur jene Unternehmen, welche nicht bereits in den Segmenten A, B oder B* berücksichtigt wurden. Dabei besteht eine Unsicherheit zur Anzahl Unternehmen, welche über keinen eigenen Serverraum verfügen. In der Erhebung geben 77% an, über einen eigenen Serverraum zu verfügen. Zum Aufzeigen der Unsicherheit wird dieser Faktor für die Szenarien 1 (87%) und 3 (67%) um $\pm 10\%$ variiert.

Stromverbrauch Schweiz

Abbildung 15 zeigt den finalen, hochgerechneten Stromverbrauch für Serverräume und Rechenzentren in der Schweiz differenziert nach Segmenten und bzgl. der Szenarien 1-3. Der Stromverbrauch für das Segment A variiert je nach Dunkelziffer zwischen knapp 700 GWh (Szenario 3) und knapp 900 GWh (Szenario 1). Die beiden Segmente B und B* tragen zusammen zu etwa 1075 GWh (Szenario 2) Stromverbrauch bei, wobei der Wert je nach Szenario zwischen 960 GWh und 1220 GWh variiert. Der hochgerechnete Bedarf im Segment C auf die Schweiz beläuft sich auf rund 227 GWh.

Der Stromverbrauch über alle Segmente bewegt sich entsprechend zwischen 1.85 TWh und 2.37 TWh, wobei das mittlere Szenario einen Stromverbrauch von ca. 2.09 TWh aufweist, was rund 3.6% des Schweizer Stromverbrauchs im Jahr 2019 (57.2 TWh ohne Übertragungs- und Verteilverluste) entspricht. Im nächsten Kapitel soll näher auf das Energieeffizienzpotenzial eingegangen werden.

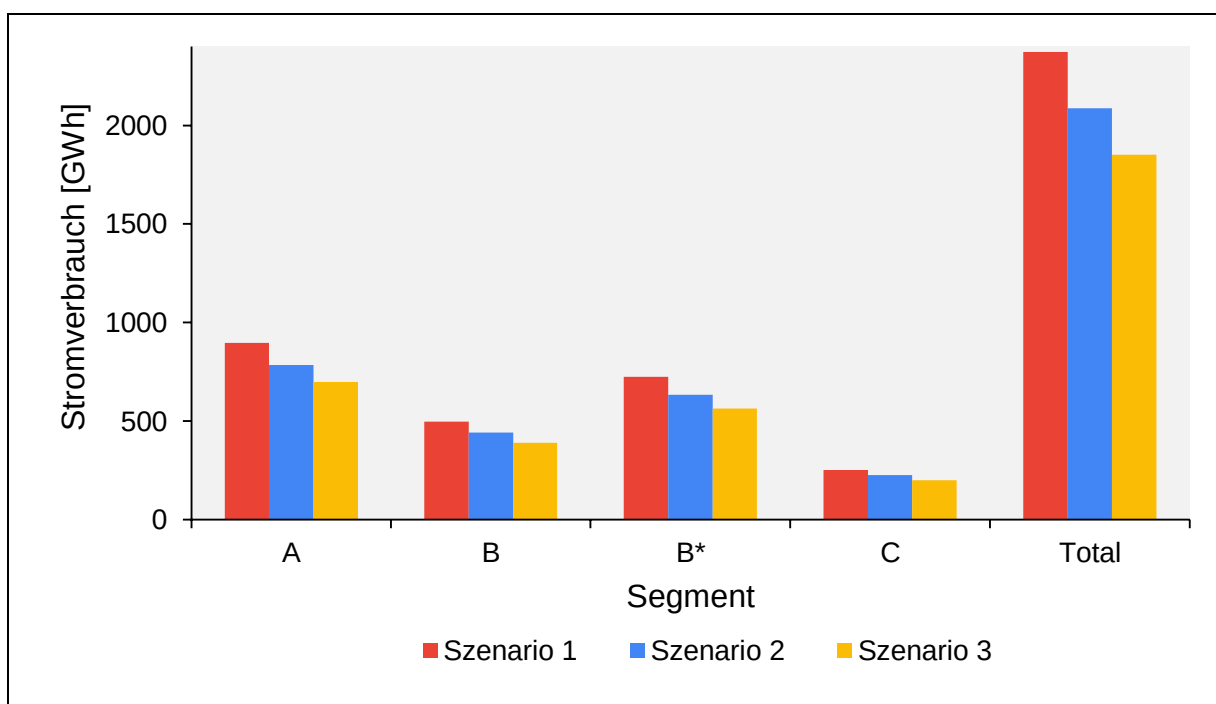


Abbildung 15: Stromverbrauch in GWh auf Ebene Schweiz differenziert nach Segmenten und Szenarien. Für Werte siehe Tabelle 25 im Anhang.

4 Heutige Energieeffizienz und verbleibende Energieeffizienzpotenziale

Das Kapitel zu den Energieeffizienzpotenzialen enthält einleitend die wichtigsten Grössen, welche zur Abschätzung der heutigen Energieeffizienz erhoben wurden (Kap. 4.1). Im selben Kap. wird die Energieeffizienz mit quantitativen Indikatoren charakterisiert, wobei in beiden Fällen zwischen der RZ- und der IT-Infrastruktur unterschieden wird. Anschliessend werden die verbleibenden Energieeffizienzpotenziale für beide Bereiche (Kap. 4.2) erläutert, wonach eine Analyse zum Gesamtenergieeffizienzpotenzial in Schweizer RZ/SR in Kap 4.3 erfolgt.

4.1 Heutige Energieeffizienz

Die Energieeffizienz lässt sich zum einen anhand der erhobenen Energieeffizienzmassnahmen charakterisieren (Kap. 4.1.1). Zum anderen steht mit dem PUE ein quantitatives Mass für die Energieeffizienz der Infrastruktur eines Rechenzentrums zur Verfügung (Kap. 4.1.2). Kap. 4.1.3 beinhaltet die analogen Themen zur IT-Infrastruktur.

4.1.1 Umgesetzte Effizienzmassnahmen im Bereich RZ-Infrastruktur

Bei den bereits umgesetzten Energieeffizienzmassnahmen zeigt sich, dass eine getrennte Betrachtung der Segmente von Wichtigkeit ist. Bei RZ-Dienstleistern werden vollumfängliche Energieeffizienzmassnahmen deutlich öfters umgesetzt (vgl. Abbildung 16). Insbesondere energetisch besonders relevante Massnahmen wie die Trennung der Kalt- und Warmgänge oder die Einhausung der Serverracks, die Anhebung der Systemtemperaturen, die variable Regelung der Luftmengen und die Nutzung von Free-Cooling wurden im Segment A vielerorts bereits angewendet.

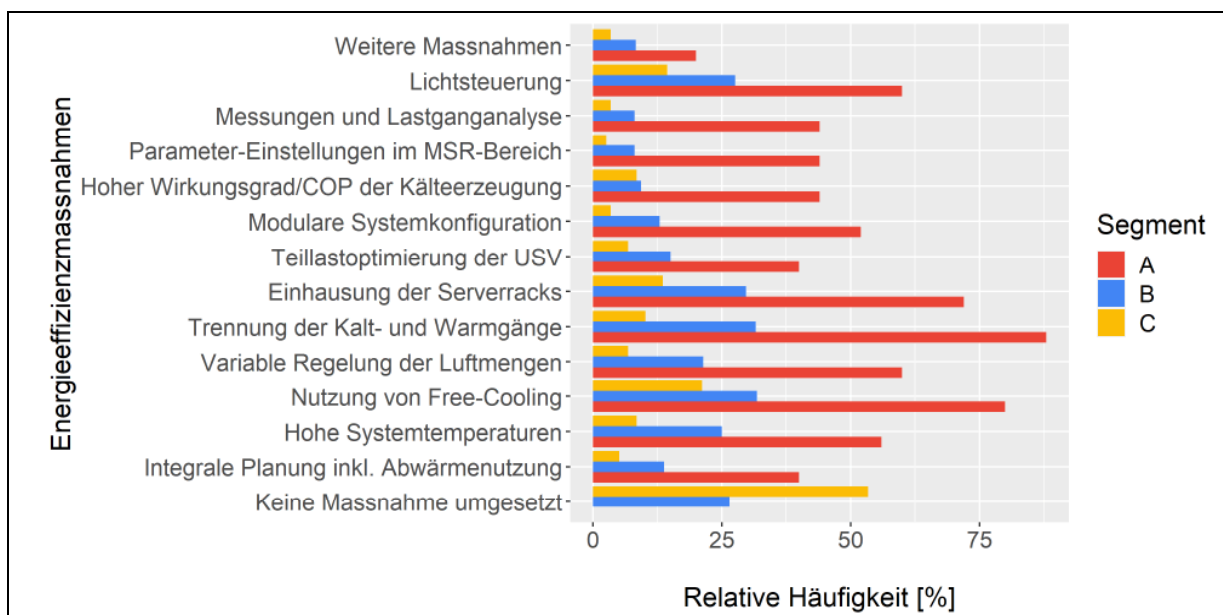


Abbildung 16: Bereits umgesetzte Energieeffizienzmassnahmen für die Segmente A, B und C (Mehrfachnennungen möglich). Anzahl Antworten: n = 615 (A:25, B:472, C:118).

Auf der anderen Seite beläuft sich die Anzahl von RZ, in welchen bis anhin keine der genannten Massnahmen umgesetzt wurde, beim Segment B auf gut 25%, beim Segment C hingegen auf über 50%, während bei den RZ-Dienstleistern keine Rückmeldung diesbezüglich einging.

Abbildung 17 illustriert die Art der Kühlung in den RZ/SR für die drei Segmente. Die beiden Segmente B und C zeigen sehr ähnliche Verteilungen; in beiden Segmenten erfolgt die Kühlung in mehr als der Hälfte der Fälle ausschliesslich mit Kältemaschine. Im Segment C gibt ein grösserer Anteil (knapp 20%) an, die Serverräume nicht zu kühlen. Die RZ-Dienstleister zeigen ein ziemlich anderes Bild, wo doch grossmehrheitlich, ganz oder teilweise Free-Cooling eingesetzt wird.

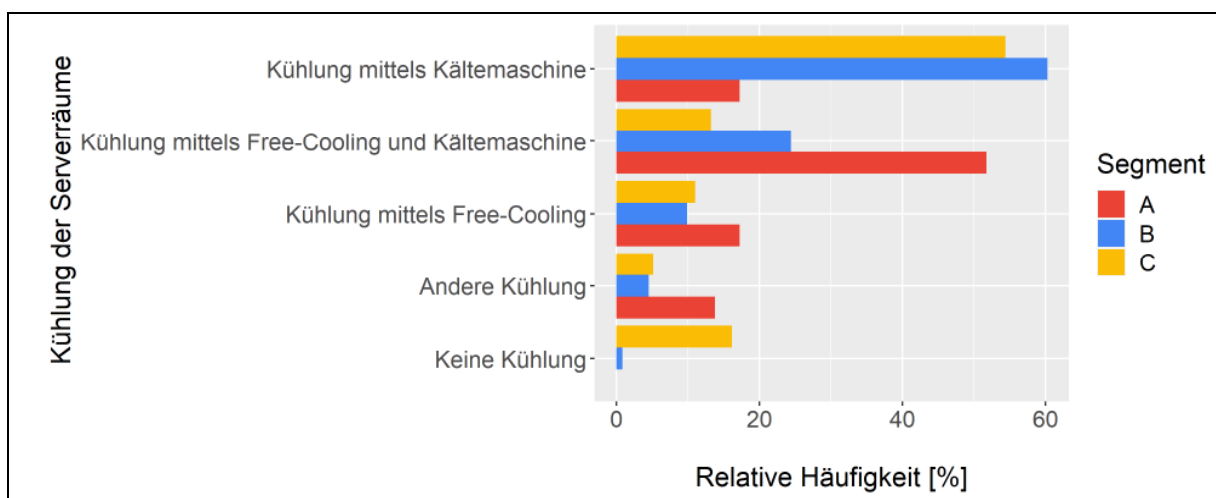


Abbildung 17: Kühlung der RZ/SR in den Segmenten A, B und C. Zu dieser Frage sind n = 739 Antworten eingegangen (A:29, B:574, C:136).

Eine weitere Effizienzmassnahme ist das Anheben der Systemraumtemperatur. Diese ist besonders wichtig im Hinblick auf den Einsatz von Free-Cooling, weil damit die Anzahl Stunden, die einen Einsatz der Kältemaschine erfordert, deutlich reduziert werden kann. Auch für die Nutzung von Abwärme sind hohe Systemraumtemperaturen ein grosser Vorteil.

Die Verteilung der Systemraumtemperaturen am Eintritt der Server in den Segmenten A und B ist in Abbildung 18 dargestellt. Bei den RZ-Dienstleistern werden bereits deutlich höhere Systemraumtemperaturen akzeptiert, insgesamt geben knapp 25% an, die RZ mit Systemraumtemperaturen von mehr als 26°C zu betreiben. Trotzdem wird auch im Segment A immer noch der grösste Teil der Rechenzentren mit Systemraumtemperaturen zwischen 20°C und 26°C betrieben.

Eine weitere Möglichkeit für einen energieeffizienteren Betrieb der RZ bietet die Abwärmennutzung. In knapp 60% der RZ im Segment A und rund 80% der RZ/SR im Segment B wird keine Abwärme genutzt (siehe Abbildung 51 im Anhang), entsprechend ist auch hier ein erhebliches Potenzial vorhanden. Die Abwärme kann beispielsweise in angrenzenden Bürogebäuden genutzt werden oder in Fernwärmenetze eingespeist werden. Bei der Planung von thermischen Netzen ist insbesondere die Zusammenarbeit mit den Gemeinden wichtig.

Bzgl. Abwärmennutzung ergibt sich jedoch ein Trade-off mit dem Free-Cooling. Falls ein Wärmebedarf im Gebäude besteht (z.B. in den Wintermonaten), sollte die Abwärme genutzt werden, was die Nutzungsdauer des Free-Coolings und damit dessen Wirtschaftlichkeit verringert.

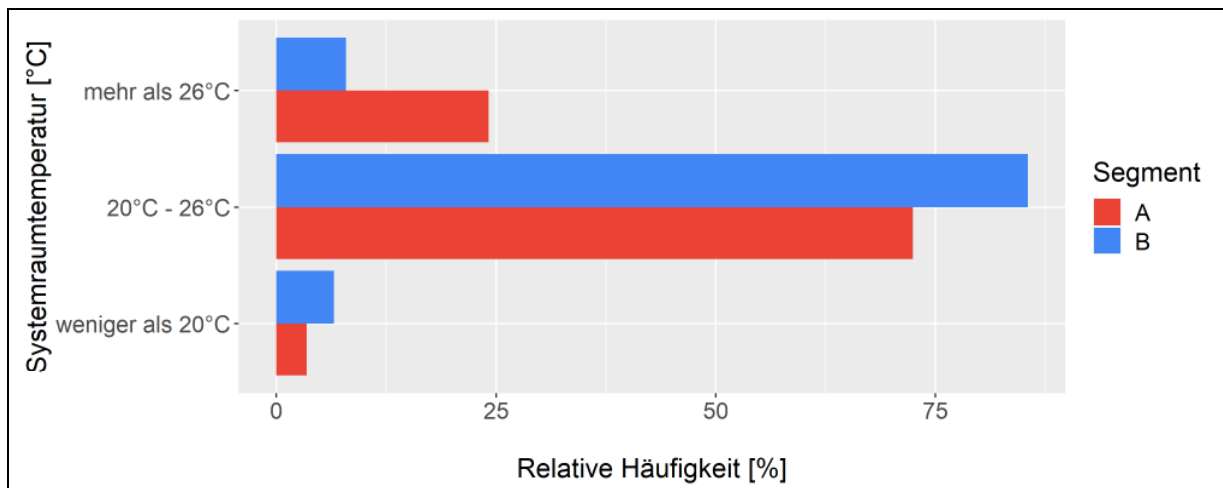


Abbildung 18: Systemraumtemperatur am Eintritt der Server in den Segmenten A und B. Zu dieser Frage sind n = 546 Antworten eingegangen (A:29, B:517).

Weitere deskriptive Statistiken zu den infrastrukturseitigen Energieeffizienzmassnahmen sind im Anhang zu finden (Abbildung 34 bis Abbildung 36).

4.1.2 PUE: quantitativer Koeffizient zur Charakterisierung der Energieeffizienz

Direkte Angabe des PUE

Als weitere wichtige Effizienzgrösse wurde der PUE erhoben. Dieser Wert stellt ein Mass für die infrastrukturseitige Energieeffizienz eines Rechenzentrums dar und hat sich über die letzten Jahre als anerkannte Kennzahl etabliert. PUE steht für Power Usage Effectiveness und beschreibt das Verhältnis zwischen der insgesamt verbrauchten Energie (IT- und RZ-Infrastruktur) und der speziell für die IT verbrauchte Energie. Je weiter sich der Quotient 1 annähert, desto kleiner wird der Anteil der Infrastruktur am Gesamtstromverbrauch und umso energieeffizienter ist das Rechenzentrum, was deren Infrastruktur betrifft.

Die Frage nach dem PUE wurde lediglich in den Segmenten A und B gestellt. Die Resultate in Abbildung 19 zeigen, dass die meisten Rechenzentren von Dienstleistern (Segment A) mit einem PUE zwischen 1.2 und 1.5 betrieben werden. Verglichen zu früheren Studien zeigt sich hier bereits eine starke Verbesserung in der Energieeffizienz: für das Jahr 2013 wurde für dieses Segment von einem PUE von 1.4 bis 1.8 (Best guess 1.6) ausgegangen (Altenburger et al. (2014)). Auch die später präsentierten Resultate zu den umgesetzten Energieeffizienzmassnahmen zeigen, dass sich in den letzten Jahren einiges getan hat. Für firmeninterne RZ zeigt sich eine ähnliche Verteilung der Antworten, wobei der Anteil an sehr energieeffizienten RZ (PUE < 1.2) leicht kleiner ausfällt. Zum Vergleich: Altenburger et al. (2014) gingen für interne RZ von einem PUE zwischen 1.4 und 2.1 (Best guess 1.82) aus.

Auffallend ist der grosse Anteil an firmeninternen RZ oder SR, bei denen der PUE nicht bekannt ist bzw. keine Angaben dazu gemacht wurden. Die Gründe dafür können vielfältig sein. Zum einen mag bei den RZ die Wahrnehmung bestehen werden, dass es rein technisch nicht ganz einfach sei, den PUE-Wert korrekt zu messen, zum anderen kann auch der Anreiz für die Kommunikation des PUE tief sein.

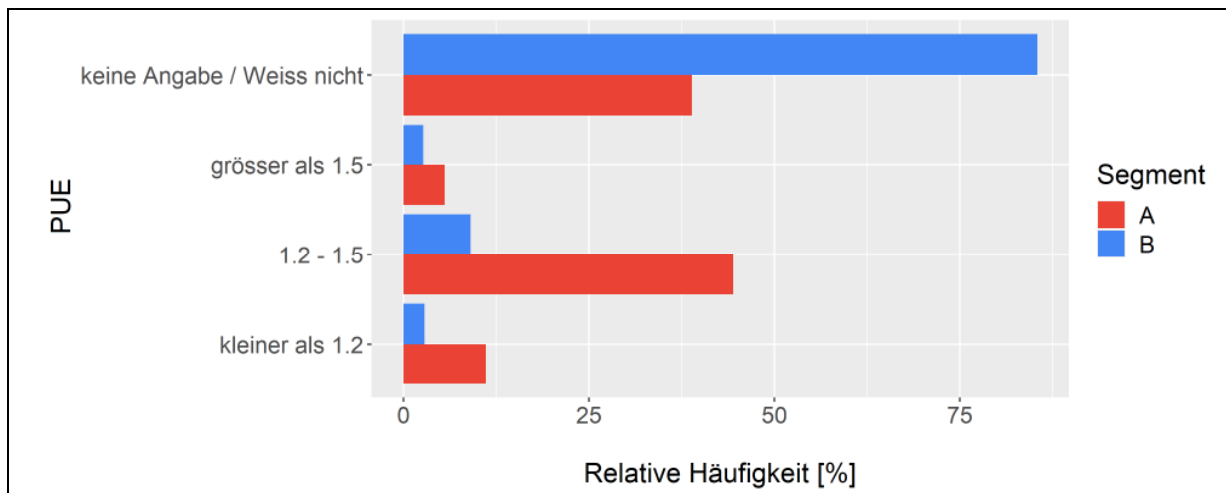


Abbildung 19: PUE-Werte für die beiden Segmente A und B. $n = 114$ (A:22, B:92) haben einen PUE angegeben. 553 Teilnehmer kennen den PUE nicht oder haben ihn nicht angegeben.

Abbildung 20 illustriert die PUE-Werte differenziert nach Serveranzahl pro RZ/SR. Betrachtet man nur die RZ, die eine Angabe machten, zeigen die kleineren RZ/SR interessanterweise nicht unbedingt höhere PUE-Werte als die grossen RZ mit mehr als 500 Servern. Dies mag im ersten Moment überraschen, kann sich jedoch durch den Umstand erklären, dass viele der kleineren Serverräume noch ohne Kältemaschine betrieben werden oder bei der Wegführung der Wärme nur kurze Wege zu bewältigen sind. Dies kann eine Erklärung sein für die teilweise hohe Energieeffizienz bei den kleineren Serverräumen.

Zudem zeigt die Abbildung, dass die Kenntnis über den PUE stark von der Serveranzahl und damit von der RZ-Grösse abhängig ist. Es sind vorwiegend die kleineren und mittleren SR/RZ, für die der PUE-Wert nicht angegeben wurde.

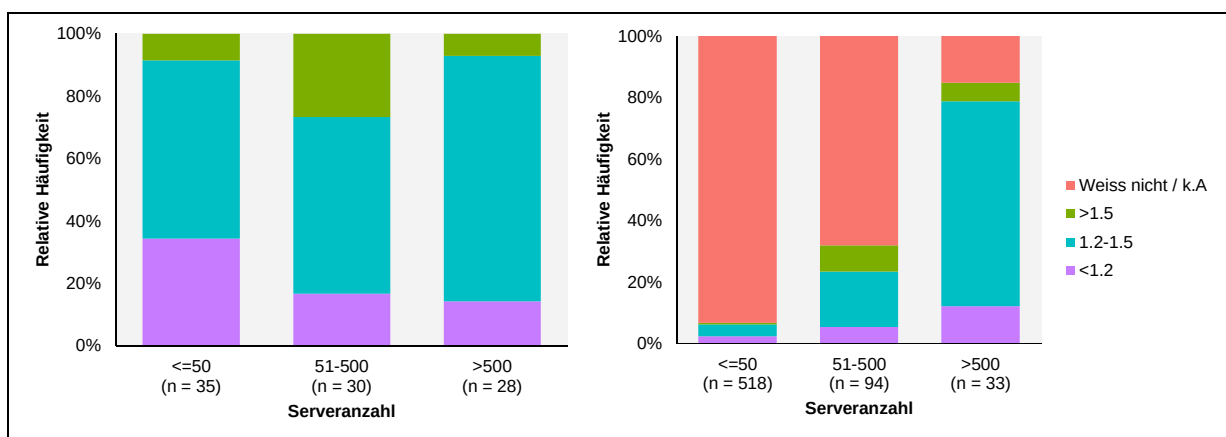


Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung der PUE-Klassen im Vergleich zur Serveranzahl (links: Rückmeldung mit Angabe PUE, rechts: Rückmeldung inkl. nicht bekannter bzw. nicht angegebener PUE)

Indirekte Bestimmung des PUE

Viele Teilnehmer haben zwar Fragen zu den Effizienzmassnahmen beantwortet, aber den PUE nicht angegeben. Deshalb soll der PUE gemäss dem in Kapitel 2.3 beschriebenen Verfahren für die einzelnen RZ abgeschätzt werden. Um einen Vergleich mit den angegebenen PUE-Werten aus der Erhebung zu ermöglichen, werden die folgenden Szenarien in Bezug auf

die Imputation fehlender Daten unterschieden, um damit den PUE abzuschätzen, wobei für die Berechnung des PUE die Faktoren aus Abbildung 30 wie folgt verwendet werden:

1. Median der Antwort (Median): Im Szenario Median wird bei fehlenden Daten der Median aus den erhaltenen Antworten eingesetzt. Aufgrund der sehr hohen Anzahl an RZ, die keine Angaben zum PUE machten und mit Verweis auf die PUE-Angabe als Funktion der durchgeführten Massnahmen (siehe Abbildung 22) ist davon auszugehen, dass der Medianwert im Vergleich zur Grundgesamtheit verzerrt ist.
2. Normalfall gemäss Abbildung 32 (Normalfall): fehlende Antworten werden mit den blau markierten Werten aus Abbildung 32 ersetzt. Normalfall gemäss früheren Beobachtungen und Expertenwissen.
3. Worst case gemäss Abbildung 32 (Worst case): fehlende Antworten werden mit den rot markierten Werten aus Abbildung 32 ersetzt. Dies entspricht dem hypothetischen Fall, dass diese RZ noch keine Massnahmen umgesetzt haben.
4. Best case gemäss Abbildung 32 (Best case): werden fehlende Antworten mit den grün markierten Werten aus Abbildung 32 ersetzt. Dies entspricht einem RZ, dass bereits viele Massnahmen umgesetzt hat und folglich bereits einen tieferen PUE ausweisen kann.

Abbildung 21 zeigt die Verteilung der PUE-Daten aus der Erhebung für die beiden Segmente A und B. Zusätzlich sind die basierend auf den angegebenen Energieeffizienzmassnahmen ermittelten PUE-Werte für die vier Szenarien abgebildet.

Für das Segment A sind die Unterschiede zwischen den Szenarien nicht sehr gross, da die Fragen sehr vollständig beantwortet wurden. Das Szenario „Best case“ trifft die in der Erhebung angegebenen PUE-Werte am besten. Für die folgende Abschätzung des Energieeffizienzpotenzials wird dieses Szenario als „Best guess“ genommen. Dies deckt sich auch mit den Angaben in Abbildung 16, aus der ersichtlich ist, dass im Segment A schon sehr viele Energieeffizienzmassnahmen umgesetzt wurden.

Im Segment B sind die Diskrepanzen zwischen den mit den Szenarien ermittelten PUE-Werten und den PUE-Werten aus der Erhebung grösser. Zu berücksichtigen ist, dass im Segment B deutlich weniger Energieeffizienzmassnahmen (vgl. Abbildung 16) umgesetzt wurden im Vergleich zum Segment A und dass im Gegensatz dazu die in der Erhebung direkt angegebenen PUE-Werte für die beiden Segmente sehr ähnlich sind. Folglich kann davon ausgegangen werden, dass für die vielen Antwortenden im Segment B, welche nicht über den PUE Bescheid wussten bzw. keine Angabe dazu machten, tendenziell eher höhere Werte zu erwarten sind.

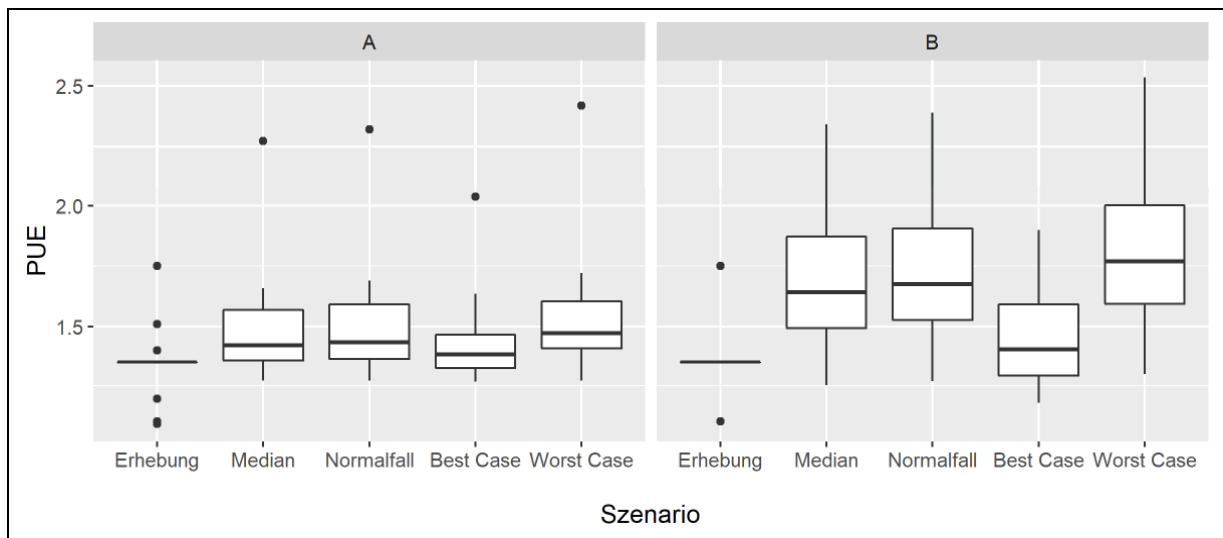


Abbildung 21: Ermittelter PUE aus Erhebung sowie für vier Datenimputations-Szenarien für die Segmente A (n = 22) und B (n = 92).

Dies bestätigt sich durch eine weitere Differenzierung in RZ mit PUE-Angabe und solche ohne PUE-Angabe (Abbildung 22). RZ mit PUE-Angabe sind mit dem Thema Energieeffizienz besser vertraut und weisen bei allen Massnahmenkategorien deutlich höhere Umsetzungsanteile auf. Um diesen Umständen gerecht zu werden, wird für die Abschätzung des Energieeffizienzpotenzials das Szenario „Normalfall“ als „Best guess“ genommen.

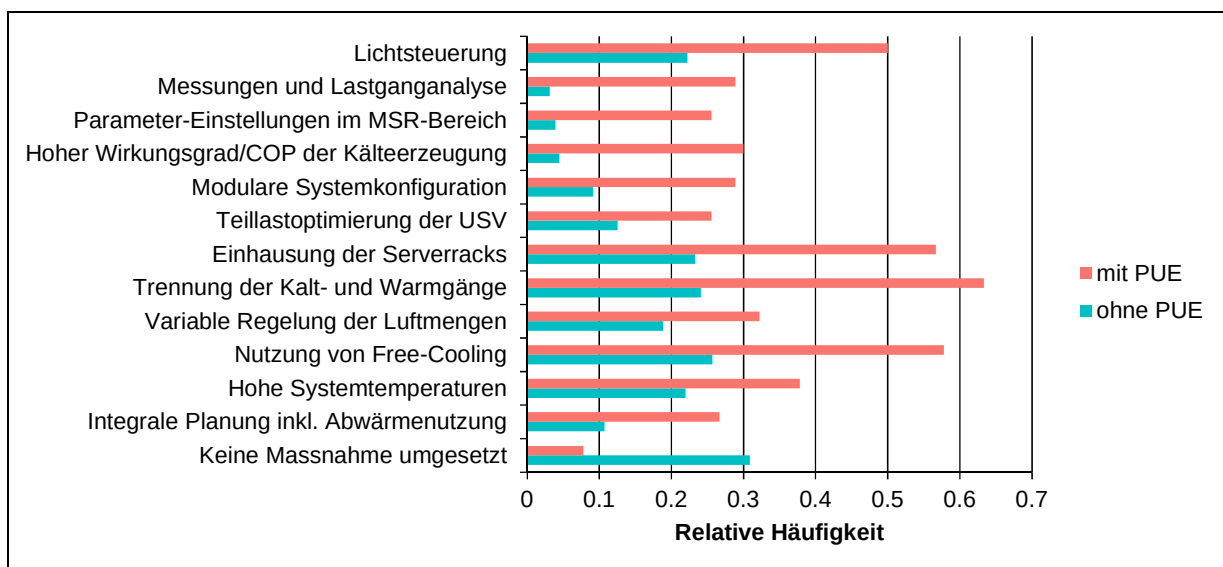


Abbildung 22: Umgesetzte Energieeffizienzmassnahmen im Segment B für RZ mit bzw. ohne PUE-Angabe.

4.1.3 Umgesetzte Effizienzmassnahmen im Bereich IT-Infrastruktur

Bei den IT-seitigen Effizienzmassnahmen wurde im Rahmen der Online-Erhebung ein vereinfachter Ansatz verfolgt, der folgenden Bereiche abdeckt: zum einen den Auslastungsgrad (vgl. Abbildung 24) und zum anderen die eingesetzten Speichertechnologien sowie Backup-Systeme (Abbildung 23). Aus erhebungstechnischen Gründen nicht abgefragt wurden weitere Potenziale durch effiziente Komponenten (z.B. Bereich Netzwerk, interne Power supplies) oder RZ-Design.

- Bezüglich Speichertechnologien machen HDD-Speicher zwar den grössten Anteil aus, aber SSD-Speicher sind bereits weit verbreitet. Der durchschnittliche Anteil an SSD/Flash beträgt im Segment A rund 60%, im Segment B 50%.
- Bei den Backup-Systemen sind Disk-basierte Backup-Systeme am weitesten verbreitet. Rund ein Viertel der RZ arbeitet sogar ausschliesslich mit Disk Backup. Obwohl die Band Backup Technologie seit vielen Jahrzehnten verfügbar ist, wird diese Technologie auch heute noch genutzt und sie erhält im Hinblick auf die Steigerung der Energieeffizienz eine neue Bedeutung. Auch bei den Backup-System sind die Unterschiede zwischen den Segmenten A und B überschaubar. Der Anteil an Disk Backup im Segment A (85%) rund 15% höher als im Segment B (70%).

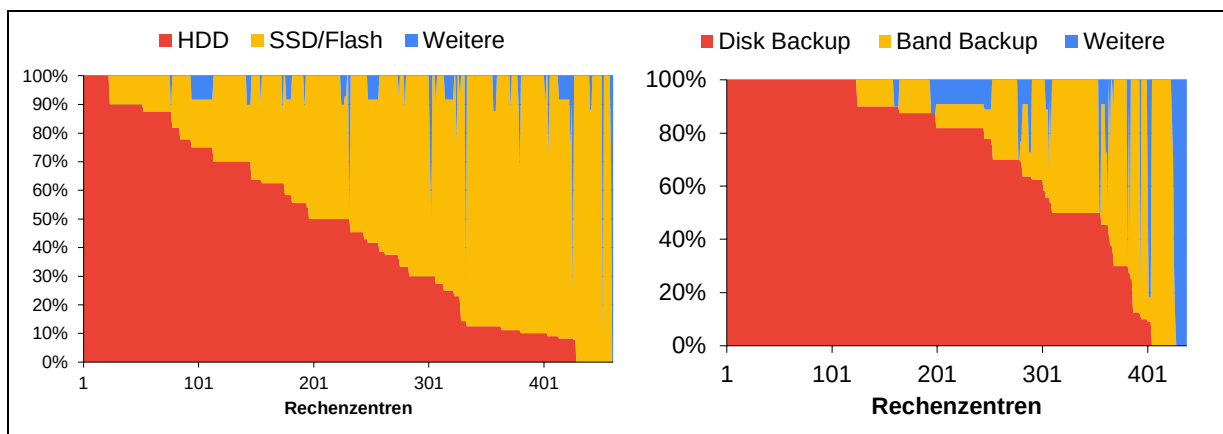


Abbildung 23: Verteilung Speichertechnologien (links) und Backup-Systeme (rechts) in den einzelnen RZ (x-Achse) für die Segmente A und B.

Ein wichtiger Indikator für die Energieeffizienz eines RZ ist die Auslastung der IT. Je höher diese ist, desto effizienter kann in der Regel ein RZ eine bestimmte IT-Dienstleistung erbringen. Bei einer hohen Auslastung erbringen weniger IT-Komponenten eine bestimmte IT-Dienstleistung als bei einer tiefen IT-Auslastung, bei der viele Komponenten zum Einsatz kommen. Bei einer tiefen Auslastung, fällt eine nicht zu vernachlässigende elektrische Grundlast mit an (Puntsagdash et al., 2015).

Bezüglich IT-Auslastung ist ebenfalls ein Unterschied zwischen den Segmenten erkennbar (siehe Abbildung 24). Fast 60% der Teilnehmenden mit firmeninternem RZ geben an, keine Kenntnis über die Auslastung zu haben, wobei dieser Anteil bei den RZ-Dienstleistern dreimal kleiner ist. Die RZ von Dienstleistern werden deutlich effizienter betrieben, wobei fast 30% der RZ im Segment A mit einer Auslastung von mehr als 60% betrieben werden.

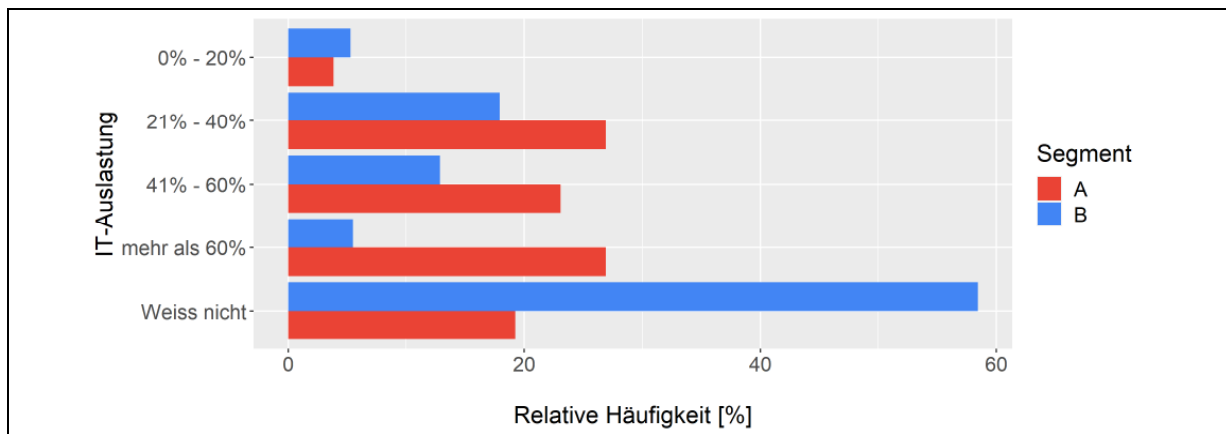


Abbildung 24: Mittlere elektrizitätsbezogene Auslastung der IT-Komponenten (Server, Storage, Network) für die beiden Segmente A und B. Die Anzahl Antworten beträgt n = 500 (A:26, B:474).

Ähnlich dem Verfahren für die infrastrukturseitigen Komponenten wird auch das Energieeffizienzpotenzial für den IT-seitigen Systembereich abgeschätzt. Die Basis dafür sind Angaben aus der Erhebung bzgl. Speichertechnologien, Backupsystemen (Abbildung 23) sowie Auslastungsgrad der IT-seitigen Komponenten (Abbildung 24).

Wie auch für die Infrastrukturseite werden, um möglichst den Informationsgehalt der beantworteten Fragen zu nutzen, fehlende Daten imputiert. Dazu werden erneut die vier verschiedenen Szenarien, analog zum Kap. 4.1.2, genutzt. Damit lassen sich Aussagen darüber treffen, in welchen Bereich das Energieeffizienzpotenzial derer fallen könnte, welche gewisse Fragen nicht beantwortet haben. Für jedes RZ ergibt sich aus den Faktoren gemäss Abbildung 33 ein IT-Effizienzfaktor, der sich je nach umgesetzten Massnahmen und Szenario zwischen 0.5 (sehr effizient) und 1 (nicht effizient) bewegt (siehe Abbildung 25). Als «Best guess» wird hier das Normalfall-Szenario angenommen. Insgesamt ist die Unsicherheit hier grösser als beim PUE, da ein Teil der EE-Massnahmen nicht abgefragt wurden. Die mögliche Auswirkung dieser Unsicherheit wird durch die Szenarien aufgezeigt.



Abbildung 25: Verteilung IT-Effizienzfaktoren für verschiedene Szenarien und pro Segment A (links) und B (rechts).

4.2 Verbleibende Energieeffizienzpotenziale

Abbildung 26 zeigt schematisch die Energieeffizienz eines RZ in Abhängigkeit vom PUE und vom IT-Effizienzfaktor. Zu diesem Zweck wird ein «Zielwert» definiert, welcher das in der Praxis realisierbare Effizienzpotenzial darstellt.

- Das theoretische infrastrukturseitige Energieeffizienzpotenzial wird durch die schwarz umstrichelte Fläche dargestellt, das realisierbare infrastrukturseitige Energieeffizienzpotenzial durch die blau umstrichelte Fläche dargestellt. Letztere illustriert die Reduktion des PUE vom Ist-Wert zum möglichen Zielwert, der je nach Segment unterschiedlich ist (siehe Kap. 4.2.1).
- Das direkt realisierbare IT-seitige Energieeffizienzpotenzial, welches durch die Reduktion des IT-Effizienzfaktors (siehe Kap. 4.2.1) ausgeschöpft werden kann, wird durch die grün umstrichelte Fläche charakterisiert. Der IT-Effizienzfaktor quantifiziert die IT-seitige Energieeffizienz und bewegt sich zwischen 0.5 (sehr effizient) und 1 (nicht effizient). Der indirekte Effekt von IT-seitigen Massnahmen beinhaltet zusätzlich die dunkelgrün und die violett eingefärbte Fläche (bei Annahme eines gleichbleibenden PUE).
- Wenn sowohl RZ-Infrastruktur und IT-seitige Massnahmen umgesetzt werden, sind Doppelzählungen zu berücksichtigen (violett und dunkelgrün eingefärbte Flächen).

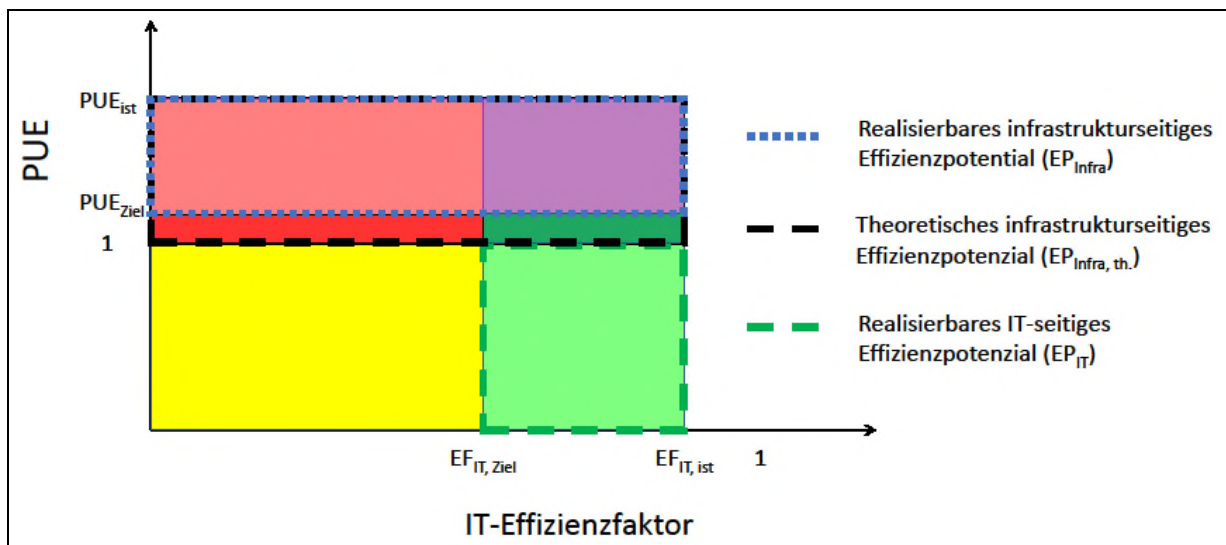


Abbildung 26: Schematische Darstellung der IT- und infrastrukturseitigen Effizienzpotenziale.

4.2.1 Verbleibende Energieeffizienzpotenziale im Bereich RZ-Infrastruktur

Die Abschätzung des verbleibenden infrastrukturseitigen Energieeffizienzpotenzials wird durch folgenden Ansatz bestimmt:

$$EP_{infra} = \frac{PUE_{ist} - PUE_{Ziel}}{PUE_{ist}} \cdot E_{total}$$

wobei

PUE_{ist} Aktueller PUE

PUE_{Ziel} Anzustrebender, realistisch erreichbarer PUE (A: 1.15, B: 1.2)

E_{total} Totaler Stromverbrauch RZ

Für ein RZ das alle infrastrukturseitigen investiven und betrieblichen Massnahmen umgesetzt und Komponenten nach dem besten Stand der Technik verwendet, ergibt sich gemäss dem in Kap. 2.3.1 erläuterten Ansatz und gemäss den in Abbildung 32 im Anhang aufgeführten Faktoren ein PUE von 1.13:

$$1+0.64*(0.5*0.15*0.1+0.15*0.15*0.1+0.2*0.7*0.86+0.15*0.5) = 1.13$$

Für die Abschätzung des verbleibenden realistischerweise erreichbaren Energieeffizienzpotenzials nehmen wir gestützt auf unsere Fachkenntnis und langjährige Erfahrung an, dass bei bestem Stand der Technik sowie unter Berücksichtigung sämtlicher Energieeffizienzmassnahmen und unter Berücksichtigung von Kostenüberlegungen ein PUE von 1.15 für das Segment A sowie ein PUE von 1.2 für RZ/SR im Segment B möglich ist.

Daraus ableitend ergeben sich bezogen auf den Stromverbrauch je nach Szenario verschiedene Effizienzpotenziale, welche in Tabelle 18 dargestellt sind. Wichtiger Hinweis: die in Tabelle 18 dargestellten Effizienzpotenziale wirken auf den Gesamtstromverbrauch und repräsentieren das realisierbare infrastrukturseitige Effizienzpotenzial, siehe blau umrundete Fläche in Abbildung 26. Wenn als Bezugsgrösse für 100% nur der Infrastrukturteil des Stromverbrauchs verwendet würde, wären die Effizienzpotenziale prozentual deutlich höher, wie sich durch eine einfache Umrechnung erschliessen lässt.

Tabelle 18: Effizienzpotenziale bezogen auf den aktuellen Stromverbrauch für die Segmente A, B, B* differenziert nach Szenario. Fett hervorgehoben der Best guess (Normalfall für B/B*, Best case für A).

Segment	Median	Normalfall	Worst case	Best case
A	20%	21%	24%	15%
B	21%	21%	24%	13%
B*	23%	23%	23%	23%

Quelle: TEP Energy, HSLU

Die Ergebnisse in Abbildung 16 zeigen, dass im Segment C deutlich weniger Massnahmen umgesetzt wurden als in Segment B. Um diesen Umständen gerecht zu werden, wird für das Effizienzpotenzial im Segment C ein um 25% höherer Wert wie im Segment B (vgl. Tabelle 18) angenommen.

Hochgerechnet auf den in Abbildung 15 dargestellten Stromverbrauch (Annahme Szenario 2 mit mittleren Abdeckungsgrad) ergeben sich je nach Szenario und Segment unterschiedliche infrastrukturseitige Energieeffizienzpotenziale zwischen 350 GWh und rund 500 GWh (Abbildung 27). Die „Best guess“ Variante ist in der Grafik hervorgehoben und ergibt ein totales Energieeffizienzpotenzial von ca. 408 GWh. Der untere Wert des Schätzbereichs des Potenzials beträgt 350 GWh (Best case: bereits mehr Effizienzmassnahmen umgesetzt) und der obere Bereich 504 GWh (Worst case: noch wenig Effizienzmassnahmen umgesetzt).

Das totale infrastrukturseitige Energieeffizienzpotenzial von 408 GWh des Best guess entspricht rund 20% des gesamten Stromverbrauchs der RZ.

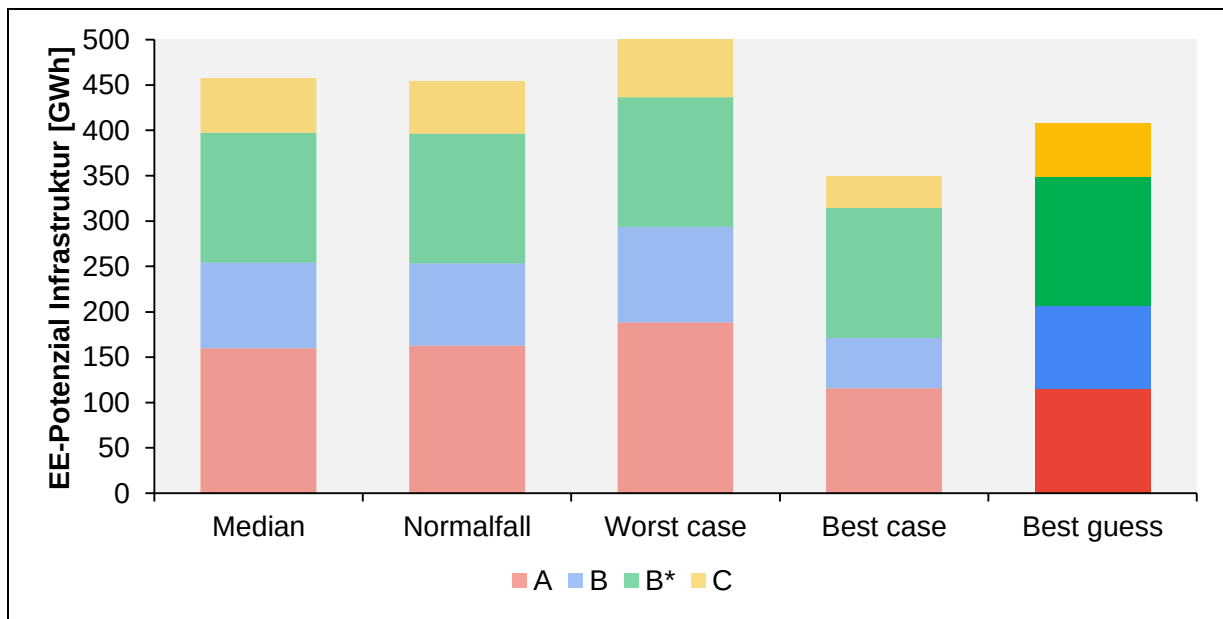


Abbildung 27: Infrastrukturseitige Energieeffizienzpotenziale anhand der verschiedenen Szenarien Median, Normalfall, Worst case, Best case sowie Best guess.

4.2.2 Verbleibende Energieeffizienzpotenziale im Bereich IT-Infrastruktur

In diesem Kapitel wird das realisierbare IT-seitige Energieeffizienzpotenzial quantifiziert. Grundsätzlich ergibt sich das IT-seitige Effizienzpotenzial bei gegebenem PUE durch die hellgrüne, dunkelgrüne sowie violette Fläche in Abbildung 26. Um Doppelzählungen zu vermeiden, wird der violette Teil nur der Infrastrukturseite zugeordnet. Die dunkelgrüne Fläche in Abbildung 26 wird im Sinne einer konservativen Annahme vernachlässigt (d.h. weder der Infrastruktur- noch der IT-Seite zugeordnet). Damit wird u.a. berücksichtigt, dass sich der PUE leicht erhöhen kann, wenn umfangreiche IT-seitige Effizienzmassnahmen umgesetzt und die Gebäudetechnik nicht entsprechend angepasst wird oder werden kann. Als verbleibendes IT-Potenzial wird entsprechend die hellgrün umstrichelte Fläche in Abbildung 26 bilanziert). Unter der Annahme, dass ein IT-Effizienzfaktor von 0.5 für alle RZ möglich ist, ergibt sich das verbleibende Potenzial durch:

$$EP_{IT} = \frac{EF_{IT,ist} - EF_{IT,Ziel}}{EF_{IT,ist}} \cdot E_{IT}$$

wobei

EF_{IT} Aktueller IT-Effizienzfaktor

EF_{Ziel} Anzustrebender, gemäss Experten realistisch erreichbarer IT-Effizienzfaktor (0.5)

E_{IT} IT-seitiger Stromverbrauch

Dies entspricht dem theoretischen IT-seitigen Effizienzpotenzial, dargestellt durch die hellgrüne Fläche in Abbildung 26. Je nach Szenario ergeben sich dadurch verschiedene Effizienzpotenziale für die Segmente, welche in Tabelle 19 dargestellt sind. Für den „Best guess“ (Szenario „Normalfall“) ergibt sich ein Effizienzpotenzial zwischen 23% (Segment B*) und 28% (Segment B). Erneut ist die Unsicherheit im Segment B* an kleinsten, da hier die Fragen am komplettesten beantwortet wurden. Insgesamt bewegen sich die Werte für das

relative Effizienzpotenzial, gemessen in %, in einem ähnlichen Rahmen wie auf der Infrastrukturseite.

Tabelle 19: Effizienzpotenziale bezogen auf den aktuelle Stromverbrauch für die Segmente A,B,B* differenziert nach Szenario. Fett hervorgehoben der "Best guess".

Segment	Median	Normalfall	Worst case	Best case
A	25%	26%	28%	4%
B	26%	28%	29%	7%
B*	23%	23%	26%	8%

Quelle: TEP Energy

Hochgerechnet auf den Gesamtstromverbrauch in den verschiedenen Segmenten (vgl. Abbildung 15) ergibt sich das in Abbildung 28 dargestellte IT-seitige Energieeffizienzpotenzial für die verschiedenen Segmente und Szenarien. Wie bereits beim infrastruktureitigen Potenzial wurden im Segment B* (wenige Teilnehmer) alle Fragen beantwortet. Trotzdem ergeben sich Unterschiede in den Szenarien aufgrund des Verbraucheranteils für weitere Verbräuche, welche nicht in der Erhebung abgefragt wurden.

Insbesondere für die ersten drei Szenarien liegt das absolute Energieeffizienzpotenzial in einem ähnlichen Rahmen wie auf der Infrastrukturseite. Die Unterschiede zwischen den Szenarien sind allerdings grösser als auf der Infrastrukturseite. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass nicht alle Grössen vollständig erhoben wurden. Das Szenario „Best case“ ist eher unwahrscheinlich, wie dies auch die Verteilungen der Antworten für die Speichertechnologien sowie Backup-Systeme vermuten lassen (siehe Abbildung 23). Für den „Best guess“ (Szenario Normalfall) und unter der Annahme, dass das relative Effizienzpotenzial im Segment C erneut ca. 25% höher als Segment B liegt, beträgt das gesamte strombezogene Effizienzpotenzial 551 GWh und somit rund 26% des Gesamtstromverbrauchs der RZ und SR.

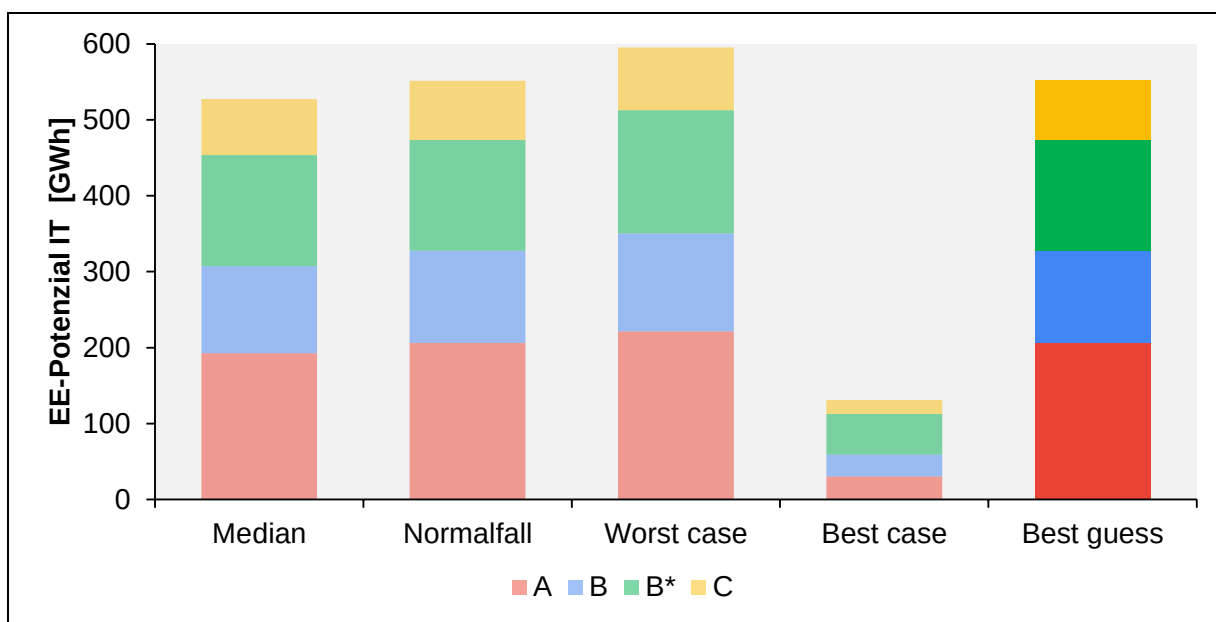


Abbildung 28: IT-seitige Energieeffizienzpotenziale anhand der verschiedenen Szenarien Median, Normalfall, Worst case, Best case sowie Best guess.

4.3 Gesamtaussage Energieeffizienzpotenziale (RZ- und IT-Infrastruktur)

Basierend auf den in den Kapiteln 4.2 und 4.3 erfolgten Abschätzungen des Energieeffizienzpotenzials einzeln für die Bereiche RZ-Infrastruktur und IT, lässt sich das totale Energieeffizienzpotenzial (EP) berechnen:

$$EP = \frac{PUE_{ist} - PUE_{Ziel}}{PUE_{ist}} \cdot E_{total} + \frac{EF_{IT,ist} - EF_{IT,Ziel}}{EF_{IT,ist}} \cdot E_{IT}$$

Dies entspricht der Summe des realisierbaren infrastrukturseitigen Energieeffizienzpotenzials sowie der theoretischen IT-seitigen Energieeffizienzpotenzials (vgl. Abbildung 26), wobei Doppelzählungen vermieden werden.

Je nach Szenario resultiert ein Gesamtenergieeffizienzpotenzial zwischen 481 GWh (Best case: bereits viele Massnahmen umgesetzt) und 1099 GWh (Worst case: kaum Massnahmen umgesetzt). Das „Best guess“ Energieeffizienzpotenzial beträgt 959 GWh, was rund 46% des Gesamtstromverbrauchs der RZ und SR entspricht.

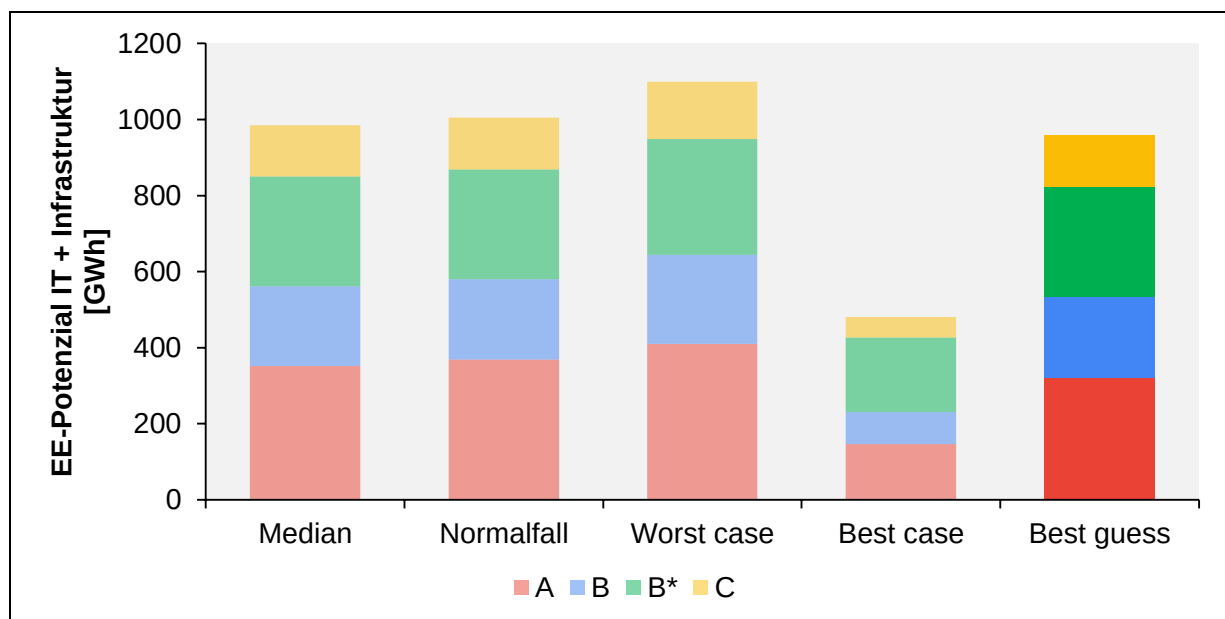


Abbildung 29: IT- und Infrastrukturseitiges Energieeffizienzpotenzial anhand der verschiedenen Szenarien Median, Normalfall, Worst case und Best case sowie Best guess.

Abschliessend ist zu bemerken, dass die IT-seitigen Energieeffizienzpotenziale in der Erhebung eher grob abgefragt wurden: Speicher und Backup sowie die allgemeine Auslastung. Für weitere Einsparpotenziale wurden Annahmen für die verschiedenen Szenarien getroffen. Diese weiteren Potenziale sind im Rahmen von Folgearbeiten weitergehend zu quantifizieren.

5 Rückblick, Ausblick und Empfehlungen

5.1 Rückblick: Entwicklung Stromverbrauch und Energieeffizienz seit 2013

Wie die Resultate aus der Erhebung und der Hochrechnung zeigen, ist der für das Jahr 2019 abgeschätzte Stromverbrauch im Vergleich zur letzten Studie (Altenburger et al., 2014) für das Jahr 2013 vordergründig (nominal) nur moderat angestiegen (siehe Kap. 5.1.1 mit einem Vergleich des ermittelten Stromverbrauchs und der zugrundeliegenden RZ-Flächen der beiden Studien). Aufgrund der unterschiedlichen Methodik und der unterschiedlichen Datenlage lassen sich diese Werte jedoch nicht direkt vergleichen. Aus diesem Grund werden in Kap. 5.1.2 die Differenz weitergehend analysiert und mögliche Gründe diskutiert.

5.1.1 Quantitativer Vergleich

Die Unterschiede in den beiden Studien offenbaren sich bereits in der Methodik. Für das Jahr 2013 wurde der Stromverbrauch berechnet, dies basierend auf Daten zur Anzahl Server in SR und RZ und RZ-Flächen sowie basierend auf Annahmen zu spezifischen IT-Leistungen und PUE-Werten. Die vorliegende Studie für das Jahr 2020 verfolgt einen vertiefteren empirischen Ansatz, bei dem weitere Daten direkt bei RZ erhoben wurden.

Tabelle 20 zeigt den ermittelten Stromverbrauch aus den beiden Studien für die Jahre 2013 resp. 2019. Verglichen werden die „Best guess“ Szenarien P5 (Altenburger et al., 2014) sowie das Szenario 2 (mittlere Dunkelziffer, Definition siehe Kap. 3.3.2) der vorliegenden Studie. Der Vergleich zeigt, dass der Stromverbrauch durch den Berechnungsansatz der Studie aus dem Jahr 2014 und dem empirisch abgestützten Vorgehen in dieser Studie in eine ähnliche quantitative Grössenordnung fallen.

Das Segment der Grossverbraucher B* wird gemäss dieser Studie separat aufgeführt. Es ist anzunehmen, dass ein Teil der Grossverbraucher in der früheren Studie den RZ-Drittanbietern zugeordnet wurden. Dies betrifft sehr grosse, mutmasslich relativ energieeffiziente RZ, die streng genommen keine RZ-Dienstleister sind, aber als zentrale Standorte einen Grossteil oder sämtliche anfallende Rechenleistung sehr grosser Unternehmen oder Institutionen bewältigen (z.B. im Fall von Auslagerungen bei Banken oder Verwaltungen oder bei gemeinschaftlich genutzten Rechenzentren z.B. im Fall der Forschung). Aufgrund der Angaben aus der Erhebung bzgl. Stromverbrauch und umgesetzter Energieeffizienzmassnahmen sind diese RZ denn auch eher dem Segment A zuzuordnen. Eine Übersicht zur Verteilung des Stromverbrauchs der Grossverbraucher auf verschiedene Branchen ist im Anhang in Abbildung 62 abgebildet. Je nach Definition, könnte ein Teil davon auch den RZ-Dienstleistern zugeordnet werden. Der Stromverbrauch der KMU wurde in der Studie für das Jahr 2013 nicht berücksichtigt.

Tabelle 20: Stromverbrauch aus den beiden Studien für 2013 (Altenburger et al., 2014) und 2019.

Einflussfaktor	RZ-Drittanbieter	Grossverbraucher	Interne RZ/SR	KMU	Total
Stromverbrauch 2013 [GWh]	1121	-	560	-	1681
Stromverbrauch 2019 [GWh]	785	634	441	227	2087

Quelle: (Altenburger et al., 2014), TEP Energy und HSLU (diese Studie)

Durch Betrachten des Mengengerüsts lassen sich ähnliche Schlüsse ziehen. Tabelle 21 zeigt die geschätzten Flächen für das Jahr 2013 sowie das Mengengerüst für 2019. Gemäss der Marktübersicht der Netzmedien sind die Flächen der RZ-Dienstleister zwischen 2017 und 2020 rund 7% pro Jahr gewachsen. Somit schätzen wir die Fläche im Jahr 2013 im Sinne eines Back-Castings auf ca. 114'000 m². Eine kürzlich publizierte Marktübersicht von CBRE geht von einem ähnlichen Wachstum von ca. 40% in der Periode zwischen 2013 und 2019 aus, und schätzt die RZ-Flächen für 2019 auf ca. 150'000 m² (CBRE, 2021). Die Studie aus dem Jahr 2014 (Altenburger et al., 2014) hat bereits für das Jahr 2013 RZ-Flächen von ca. 150'000 m² angenommen, dies bezugnehmend auf (Broadgroup, 2012), was evtl. zu einer gewissen Überschätzung des Stromverbrauchs bei RZ-Drittanbietern geführt hat. Weiter waren die Szenarien sehr grob definiert, entsprechend könnte der Wert im Jahr 2013 tatsächlich leicht tiefer gelegen haben.

Die Serverzahlen für die internen RZ/SR (Tabelle 21) zeigen die abnehmenden Serverzahlen gemäss Profondiadatenbank. Aufgrund der angenommenen Abdeckungsgrade in dieser Studie können die Serverzahlen nicht direkt mit dem Stromverbrauch aus Tabelle 20 in Relation gesetzt werden.

Tabelle 21: Vergleich RZ-Flächen (Drittanbieter) und Serveranzahl (Interne RZ/SR) für die Jahre 2013 und 2019.

Einflussfaktor	RZ-Drittanbieter¹	Interne RZ/SR²
Mengengerüst 2013	114'000 m ²	85'000 Server
Mengengerüst 2019	164'000 m ²	73'000 Server

¹ Gemäss Zahlen von CBRE (2021) und Netzmedien AG (2017, 2020).

² Selektion aus Profondiadatenbank. Für 2019 inkl. Grossverbraucher.

Obwohl durch die unterschiedliche Methodik ein direkter Vergleich erschwert ist, zeigt sich doch, dass der totale Stromverbrauch in Schweizer Rechenzentren zwar zugenommen hat, aber nicht markant.

5.1.2 Erläuterung der Unterschiede

Für den Vergleich der Resultate aus den beiden Studien sind neben der unterschiedlichen Berechnungsmethodik insbesondere die in Tabelle 22 genannten Einflussfaktoren zu beachten. Abbildung 30 illustriert die Unterschiede grafisch.

Für jeden Einflussfaktor wird die geschätzte Auswirkung auf den Stromverbrauch aufgezeigt und Erklärung geliefert, welche die Differenz beim Stromverbrauch begründet. Die Vorzeichen beziehen sich auf den Einflussfaktor und die zeitliche Entwicklung seit 2013, d.h. der für

2019 abgeschätzte Stromverbrauch ist z.B. aufgrund der Erweiterung der Systemgrenze (Berücksichtigung von Segment C) um 227 GWh höher als im Jahr 2013. Demgegenüber hat sich der Stromverbrauch aufgrund tieferer PUE-Werte um 161 GWh verringert. Vom Stromverbrauch aus dem Jahr 2013 aus startend und unter Berücksichtigung der genannten Einflussfaktoren für die Zunahme/Abnahme des Stromverbrauchs (somit unter möglichst ähnlichen Bedingungen) erreicht man für das Jahr 2019 einen Stromverbrauch von 1821 GWh (vgl. Abbildung 30). D.h. weitere Einflussfaktoren sind für rund 265 GWh verantwortlich. Basierend auf den Erkenntnissen des vorherigen Abschnittes kann davon ausgegangen werden, dass zumindest ein Teil der Unterschätzung des Stromverbrauchs von unternehmensinternen RZ im Jahr 2013 durch den gelb markierten Anteil erklärt werden kann.

Dass der Stromverbrauch in RZ/SR in den letzten Jahren nur moderat angestiegen ist, dürfte auf verschiedene Gründe zurückzuführen sein. Zwar wurden doch einige neue RZ (insbesondere von Drittanbietern) gebaut und in Betrieb genommen (siehe z.B. Netzmedien AG (2017) im Vergleich zu Netzmedien AG (2020)). Diese Ausdehnung des Mengengerüsts wurde jedoch durch umgesetzte Energieeffizienzsteigerungen teilweise kompensiert. Wurde in (Altenburger et al., 2014) noch mit mittleren PUE-Werten von 1.6 (Drittanbieter) bzw. 1.82 (Interne RZ) gerechnet, zeigte die aktuelle Erhebung, dass von den RZ-Dienstleistern (Segment A) grossmehrheitlich einen PUE von 1.2-1.5 angegeben bzw. auf 1.42 geschätzt wurde, und in den letzten Jahren viele Energieeffizienzmassnahmen, sowohl auf Seite der Infrastruktur als auch auf Seite der IT umgesetzt wurden.

Für firmeninterne RZ gestaltet sich die Beurteilung schwieriger, da der PUE immer noch vielerorts eine unbekannte Grösse darstellt. Trotzdem lassen sich auch hier Steigerungen bei der Energieeffizienz beobachten. Auch ein Vergleich mit den RZ, welche am Förderprogramm PUEA (Power Usage Effectiveness in Data Centers) teilgenommen haben, zeigt diese Tendenz auf. Für die zwischen 2010 und 2015 geförderten RZ wurden damals PUE-Werte vor der Umsetzung von geförderten Massnahmen zwischen 1.5 und 2 gemessen (Jakob, Forster, & Altenburger, 2015). Mit den realisierten Energieeffizienzmassnahmen konnten die PUE-Werte auf 1.2 bis 1.5 reduziert werden. Das Szenario „Normalfall“ der aktuellen Studie geht von einem PUE von 1.63 aus, dies im Vergleich zu 2013, wo von Altenburger et al. (2014) für firmeninterne RZ ein durchschnittlicher PUE von 1.82 angenommen wurde.

Effizienzsteigerungen sind auch den IT-Markt Reports der Profondia AG zu entnehmen. Der Virtualisierungsgrad, d.h. die Anzahl virtueller Maschinen pro Anzahl physischer Server stieg in den Jahren 2015-2019 von 1.7 auf 3.9, wenn auch in den letzten beiden Jahren der Anstieg etwas weniger stark war als zuvor (Profondia AG, 2020b). Ein steigender Virtualisierungsgrad erhöht die Auslastung auf den eingesetzten physischen Servern und hilft damit, den Stromverbrauch bei gegebener IT-Dienstleistung zu senken. Zum einen müssen die eingesparten Server und die damit verbundenen IT- und Infrastrukturkomponenten nicht mit Strom versorgt werden. Zum anderen wird für die reduzierte Anzahl Server weniger Platz und Kühlbedarf benötigt.

Bei der Studie für das Jahr 2013 lag der Fokus auf den infrastrukturseitigen Effizienzmassnahmen. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch im Bereich IT ein grosses Potenzial noch nicht ausgeschöpft wurde. Im Bereich der Speicher waren z.B. die Preise für SSD/Flash im Jahr 2013 noch sehr hoch und RZ mit dieser Speichertechnologie entsprechend selten. Dies hat sich in der Folge stark verändert. Zur Abschätzung der Effizienzsteigerung auf den Strom-

verbrauch wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2013 der SSD/Flash-Anteil weniger als 20% betrug. Die Virtualisierungstendenz liess die Auslastung um einen Faktor von 3 ansteigen. Bei den Backuptechnologien kann keine Aussage zu einer Veränderung gemacht werden. Für die weiteren IT-Verbräuche wird eine Steigerung der Effizienz bzw. eine Reduktion des Faktors $f_{IT,4}$ von 0.95 auf 0.9 angenommen. Analog der Abschätzung der Effizienzpotenziale lässt sich damit die Stromersparnis durch IT-seitige Effizienzsteigerungen berechnen.

Nebst den Energieeffizienzsteigerungen wirkt als zweiter Einflussfaktor der Rückgang der Serverzahlen bei den firmeninternen RZ dem steigenden Stromverbrauch entgegen. Die durchschnittliche Anzahl physischer Server pro Firma (2015: 11.1, 2019: 10.3) hat in den letzten Jahren leicht abgenommen (Profondia AG (2020b)). Die Gründe dafür dürften neben der bereits erwähnten Virtualisierung auch in den Auslagerungstendenzen für IT-Abläufe liegen. Damit wird ein Teil des Stromverbrauchs von firmen- und institutionsinternen RZ/SR zu Dienstleistern verschoben.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass sich die Differenz zwischen den beiden Studien teilweise auf methodische Unterschiede, teilweise auf Unsicherheiten (in beiden Studien) und teilweise auf reale Entwicklungen (Ausdehnung des Mengengerüsts, Effizienzentwicklungen) zurückführen lässt. Die reale Entwicklung dürfte für einen Anstieg des Stromverbrauchs von RZ und Serverräumen zwischen 2013 und 2019 von mindestens 150 GWh (8%) verantwortlich sein. Demgegenüber hat der Gesamtstromverbrauch in der Schweiz (ohne Übertragungs- und Verteilverluste) in derselben Periode von 59.3 TWh auf 57.2 TWh sogar leicht abgenommen. Die einzelnen Beiträge in Tabelle 22 und in Abbildung 30 zeigen die Bedeutung von Mengenzuwachs auf der einen Seite und Effizienzentwicklung (inkl. rückläufige Serveranzahl durch Virtualisierung) auf der anderen Seite auf.

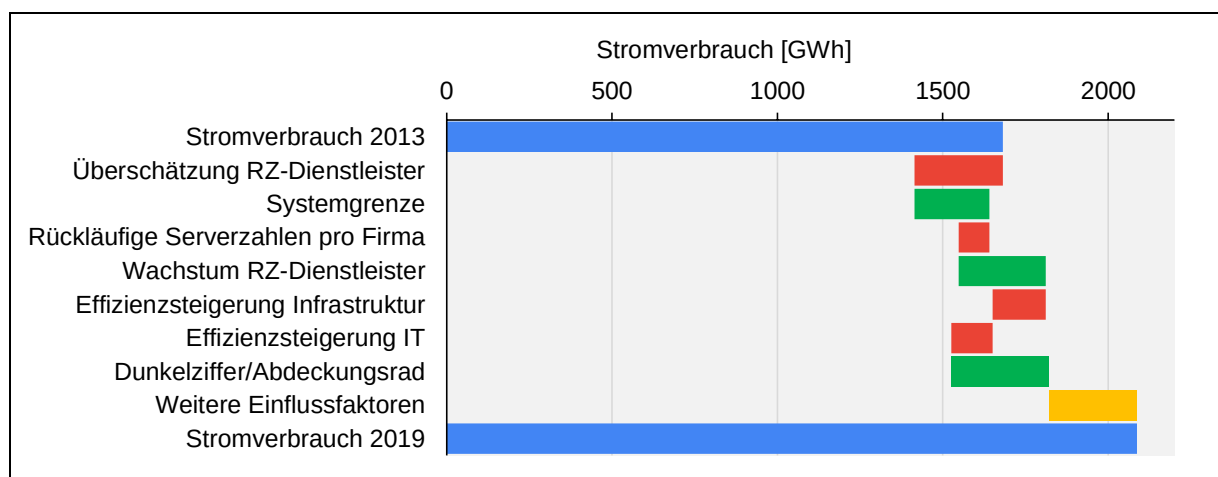


Abbildung 30: Wasserfalldiagramm zum Vergleich der beiden Studien aus dem Jahr 2013 und 2019. Grün und orangefarbene Flächen illustrieren eine Zunahme des Stromverbrauchs, rot markierte Flächen eine Abnahme.

Tabelle 22: Einflussfaktoren, Erklärungen sowie geschätzte Auswirkungen auf den Stromverbrauch aus der vorliegenden Studie im Vergleich zu Altenburger et al. (2014) im Sinne eines Back-casting. Zur einfacheren Lesbarkeit werden die Vorzeichen bezogen auf zeitliche Entwicklung ausgedrückt. (d.h. +227 GWh im Jahr 2019 aufgrund der weiteren Systemgrenze).

Einflussfaktor	Erklärung	Geschätzte Auswirkung auf Stromverbrauch
Systemgrenze	Das Segment C, Firmen mit weniger als 10 Servern aber mehr als 30 Mitarbeitenden wurde im Jahr 2013 nicht berücksichtigt.	+227 GWh
Überschätzung RZ-Dienstleister	Annahme: Fläche im Jahr 2013 betrug lediglich 114'000 m ² und der Stromverbrauch entsprechend rund 24% weniger.	-267 GWh
Rückläufige Serverzahlen pro Firma	Gemäss Profondiadatenbank hat bei firmeninternen RZ die durchschnittliche Anzahl Server pro Unternehmen zwischen 2015 und 2019 um ca. 2% pro Jahr abgenommen. Annahme: ceteris paribus Abnahme von 12% in 6-Jahresperiode	-94 GWh
Wachstum RZ-Dienstleister	Gemäss Marktübersicht Netzmedien ist die RZ-Fläche zwischen 2017-2020 ca. 7% pro Jahr gewachsen. Annahme ceteris paribus: 42% Wachstum in der 6-Jahresperiode.	+264 GWh
Effizienzsteigerung Infrastruktur	Die Steigerung der Energieeffizienz ergibt sich aus der Erhebung. Annahme: Angenommene PUE-Werte aus dem Jahr 2013 (1.6 resp. 1.82) wurden gesenkt auf heute A: 1.42, B: 1.63, gemäss Szenario „Normalfall“.	-161 GWh
Effizienzsteigerung IT	Annahme: Flash/SSD im Jahr unter 20%. Steigerung der Auslastung um Faktor 3. Gleichbleibende Backupverteilung. Effizienzsteigerung bei weiteren Verbrauchern: Faktor gemäss Abbildung 33 von 0.95 auf 0.9.	-125 GWh
Dunkelziffer/ Abdeckungsgrad	2013 wurde für firmeninterne RZ/SR aus der Profondia DB direkt auf den Schweizer Stromverbrauch geschlossen. Die vorliegende Studie geht für die Hochrechnung auf die Gesamtschweiz von einer Dunkelziffer sowie Abdeckungsgraden gemäss Tabelle 14 und Tabelle 17 aus.	+296 GWh
Weitere Einflussfaktoren	Unterschätzung der Grossverbraucher in der Studie von 2013 sowie unbekannte statistische Differenzen	+265 GWh

Quelle: TEP Energy

Das Thema Auslagerung wurde auch mittels der Online-Umfrage untersucht. Nur ca. 20% der befragten Unternehmen in den Segmenten B und C geben an, noch keine IT-Prozesse/-Anwendungen ausgelagert zu haben (siehe Abbildung 38 im Anhang). Rund 60% geben an, cloudbasierte Software-Applikationen zu nutzen. Für Unternehmen, welche bereits ausgelagert haben, sind vorwiegend die Flexibilität, die Möglichkeit sich auf die Kernkompetenzen des Unternehmens zu konzentrieren sowie die Sicherheit und Zuverlässigkeit Gründe für die Auslagerung (vgl. Abbildung 39 im Anhang). Unternehmen, welche noch nicht ausgelagert haben, nennen dafür vor allem Sicherheitsgründe sowie das ausreichende interne IT-Know-how (vgl. Abbildung 40 im Anhang).

Ein Blick in die Zukunft offenbart weitere Auslagerungstendenzen. Insbesondere cloud-basierte Software-Applikationen, Kommunikation (Mail-Hosting, Chat und Videotelefonie etc.), aber auch Server Hosting und Backup-Services sind oft genannte IT-Prozesse und -Anwendungen, die zukünftig ausgelagert werden sollen (vgl. Abbildung 41 im Anhang). Entsprechend ist, wenn auch weitere grosse RZ von Dienstleistern gebaut werden, nicht unbedingt eine Explosion des Strombedarfs zu erwarten, eher im Gegenteil, da die IT-Dienstleistungen von professionellen RZ-Dienstleistern effizienter gestellt werden können. Entscheidend für die weitere Entwicklung ist, ob und in welchem Mass Datenverarbeitungsprozesse hinzukommen (siehe Kap. 5.2).

Ähnliche Tendenzen bzgl. Auslagerung werden auch jenseits der Landesgrenzen beobachtet. In einer Arbeit der International Data Corporation (IDC) aus dem Jahr 2018, wurden 150 Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern aus Westeuropa zur Auslagerung von IT-Abläufen befragt. Auch hier gaben Firmen, die noch nicht auslagern, Sicherheitsbedenken sowie die Tatsache, dass die IT-Abläufe intern geregelt werden können, an. Die Mehrheit gibt aber an, in Zukunft für Auslagerungen offen zu sein (IDC, 2018).

5.2 Ausblick: zukünftige Entwicklung des RZ-Marktes

Das Thema Energieeffizienz im RZ-Markt bleibt auch in Zukunft ein wichtiges Thema. Zum einen ist der Anteil am Gesamtstromverbrauch mit ca. 3.6% substanziell, zum anderen bestehen weitere Energieeffizienzpotenziale. Hierbei können oft mit einfachen technischen Massnahmen der Stromverbrauch und damit auch die Betriebskosten reduziert werden.

5.2.1 Treiber des Stromverbrauchs

Künftige Analysen sind auch unter Berücksichtigung der weiter erwarteten Dynamik im RZ-Markt wichtig. Grosse Public-Cloud-Anbieter drängen in den Schweizer Markt vor. So ist Microsoft seit 2019 in der Schweiz vertreten (Schröder, 2019). Amazon ist nicht nur Spitzenreiter im weltweiten online-Handel, sondern dominiert auch den Markt mit Daten und dieses Unternehmen plant die Eröffnung mehrerer Rechenzentren für die Cloud-Tochter Amazon Web Services ab 2022. Die Kunden profitieren dadurch von der Datenspeicherung auf Schweizer Servern sowie von kürzeren Latenzzeiten (Ott, 2020). Auch Oracle hat 2019 sein erstes Rechenzentrum in der Schweiz in Betrieb genommen. Auch Google ist in der Schweiz aktiv, arbeitet jedoch mit lokalen Partnern zusammen (Schröder, 2019). Gemäss eines kürzlich publizierten Artikels betreibt Google sogar schon seit 2019 eigene RZ in der Schweiz (Huwiler, 2021). Weiter betreibt auch die Alibaba Cloud bereits eigene Rechenzentren in

Europa, wobei man sich vorwiegend auf chinesische Kunden konzentriert, die in Europa tätig sind (Schröder, 2019).

Die Auswirkungen dieser zunehmend grösseren RZ-Dienstleister auf den Gesamtstromverbrauch in der Schweiz sind ungewiss. Bis heute wird ein erheblicher Teil der privaten Daten (Fotos, Videos, Social media etc.) im Ausland gespeichert. Falls grössere Anbieter wie Apple und Google auch mit dem Ziel in die Schweiz kommen, den gesamten schweizerischen Daten- und IT-Servicebedarf in Schweizer RZ zu decken und ggf. sogar, um Endkunden im Ausland zu bedienen und ein Exportmarkt entsteht, ist in den kommenden Jahren mit einem deutlich schnelleren Anstieg des Stromverbrauchs zu rechnen. Aus der Online-Erhebung zeigt sich auch, dass bereits jetzt mehr als die Hälfte der RZ-Dienstleister unter anderem Kunden aus dem Ausland bedient (vgl. Abbildung 31).

Neben dem Vordringen von grossen Public-Cloud-Anbietern und der damit folgenden Erschliessung weiterer Kundengruppen (Ausland, Privatkunden) dürfte der erwartete Anstieg im Stromverbrauch in den kommenden Jahren auch nachfragegetrieben sein. Big data, Internet der Dinge (IdD), Industrie 4.0 etc. dürften die wesentlichen Treiber für die erhöhte Nachfrage nach Datenvolumina und Rechenleistungen sein. Eine Quantifizierung dieser Treiber war nicht Gegenstand dieser Studie, könnte jedoch in einem nächsten Schritt vorgenommen werden.

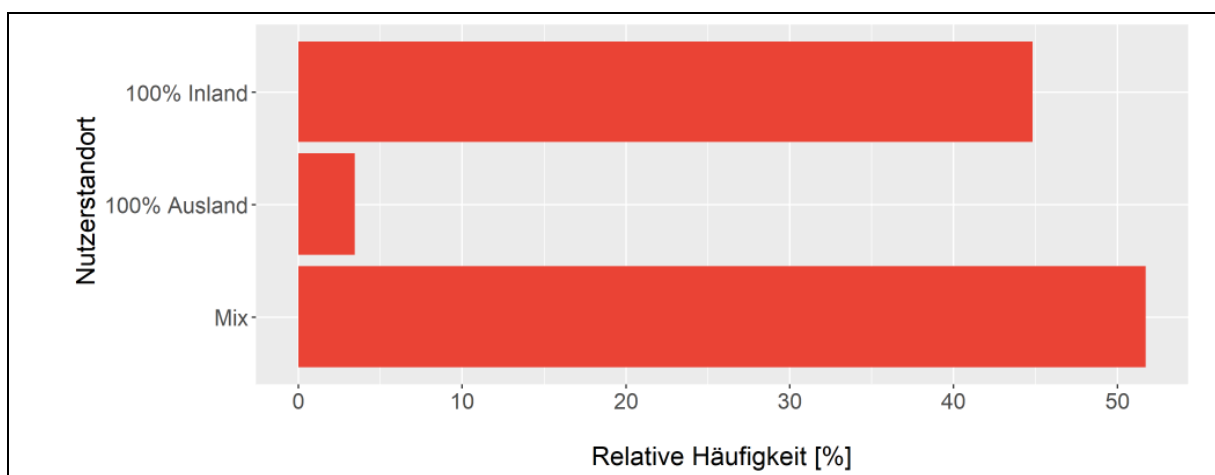


Abbildung 31: Nutzerstandort (Endkunden) der RZ-Dienstleister im Segment A. 29 RZ-Teilnehmer haben die Frage beantwortet.

5.2.2 Bau- und Ausbauprojekte und Implikation auf Stromverbrauch

Das mögliche Aufkommen neuer Anbieter und der erwartete Zuwachs an neuer Nutzfläche und IT-Leistung wurde im Rahmen eines BFE-Projekts erhoben (Fasan, 2020). Dabei wurden RZ-Betreiber, RZ-Planer, Ingenieurbüros, EVUs etc. telefonisch kontaktiert und zu RZ-Bau- und Ausbauprojekten RZ befragt. Die Abschätzungen zeigen, dass in den nächsten Jahren mit einem deutlicheren Zuwachs an IT-Leistung aus Rechenzentren gerechnet werden kann. Insbesondere im Grossraum Zürich sind bereits einige Grossprojekte geplant und auch in der Genferseeregion wird eine grosse Anzahl von Machbarkeitsstudien durchgeführt. Zum Teil sind solche Projekte bereits öffentlich bekannt, siehe auch (Netzmedien AG, 2020).

Falls alle diese Projekte realisiert würden, ohne dass dies auf eine weitere wesentliche Verlagerung von firmeninternen RZ zu Dienstleistern zurückzuführen ist und falls Effizienzgesichtspunkten nicht eine gebührende Aufmerksamkeit gewidmet wird, könnte der Stromverbrauch von Rechenzentren in der Schweiz in den kommenden Jahren von heute rund 2 TWh auf rund 3 bis 4 TWh ansteigen. Es bleibt jedoch abzuwarten, welche Projekte tatsächlich realisiert werden. Die letzten Jahre haben auch gezeigt, dass gewisse RZ wieder geschlossen wurden (vgl. (Netzmedien AG, 2017) und (Netzmedien AG, 2020)). Zudem bestehen sowohl bei bestehenden als auch bei neuen RZ erhebliche Effizienzpotenziale. Aufgrund solcher und weiterer Überlegungen (siehe Kap. 5.2.3) erwarten wir mittelfristig eher einen Verbrauch von 2.7 bis 3.5 TWh.

Die Schweiz bleibt jedoch auch in Zukunft insbesondere aufgrund der politischen Stabilität, der Verfügbarkeit von Fachkräften, der sicheren Stromversorgung sowie der zentralen Lage in Europa ein attraktiver Standort für grosse RZ-Dienstleister. Allerdings steht die Schweiz dabei in internationaler Konkurrenz: Skandinavien oder Irland sind durch die klimatischen Bedingungen, die Anbindung an transatlantische Glasfaserverbindungen, niedrige Strompreise oder steuerliche Vorteile begünstigt.

Trotz weiteren beliebten Standorte in Europa zeigt ein weiterer Vergleich mit einer EU-weiten Studie, dass der Stromverbrauch für RZ in der Schweiz doch immer noch überdurchschnittlich ist, was nebst den oben genannten Gründen mit der schnell fortschreitenden Digitalisierung in der Schweiz zu tun hat (Dib, 2019). In der Periode von 2015 - 2018 soll der Stromverbrauch in RZ der EU verglichen zum Gesamtstromverbrauch von 2.3% auf 2.7% angewachsen sein. Untersucht wurden dabei RZ/SR mit mindestens 3 physischen Servern, was mit den Systemgrenzen in der vorliegenden Studie vergleichbar ist. Bis 2030 wird EU-weit ein Anteil von 3.2% erwartet (Montevecchi, F., Stickler, T., Hintemann, R., Hinterholzer, 2020), ein Wert, der in der Schweiz bereits überschritten ist. Auch der spezifische Stromverbrauch aus RZ/SR pro Kopf ist in der Schweiz (0.25 MWh/Person im Jahr 2019) knapp 40% höher als in der EU (0.18 MWh/Person im Jahr 2018).

5.2.3 Entwicklung auf Komponentenebene

Ein Blick auf die Chip-Ebene zeigt, dass der Punkt, an dem die technischen Fortschritte (effizientere Chips) den steigenden Stromverbrauch kompensieren können, in Bälde erreicht ist. Das Mooresche Gesetz (Verdoppelung der Transistorenzahl auf integrierten Schaltkreisen alle 18 bis 24 Monate) sowie die Dennard-Skalierung (exponentielle Verbesserungen der Energieeffizienz auf Schaltungsebene) haben sich verlangsamt (Moore) bzw. ihre Gültigkeit verloren (Dennard). Während die Grösse der Chipkomponenten über Jahrzehnte reduziert werden konnte, stösst man bei den auf Silizium basierenden Elementen inzwischen an Grenzen (Johnsson, 2015). Gemäss Experteneinschätzungen kann die Energieeffizienz den Anstieg des Stromverbrauchs durch den schneller ansteigenden Daten- und Rechenbedarf nicht mehr vollständig kompensieren.

In bestimmten Bereichen kann trotzdem mit Fortschritten gerechnet werden, indem auf spezifische Anwendungen ausgerichtete Chips produziert werden. Grafikprozessoren (GPU) erlauben signifikante Geschwindigkeitsverbesserungen durch paralleles Rechnen, welche aufkommenden Disziplinen wie dem maschinellen Lernen oder künstlicher Intelligenz helfen. Bei diesen Geschwindigkeitsverbesserungen konnten die klassischen CPUs in den letzten Jahren nicht mehr mithalten (Lee, 2020). Eine weitere Verbesserung gegenüber GPUs erlau-

ben sogenannte Beschleuniger für künstliche Intelligenz. Damit lassen sich grosse Geschwindigkeitsverbesserungen für Prozesse im Bereich neuronaler Netze erzielen. So entwickeln beispielsweise Google oder Microsoft eigene KI-Chips für ihre spezifischen Bedürfnisse. Für alltägliche Software einschliesslich virtueller Maschinen, Betriebssysteme, Datenmanagement oder Cloud-Anwendungen von Drittanbietern in RZ kann jedoch nicht mit Lösungen auf Chip-Ebene gerechnet werden. Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung fehlen, um Allzweck-Chips zu verbessern (Rotman, 2020). Im Ergebnis hilft keine der obengenannten Technologien, den exponentiell steigenden Datenbedarf in den kommenden Jahrzehnten vollständig zu kompensieren. Entsprechend kann der der IT-Bedarf nur durch eine Ausdehnung der installierten elektrischen Leistung, d.h. durch neue und grössere RZ, gedeckt werden.

Es kann also mit gutem Grund davon ausgegangen werden, dass der Stromverbrauch in Schweizer RZ mittelfristig stärker ansteigen wird als in den letzten Jahren. Das Umsetzen von Energieeffizienzmassnahmen bei bestehenden RZ und das effiziente Organisieren der IT-basierten Prozesse durch gezielte Auslagerungen unter Vermeidung von Redundanzen ist gerade deswegen von enormer Wichtigkeit, um den erwarteten Anstieg in Rechenleistung in den kommenden Jahren zumindest etwas abzufedern. Auch bei der Konzeption, Planung und Realisierung von neuen RZ ist es wichtig, dass adäquat konfiguriert wird, dass die richtigen Komponenten ausgewählt und die Prozesse optimiert werden. Mit diesen Ansätzen kann ein energieeffizienter Bau und Betrieb des RZ ermöglicht werden.

5.3 Abschliessende Beurteilung und Überlegungen zur Durchführung von weiterführenden Arbeiten

5.3.1 Abschliessende Beurteilung

Mit der vorliegenden Studie konnte eine sehr gute empirische Basis für viele wichtige Parameter in modernen RZ geschaffen werden. Die Studienresultate zeigen, dass der Stromverbrauch in RZ/SR zwischen 3.3% und 4.1% (Best guess: 3.6%) des Gesamtstromverbrauchs in der Schweiz ausmacht. Damit ist der Stromverbrauch in den letzten 5 Jahren nochmals moderat angestiegen, wobei sich ähnliche Tendenzen auch in der EU zeigen.

Gleichzeitig haben die vielen Bestrebungen für mehr Energieeffizienz in RZ bereits gewirkt und die PUE-Werte konnten im Vergleich zu früheren Studien reduziert werden. Die Erhebungsergebnisse manifestieren denn diese Entwicklung auch durch die bereits umgesetzten Massnahmen, insbesondere bei RZ-Dienstleistern. Nichtsdestotrotz verbleibt ein erhebliches Energieeffizienzpotenzial von rund 45% des Gesamtstromverbrauchs, dass mit den in diesem Bericht berücksichtigten Massnahmen weiter ausgeschöpft werden soll.

5.3.2 Empfehlungen

Zukünftige Untersuchungen sollen mehr Aufschluss über die Endkunden der RZ-Anbieter geben. Falls grössere Unternehmen in Zukunft in der Schweiz Fuss fassen und ggf. sogar Kunden aus dem Ausland mit Speicherangeboten und Rechenleistung bedienen, kann der Stromverbrauch rasch ansteigen. Insbesondere auf der IT-Seite sollen in Zukunft auch weitere Einflussfaktoren auf die Energieeffizienz im Bereich Server und Netzwerke berücksichtigt werden (vgl. Kap. 4.3). Wir empfehlen, die Umsetzung folgender Massnahmen näher zu prüfen:

- Basierend auf den Erkenntnissen aus dieser Studie sowie aus früheren Arbeiten (Jakob et al., 2015, Altenburger et al., 2015) können Massnahmenkataloge (z.B. Energie Schweiz (2020)) weiterentwickelt werden. Damit sollen zukünftig insbesondere auch Unternehmen mit erheblichem Leistungsbedarf in internen RZ bei der Umsetzung und Optimierung in den Systembereichen Infrastruktur und IT unterstützt werden. Solche Erkenntnisse und Grundlagen können auf verschiedenen Ebenen genutzt werden, wobei aufgrund der grossen Zahl möglicher Neubauprojekte rasch zu handeln ist:
 - o im Rahmen des ProKilowatt Förderprogramms PUEDA+, das Anfang 2021 gestartet wird
 - o der Bund kann Kantone und Gemeinden im Rahmen der bestehenden Gesetzgebung unterstützen, z.B. bei der Erteilung von Baubewilligungen oder bei der Umsetzung des Grossverbraucherartikels
 - o durch die Information, Aus- und Weiterbildung von Planern, Investoren und Betreibern von neuen und bestehenden Rechenzentren
 - o Unterstützung von freiwilligen Ansätzen wie z.B. das Effizienzlabel der SDEA.
- Um die Abwärme von Rechenzentren für die Dekarbonisierung des Gebäudebereichs mit nutzen zu können, ist bei der Planung von thermischen Netzen insbesondere die Zusammenarbeit mit den Gemeinden wichtig. Hierbei kann auf das Konzept des PUE_{DA} des Programms PUEDA zurückgegriffen werden (Jakob et al. 2015).

Für die Zukunft sind weitere freiwillige Massnahmen sowie auch normative Grundlagen in Erwägung zu ziehen, wobei hier mit der Branche zusammengearbeitet werden soll (infrastruktur- und IT-seitig), z.B. mit dem SIA und mit der SDEA. Mittelfristig können solche Grundlagen auch der Ausgestaltung von Neubauvorschriften dienen.

Um zukünftige Entwicklungen im RZ-Markt zu verstehen, ist das Weiterführen externer Datenquellen, namentlich die Datenbestände in der Profondiadatenbank sowie die Marktübersichten der Netzmedien, sehr wertvoll. Zusätzlich schlagen die Autoren vor, die hier entstandene empirische Datengrundlage in den nächsten Jahren periodisch zu aktualisieren. Dies im Sinne einer weiterführenden Beobachtung des Marktes und eines Monitorings des Stromverbrauchs sowie der umgesetzten Energieeffizienzmassnahmen im Bereich Rechenzentren.

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

- Altenburger, A. (2004). *Energieeffizientes Kühlen von IT Räumen*. Amstein+Walthert i.A. BFE.
- Altenburger, A., Hauri, D., Puntsagdash, G., & Deininger, S. (2014). *Rechenzentren in der Schweiz - Energieeffizienz: Stromverbrauch und Effizienzpotenzial*. IWSB und Amstein+Walthert i.A. ASUT und Swiss Federal Office of Energy. Bern.
- BFE. (2019). *Einladung zur Offertstellung – «Rechenzentren in der Schweiz – Studie zum Stromverbrauch und Effizienzpotenzial»*. Bern.
- BFE. (2020). *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2019 nach Verwendungszwecken*. Infrac, Prognos, TEP i.A. Bundesamt für Energie BFE. Bern.
- Broadgroup. (2012). *Datacentres Europe IV: Western European Data Centre Research*.
- CBRE. (2021). *Data center market Switzerland*.
- Dib, G. (2019). *2019 Enabling Digitalization Index*. Euler Hermes Economic Research.
- Energie Schweiz. (2020). *Massnahmenkatalog für Rechenzentren*. Retrieved February 15, 2021, from <https://dcenergy.ch/actions/>
- Fasan, R. (2020). *Rechenzentren in der Schweiz – Bau- und Ausbaupläne*. 7pro solution i.A. BFE.
- Huwiler, S. (2021). *Gross und verschwiegen: Die "Hyperscaler" kommen in die Schweiz..* Tages Anzeiger.
- IDC. (2018). *Outsourcing: Da gibt es nichts zu überlegen – Outsourcing-Trends in Westeuropa*.
- Jakob, M., Forster, R., & Altenburger, A. (2015). *Wettbewerbliche Ausschreibungen für Effizienzmassnahmen im Elektrizitätsbereich. Abschlussbericht Programm 2-Pg125 LowEx-Rechenzentrum*. Amstein+Walthert, TEP Energy, Jobst Willers Engineering.
- Johnsson, L. (2015). *The Impact of Moore's law and loss of Dennard Scaling*.
- Lee, K. C. (2020). *Parallel Computing – Upgrade your data Science with a GPU*. Retrieved January 12, 2020, from <https://towardsdatascience.com/parallel-computing-upgrade-your-data-science-with-a-gpu-bba1cc007c24>
- Montevecchi, F., Stickler, T., Hintemann, R., Hinterholzer, S. (2020). *Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market. Final Study Report*. Vienna. Retrieved from <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/energy-efficient-cloud-computing-technologies-and-policies-eco-friendly-cloud-market>
- Netzmedien AG. (2017). *Marktübersicht Schweizer Rechenzentren 2017*.
- Netzmedien AG. (2020). *Marktübersicht Schweizer Rechenzentren 2020*.
- Ott, A. (2020). *Amazon plant Rechenzentren in der Schweiz*. Retrieved November 5, 2020, from <https://www.srf.ch/news/schweiz/geschaeft-mit-daten-amazon-plant-rechenzentren-in-der-schweiz>
- Profondia AG. (2020a). *ICT Datenbank*.
- Profondia AG. (2020b). *IT-Markt Report 2020*.
- PUEDA. (2015). *Förderprogramm PUEDA (Power Usage Effectiveness in Data Centers)*

2010-2015.

Puntsagdash, G., Hass, O., Bersier, R. L., Zwygart, M., & Blättler, P. (2015). *Studie zur Stromeffizienz bei Rechenzentren in der Schweiz – Potentialanalyse und Massnahmenkatalog für Effizienzsteigerung IT-Hardware und Infrastruktur*. Amstein+Walthert (A+W) i.A. Swiss Federal Office of Energy. Berne.

Rotman, D. (2020). *We're not prepared for the end of Moore's Law*. Retrieved January 12, 2020, from <https://www.technologyreview.com/2020/02/24/905789/were-not-prepared-for-the-end-of-moores-law/>

Schröder, M. (2019). *Die Hyperscaler in der Schweiz*. Retrieved November 4, 2020, from <https://www.computerworld.ch/business/cloud/hyperscaler-in-schweiz-1715605.html>

SDEA. (2019). *Tool für DC Efficiency IT der SDEA, unveröffentlicht*.

STATENT. (2018). *Arbeitsstätten und Beschäftigte nach Kanton und Grössenklasse*. Retrieved October 27, 2020, from https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0602010000_109/px-x-0602010000_109/px-x-0602010000_109.px

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abgeschätzter Stromverbrauch in RZ/SR der Schweiz sowie verbleibendes Energieeffizienzpotenzial.	4
Illustration 2: Estimation de la consommation d'électricité et du potentiel d'efficacité énergétique restant des CdC/SdS en Suisse.	7
Figure 3: Estimated electricity consumption and energy efficiency potential in Swiss DC/SR.	10
Abbildung 4: Rücklauf über die Zeit. Die schwarze Trennlinie markiert das Versanddatum des Erinnerungsschreibens. Definition der Segmente siehe Tabelle 1.	18
Abbildung 5: Illustration der Hochrechnung des aktuellen Stromverbrauchs auf die Schweiz. Direkt ermittelter Stromverbrauch aus der Erhebung (violett), hochgerechneter Stromverbrauch auf Ebene Profondiadatenbank (türkis) sowie hochgerechneter Anteil auf die Schweiz (grün).	20
Abbildung 6: Nutzfläche in den RZ/SR für die Segment A, B und C: Anzahl bezogene Häufigkeitsverteilung. Für diese Frage sind n = 713 Antworten eingegangen (A:29, B:553, C:131).	29
Abbildung 7: Anzahl physischer Server in den Segmenten A, B und C (anzahlbezogene Häufigkeitsverteilung). Zu dieser Frage sind n = 709 Antworten eingegangen (A:22, B:558, C:129).	29
Abbildung 8: Installierte elektrische IT-Leistung für die drei Segmente A, B und C: Anzahl bezogene Häufigkeitsverteilung. Die Anzahl Antworten auf diese Frage beträgt n = 449 (A:25, B:345, C:79).	30
Abbildung 9: Stromverbrauch des RZ/SR pro Jahr für die Segment A, B und C: Anzahl bezogene Häufigkeitsverteilung. Die Anzahl Antworten beträgt n = 384 (A:23, B:287, C:74).	30
Abbildung 10: log(Stromverbrauch in MWh) als Funktion von Fläche, Serveranzahl und Segment anhand eines log-log-Ansatzes gemäss Modell i. Die Grösse der Datenpunkte widerspiegelt die Serveranzahl, wobei zur Illustration der Modellgerade die Serveranzahl jeweils pro Abbildung a) – d) konstant gehalten wurde (gemäss Beschriftung der Grafik).	32
Abbildung 11: log(Stromverbrauch in MWh) als Funktion von Nutzfläche und Segment mit einem log-log-Ansatz gemäss Modell ii.	34
Abbildung 12: log(Stromverbrauch in MWh) als Funktion von Serveranzahl und Segment mit einem log-log-Ansatz gemäss Modell iii.	35
Abbildung 13: Stromverbrauch der RZ/SR aus dem Segment B, welche mittels Methode 1 oder 2 ermittelbar sind. Fünf Grossverbraucher mit mehr als 20 GWh/Jahr sind für über 60% des Stromverbrauchs verantwortlich.	38
Abbildung 14: Stromverbrauch hochgerechnet für die Segmente A-C sowie für Segment B* (Grossverbraucher) auf Ebene Profondiadatenbank.	39
Abbildung 15: Stromverbrauch in GWh auf Ebene Schweiz differenziert nach Segmenten und Szenarien. Für Werte siehe Tabelle 25 im Anhang.	41
Abbildung 16: Bereits umgesetzte Energieeffizienzmassnahmen für die Segmente A, B und C (Mehrfachnennungen möglich). Anzahl Antworten: n = 615 (A:25, B:472, C:118).	42

Abbildung 17: Kühlung der RZ/SR in den Segmenten A, B und C. Zu dieser Frage sind n = 739 Antworten eingegangen (A:29, B:574, C:136).	43
Abbildung 18: Systemraumtemperatur am Eintritt der Server in den Segmenten A und B. Zu dieser Frage sind n = 546 Antworten eingegangen (A:29, B:517).	44
Abbildung 19: PUE-Werte für die beiden Segmente A und B. n = 114 (A:22, B:92) haben einen PUE angegeben. 553 Teilnehmer kennen den PUE nicht oder haben ihn nicht angegeben.	45
Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung der PUE-Klassen im Vergleich zur Serveranzahl (links: Rückmeldung mit Angabe PUE, rechts: Rückmeldung inkl. nicht bekannter bzw. nicht angegebener PUE)	45
Abbildung 21: Ermittelter PUE aus Erhebung sowie für vier Datenimputations-Szenarien für die Segmente A (n = 22) und B (n = 92).	47
Abbildung 22: Umgesetzte Energieeffizienzmassnahmen im Segment B für RZ mit bzw. ohne PUE-Angabe.	47
Abbildung 23: Verteilung Speichertechnologien (links) und Backup-Systeme (rechts) in den einzelnen RZ (x-Achse) für die Segmente A und B.	48
Abbildung 24: Mittlere elektrizitätsbezogene Auslastung der IT-Komponenten (Server, Storage, Network) für die beiden Segmente A und B. Die Anzahl Antworten beträgt n = 500 (A:26, B:474).	49
Abbildung 25: Verteilung IT-Effizienzfaktoren für verschiedene Szenarien und pro Segment A (links) und B (rechts).	49
Abbildung 26: Schematische Darstellung der IT- und infrastrukturseitigen Effizienzpotenziale.	50
Abbildung 27: Infrastrukturseitige Energieeffizienzpotenziale anhand der verschiedenen Szenarien Median, Normalfall, Worst case, Best case sowie Best guess.	52
Abbildung 28: IT-seitige Energieeffizienzpotenziale anhand der verschiedenen Szenarien Median, Normalfall, Worst case, Best case sowie Best guess.	53
Abbildung 29: IT- und Infrastrukturseitiges Energieeffizienzpotenzial anhand der verschiedenen Szenarien Median, Normalfall, Worst case und Best case sowie Best guess.	54
Abbildung 30: Wasserfalldiagramm zum Vergleich der beiden Studien aus dem Jahr 2013 und 2019. Grün und orangemarkierte Flächen illustrieren eine Zunahme des Stromverbrauchs, rot markierte Flächen eine Abnahme.	58
Abbildung 31: Nutzerstandort (Endkunden) der RZ-Dienstleister im Segment A. 29 RZ-Teilnehmer haben die Frage beantwortet.	61
Abbildung 32: Infrastrukturseitige Energieeffizienzmassnahmen sowie das Reduktionspotenzial. Wobei die Farben rot, blau und grün jeweils den „Worst case“, „Normalfall“ sowie „Best case“ darstellen (Altenburger, 2004; Altenburger et al., 2014; PUEA, 2015).	74
Abbildung 33: IT-seitige Energieeffizienzmassnahmen sowie das Reduktionspotenzial, wobei die Farben blau und grün jeweils den „Normalfall“ sowie „Best case“ darstellen. Der „Worst case“ als Basis wird mit dem Faktor 1 dargestellt (Puntsagdash et al., 2015; SDEA, 2019).	75
Abbildung 34: Luftführung in den RZ im Segment A. Zu dieser Frage sind n = 28 Antworten eingegangen.	76

Abbildung 35: Kühlwassertemperatur in den RZ im Segment A. Zu dieser Frage sind n = 23 Antworten eingegangen.	76
Abbildung 36: Wärmesenken für die RZ im Segment A. Zu dieser Frage sind n = 28 Antworten eingegangen.	76
Abbildung 37: log(Serveranzahl) und log(IT-Leistung) in kW als Funktion der Nutzfläche für die Segmente A, B und C.	77
Abbildung 38: Ausgelagerte IT-Prozesse/-Anwendungen in den Segmenten B und C. Zu dieser Frage sind n = 677 Antworten eingegangen (B:496, C:181).	79
Abbildung 39: Gründe für die Auslagerung von IT-Prozessen/-Anwendungen in den Segmenten B und C. n = 516 (B:368, C:148).	79
Abbildung 40: Gründe für "keine Auslagerung". Die Anzahl Antworten beträgt n = 160 (B:129, C:31).	80
Abbildung 41: Zukünftig geplante Auslagerung von IT-Prozessen/-Anwendungen. n = 662 (B:488, C:174).	80
Abbildung 42: Strategie bei Auslagerungen im Segment B. n = 355.	81
Abbildung 43: Beanspruchte Dienstleister für Auslagerungen. n = 494 (B: 356, C: 138).	81
Abbildung 44: Antworten zur Frage "Haben Sie aufgrund der aktuellen Coronasituation ein zunehmendes Interesse an RZ-Dienstleistungen wahrgenommen?" im Segment A. n = 24.	81
Abbildung 45: Auslagerungstendenzen aufgrund der aktuellen Coronasituation im Segment B. Ein Grossteil der Antwortenden gibt keinen Einfluss an. Insgesamt haben 291 Teilnehmer diese Frage beantwortet.	82
Abbildung 46: Anzahl virtueller Server im Segment A. 22 Teilnehmer diese Frage beantwortet.	82
Abbildung 47: Virtualisierung der Server n = 697 (B:560, C:137) Teilnehmer haben diese Frage beantwortet.	82
Abbildung 48: Belegte/vermietete Fläche im Segment A. n = 29.	83
Abbildung 49: Antworten im Segment A auf die Frage „Ist in Zukunft eine Flächenerweiterung geplant?“. N = 29.	83
Abbildung 50: Installierte thermische Kälteleistung. n = 471 (A: 18, B:382, C:71).	83
Abbildung 51: Abwärmenutzung in den Segmenten A und B. n = 515 (A:27, B:488).	84
Abbildung 52: Anteil der thermischen Energie, welche durch Abwärmenutzung zurückgewonnen wird. Die Frage wurde nur dem Segment A gestellt. n = 9 Antworten.	84
Abbildung 53: Baujahr der RZ/SR in den Segmente A und B. n = 557 (A:30, B:543).	84
Abbildung 54: Redundanzauslegung der Infrastruktur für RZ im Segment A. n =27.	85
Abbildung 55: Maximale Betriebszeit der unterbruchfreien Stromversorgung (USV) für RZ im Segment A. n = 14.	85
Abbildung 56: Maximale Betriebszeit der Netzersatzanlage (NEA) für RZ im Segment A. n =19.	85
Abbildung 57: Elektrische Anschlussleistung der RZ im Segment A. n = 26 Antworten sind eingegangen.	86
Abbildung 58: IT-Stromverbrauch der RZ im Segment A. n = 23.	86
Abbildung 59: Anzahl Transformatoren für RZ im Segment A. n =18. Die Transformatorenleistungen bewegen sich zwischen 1000 und 9000 kVA.	86

Abbildung 60: Wirkfaktor $\cos \phi$ im Segment A. n = 15 Antworten sind eingegangen, wovon 8 Teilnehmer «Weiss nicht» als Antwort ausgewählt haben.	87
Abbildung 61: Eigenstromerzeugung im Segment A. Zu dieser Frage sind n = 26 Antworten eingegangen. Die Eigenstromerzeugung erfolgt in sämtlichen RZ mit PV und beträgt weniger als 1 MWh pro Jahr.	87
Abbildung 62: Stromverbrauch der Grossverbraucher (Segment B*) aufgeteilt nach Branchen.	87
Abbildung 63: Übersicht der Nicht-Antwortenden-Quote (keine Angabe, Weiss nicht etc.) pro Frage und Segment, jeweils bezogen auf die Anzahl Teilnehmer, welche die Frage bekommen haben. Ein Grossteil der Fragen wurde nicht für alle Segmente gestellt.	88

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der drei Segmente für die Erhebung	17
Tabelle 2: Versand, Rücklauf, Abmeldungen sowie Brutto- und Nettorücklaufquote pro Segment. RZ-Dienstleister mit mehr als einem RZ haben nur einen Brief bekommen, mit der Bitte die Erhebung für mehrere RZ auszufüllen.	19
Tabelle 3: Übersicht der Verfahren und Datenquellen zur Herleitung des Stromverbrauchs aus der Stichprobe der Erhebung.	21
Tabelle 4: Verwendungszweck und ihr jeweiliger Anteil am infrastrukturseitigen Stromverbrauch.	24
Tabelle 5: Maximaler Infrastrukturanteil am PUE abhängig in Abhängigkeit vom Stand der Technik	25
Tabelle 6: Verwendungszweck und Anteil am IT-seitigen Stromverbrauch. Konsultierte Experten kommen auf ähnliche Schätzwerte.	26
Tabelle 7: Anzahl Antworten (n), Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (sd) für verschiedene Grössen aus der Erhebung differenziert nach Segmenten.	28
Tabelle 8: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Werte für Modell i. zur Schätzung des log(Stromverbrauch in MWh).	31
Tabelle 9: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Werte für Modell ii. zur Schätzung des log(Stromverbrauch in MWh).	33
Tabelle 10: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert für Modell iii. zur Schätzung des log(Stromverbrauch in MWh).	34
Tabelle 11: Angewendete Methoden sowie Modellansätze zur Schätzung des Stromverbrauchs für die RZ mit Angaben in der Erhebung (Stichprobe).	36
Tabelle 12: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert für Modell iv. zur Schätzung des log(Stromverbrauch in MWh) im Segment A.	37
Tabelle 13: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert für Modell v. zur Schätzung des Log(Stromverbrauchs in MWh) der Segmente B und C.	37
Tabelle 14: Angenommene Abdeckungsgrade für die drei Szenarien für die Segmente A/B*.	39
Tabelle 15: Anzahl Beschäftigte pro Grössenklasse der Arbeitsstätte in STATENT (STATENT, 2018) sowie in der Profondiadatenbank (Profondia AG, 2020a)	40
Tabelle 16: Anzahl Arbeitsstätten pro Grössenklasse in STATENT (STATENT, 2018) sowie in der Profondiadatenbank (Profondia AG, 2020a).	40
Tabelle 17: Szenarien mit unterschiedlichem Abdeckungsgrad der Profondiadatenbank bzgl. dem Segment B bezogen auf die gesamte Schweiz.	40
Tabelle 18: Effizienzpotenziale bezogen auf den aktuellen Stromverbrauch für die Segmente A, B, B* differenziert nach Szenario. Fett hervorgehoben der Best guess (Normalfall für B/B*, Best case für A).	51
Tabelle 19: Effizienzpotenziale bezogen auf den aktuelle Stromverbrauch für die Segmente A,B,B* differenziert nach Szenario. Fett hervorgehoben der "Best guess".	53
Tabelle 20: Stromverbrauch aus den beiden Studien für 2013 (Altenburger et al., 2014) und 2019.	56
Tabelle 21: Vergleich RZ-Flächen (Drittanbieter) und Serveranzahl (Interne RZ/SR) für die Jahre 2013 und 2019.	56

Tabelle 22: Einflussfaktoren, Erklärungen sowie geschätzte Auswirkungen auf den Stromverbrauch aus der vorliegenden Studie im Vergleich zu Altenburger et al. (2014) im Sinne eines Back-casting. Zur einfacheren Lesbarkeit werden die Vorzeichen bezogen auf zeitliche Entwicklung ausgedrückt. (d.h. +227 GWh im Jahr 2019 aufgrund der weiteren Systemgrenze).	59
Tabelle 23: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert für das Modell v. zur Schätzung des Log(Stromverbrauchs).	73
Tabelle 24: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert zur Schätzung des Log(Stromverbrauchs) im Segment C.	73
Tabelle 25: Stromverbrauch [GWh] in den verschiedenen Szenarien differenziert nach Segment.	73
Tabelle 26: Bereits umgesetzte Energieeffizienzmassnahmen sowie Gewichtungspunkte	77
Tabelle 27: Einteilung der RZ/SR bzgl. dem Stand der Technik (Alt, Normalfall, Neu).	78

Anhang 1: Weitere Grafiken und Tabellen

Tabelle 23: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert für das Modell v. zur Schätzung des Log(Stromverbrauchs).

Variable	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik	p-Wert
Intercept	0.68	0.51	1.33	1.86e-01
log(PC)	0.59	0.10	6.08	4.01e-09***
C	-1.16	0.31	-3.74	2.20e-04***
Branche BAN	1.51	0.60	2.52	1.22e-02*
Branche BGB	0.85	0.29	2.96	3.33e-03**
Branche INF	0.68	0.37	1.86	6.42e-02
RSE: 1.84, R ² : 0.31, Adj. R ² : 0.30			*** 0.001, ** 0.01, *0.05	

Tabelle 24: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Wert zur Schätzung des Log(Stromverbrauchs) im Segment C.

Variable	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik	p-Wert
Intercept	0.97	0.44	2.19	2.94e-02*
log(MA)	0.61	0.09	7.02	1.69e-11***
Segment C	-1.62	0.28	-5.78	1.96e-8***
RSE: 1.84, R ² : 0.30, Adj. R ² : 0.30			*** 0.001, ** 0.01, *0.05	

Tabelle 25: Stromverbrauch [GWh] in den verschiedenen Szenarien differenziert nach Segment.

Variable	Segment A	Segment B	Segment B*	Segment C	Total
Szenario 1	897	497	725	253	2372
Szenario 2	785	441	634	227	2087
Szenario 3	698	391	564	200	1853

Nr.	Massnahmenkombination	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	Systemraumtemperatur < 20°C	1.00	0.80	0.40	0.25																			
2	Systemraumtemperatur 20-26°C	0.90	0.60	0.30	0.20																			
3	Systemraumtemperatur > 26°C	0.80	0.40	0.20	0.15																			
4	Kältemaschinenkühlung 100%					1.00	0.90	0.80	0.70															
5	Mix-Kühlung 50% KM und 50% FC					0.80	0.60	0.40	0.30															
6	Freecooling 100%					0.40	0.30	0.20	0.10															
7	Keine aktive Kühlung					0.25	0.20	0.15	0.10															
8	Kaltwassersystemtemperatur < 17°C									1.00	0.10	0.15												
9	Kaltwassersystemtemperatur 17-23°C									0.90	0.10	0.15												
10	Kaltwassersystemtemperatur 23-28°C									0.80	0.10	0.15												
11	Kaltwassersystemtemperatur > 28°C									0.70	0.10	0.15												
12	Wärmesenke Aussenluft												1.00	0.95	0.90									
13	Wärmesenke Grundwasser												0.10	0.10	0.10									
14	Wärmesenke Seewasser												0.15	0.15	0.15									
15	Luftführung Doppelboden															1.00	0.90	0.80						
16	Luftführung Kalt/Warmgang															0.95	0.85	0.75						
17	Luftführung Rackintern															0.90	0.80	0.70						
18	Redundanz n+0																		0.96	0.98	1.00			
19	Redundanz n+1																		0.91	0.93	0.95			
20	Redundanz 2n																		0.86	0.88	0.90			
21	USV-Autonomiezeit < 5'																					0.90	0.65	0.50
22	USV-Autonomiezeit < 15'																					0.90	0.65	0.50
23	USV-Autonomiezeit > 15'																					0.90	0.65	0.50
24	Abwärmenutzung < 20%																							
25	Abwärmenutzung 20-50%																							
26	Abwärmenutzung > 50%																							

Abbildung 32: Infrastrukturseitige Energieeffizienzmassnahmen sowie das Reduktionspotenzial. Wobei die Farben rot, blau und grün jeweils den „Worst case“, „Normalfall“ sowie „Best case“ darstellen (Altenburger, 2004; Altenburger et al., 2014; PUEDA, 2015).

Massnahme/Kombination		Wert
Auslastung 0%		1.00
Auslastung 1%-20%		0.92
Auslastung 21%-40%		0.80
Auslastung 41%-60%		0.66
Auslastung mehr als 60%		0.50
Speicher Flash 0%	Speicher HDD 100%	1.00
Speicher Flash 1%-20%	Speicher HDD 80-99%	0.90
Speicher Flash 21%-40%	Speicher HDD 60-79%	0.80
Speicher Flash 41%-60%	Speicher HDD 40-59%	0.70
Speicher Flash 61%-80%	Speicher HDD 20-39%	0.60
Speicher Flash 81%-100%	Speicher HDD 0%-19%	0.50
Backup Band 0%	Backup Disk 100%	1.00
Backup Band 1%-20%	Backup Disk 80-99%	0.94
Backup Band 21%-40%	Backup Disk 60-79%	0.84
Backup Band 41%-60%	Backup Disk 40-59%	0.72
Backup Band 61%-80%	Backup Disk 20-39%	0.60
Backup Band 81%-100%	Backup Disk 0%-19%	0.50
Weitere Verbräuche		1.00
Weitere Verbräuche		0.90
Weitere Verbräuche		0.50

Abbildung 33: IT-seitige Energieeffizienzmassnahmen sowie das Reduktionspotenzial, wobei die Farben blau und grün jeweils den „Normalfall“ sowie „Best case“ darstellen. Der „Worst case“ als Basis wird mit dem Faktor 1 dargestellt (Puntsagdash et al., 2015; SDEA, 2019).

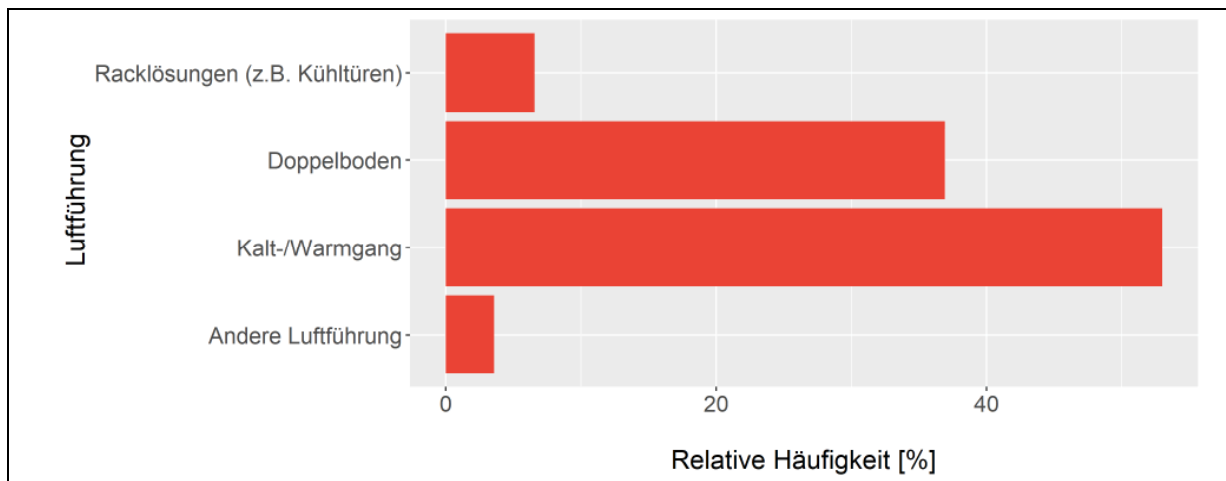


Abbildung 34: Luftführung in den RZ im Segment A. Zu dieser Frage sind n = 28 Antworten eingegangen.

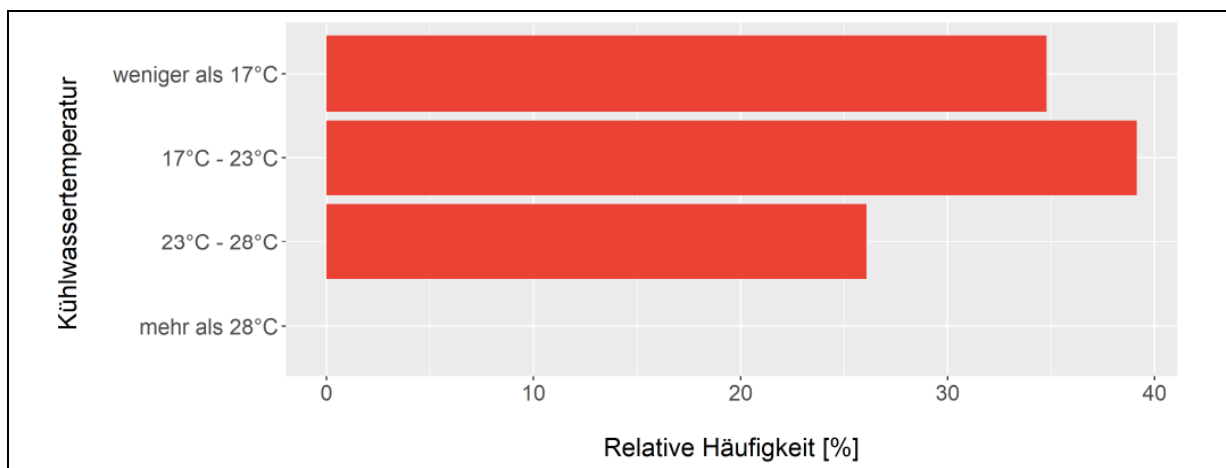


Abbildung 35: Kühlwassertemperatur in den RZ im Segment A. Zu dieser Frage sind n = 23 Antworten eingegangen.

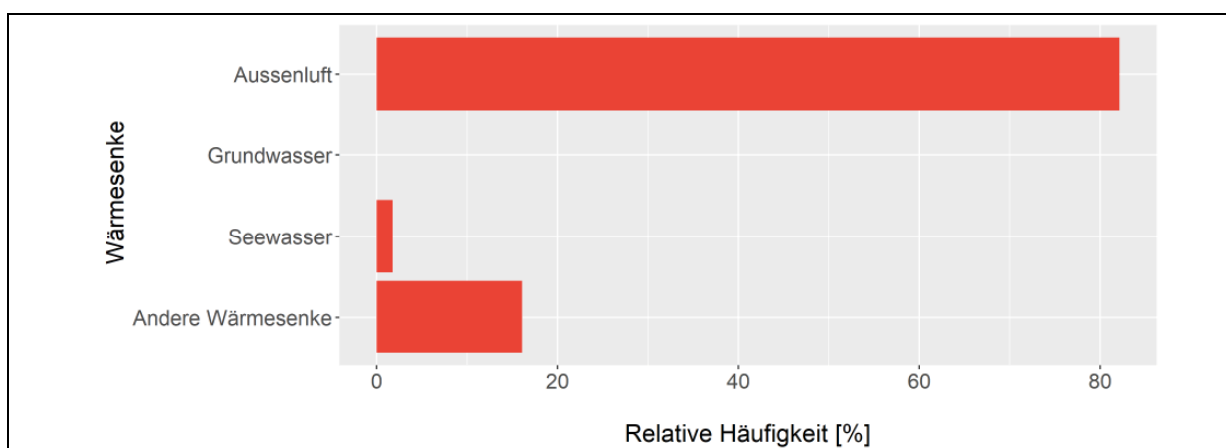


Abbildung 36: Wärmesenken für die RZ im Segment A. Zu dieser Frage sind n = 28 Antworten eingegangen.

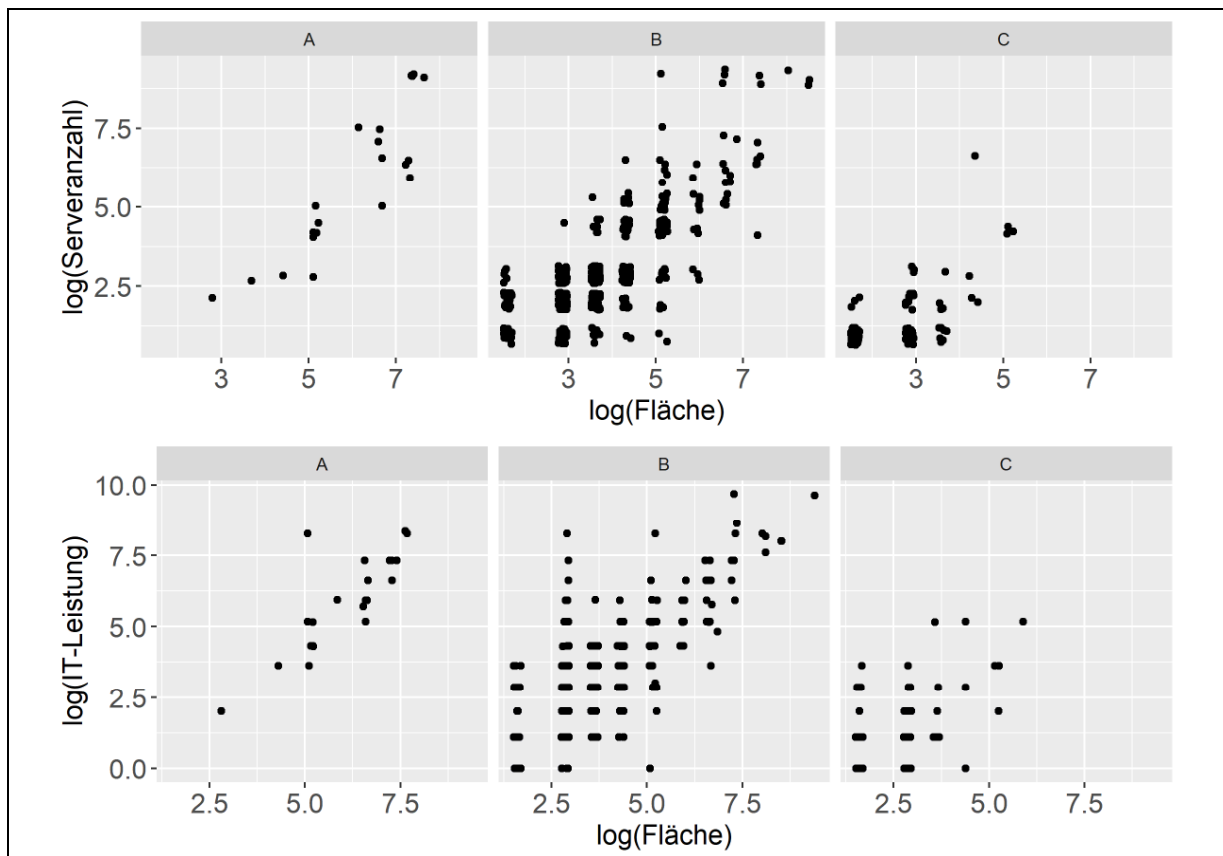


Abbildung 37: $\log(\text{Serveranzahl})$ und $\log(\text{IT-Leistung})$ in kW als Funktion der Nutzfläche für die Segmente A, B und C.

Tabelle 26: Bereits umgesetzte Energieeffizienzmassnahmen sowie Gewichtungspunkte

Umgesetzte Energieeffizienzmassnahmen	Gewichtungspunkte
Integrale Planung inkl. Abwärmenutzung	1
Hohe Systemtemperaturen	5
Nutzung von Free-Cooling	5
Variable Regelung der Luftmengen	3
Trennung der Kalt- und Warmgänge	5
Einhausung der Serverracks	5
Teillastoptimierung der USV	2
Modulare Systemkonfiguration	2
Hoher Wirkungsgrad/COP der Kälteerzeugung	5
Parameter-Einstellungen im MSR-Bereich	3
Messungen und Lastganganalyse	1
Lichtsteuerung	1

Quelle: TEP Energy, HSLU

Tabelle 27: Einteilung der RZ/SR bzgl. dem Stand der Technik (Alt, Normalfall, Neu).

Variable	Alt	Normalfall	Neu
Segment A	3%	61%	36%
Segment B	23%	74%	4%



Abbildung 38: Ausgelagerte IT-Prozesse/-Anwendungen in den Segmenten B und C. Zu dieser Frage sind n = 677 Antworten eingegangen (B:496, C:181).

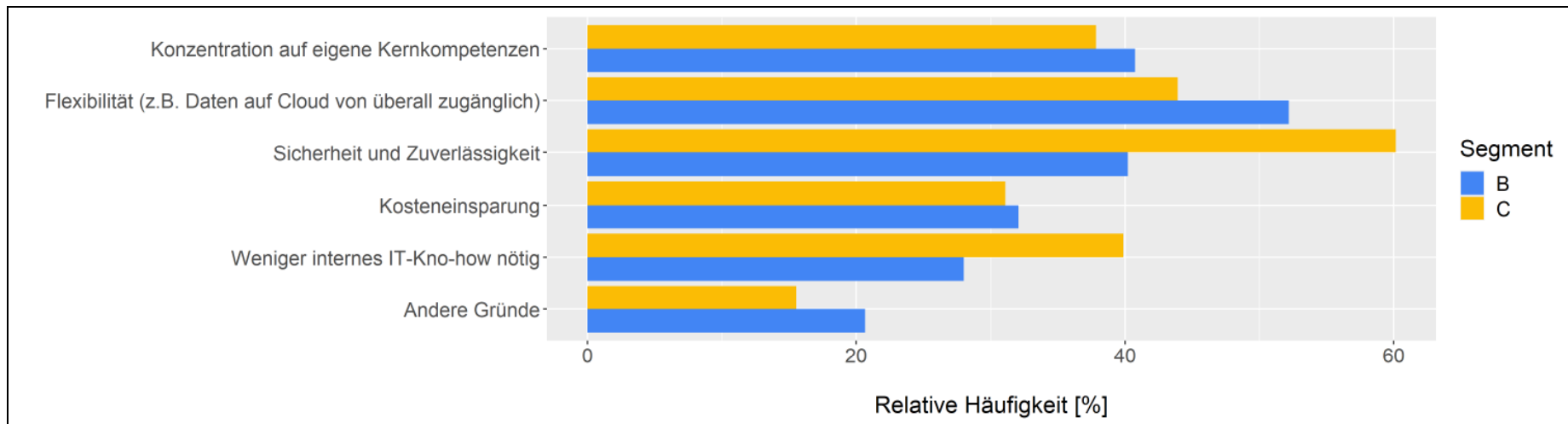


Abbildung 39: Gründe für die Auslagerung von IT-Prozessen/-Anwendungen in den Segmenten B und C. n = 516 (B:368, C:148).

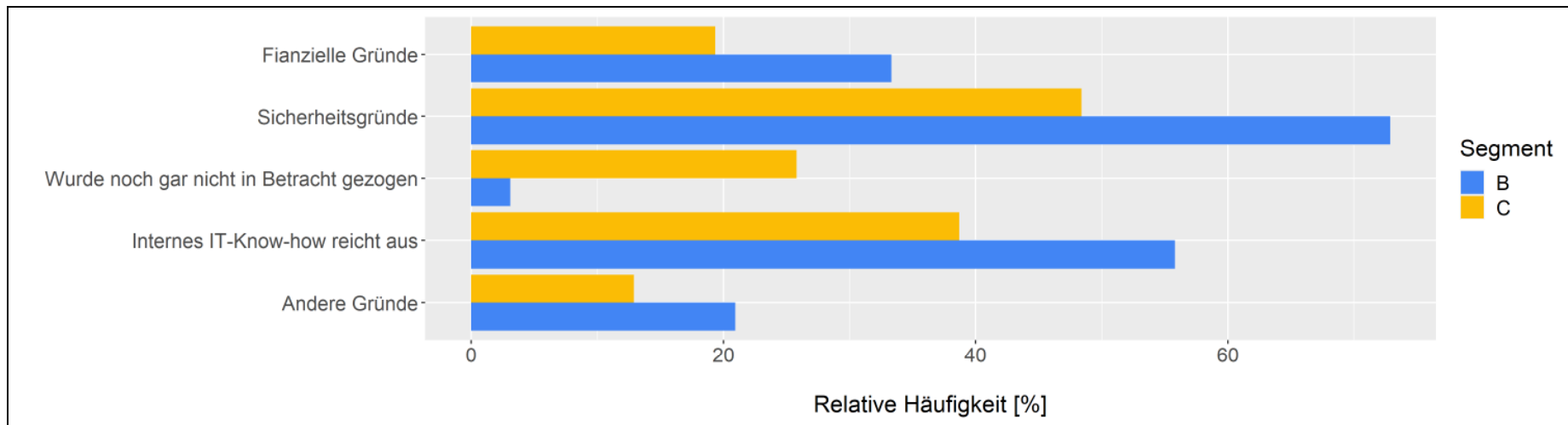


Abbildung 40: Gründe für "keine Auslagerung". Die Anzahl Antworten beträgt n = 160 (B:129, C:31).

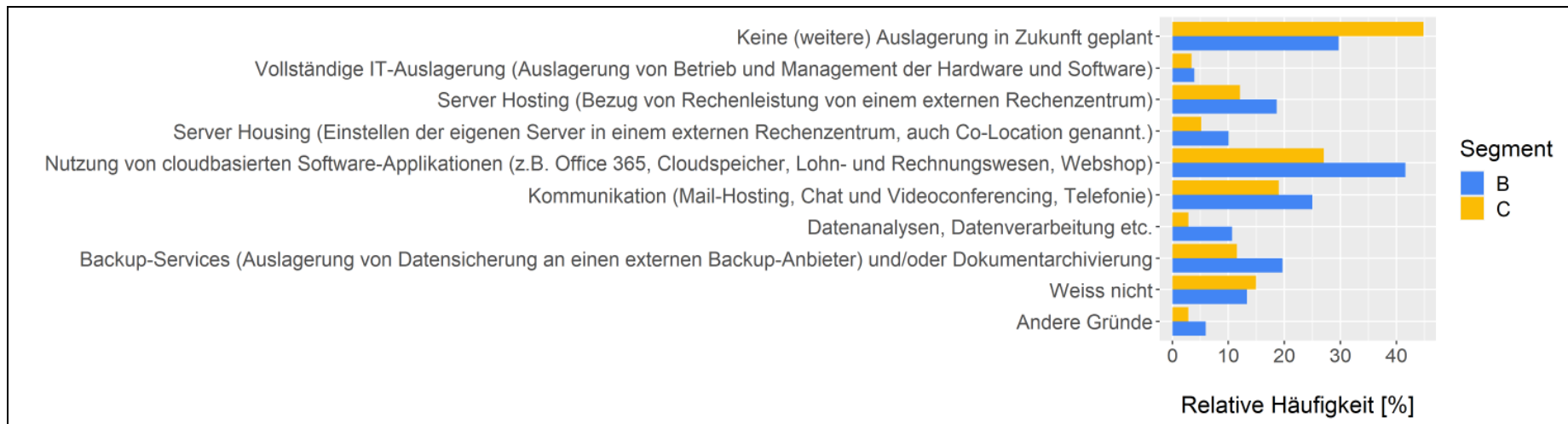


Abbildung 41: Zukünftig geplante Auslagerung von IT-Prozessen/-Anwendungen. n = 662 (B:488, C:174).

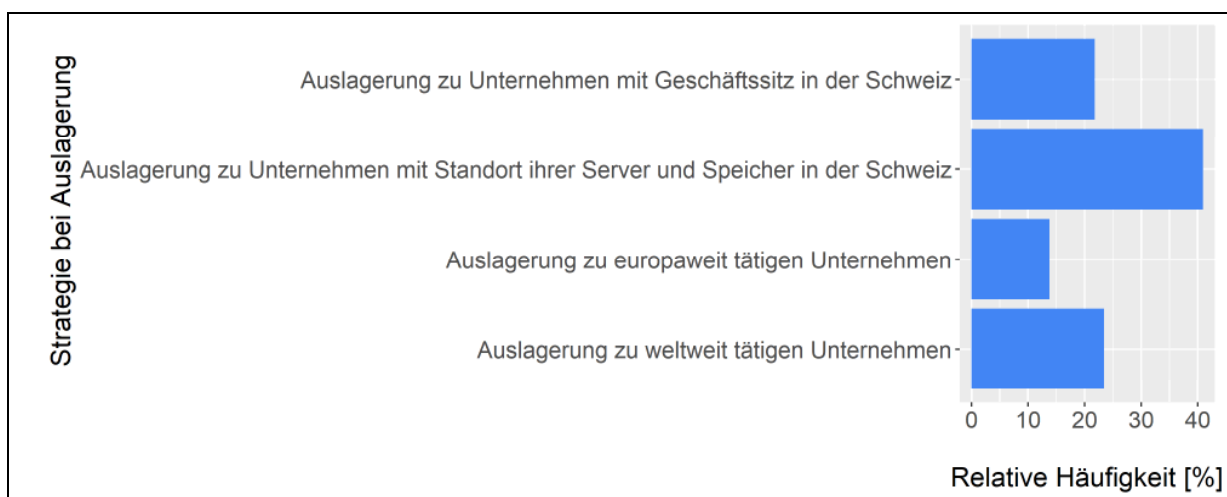


Abbildung 42: Strategie bei Auslagerungen im Segment B. n = 355.

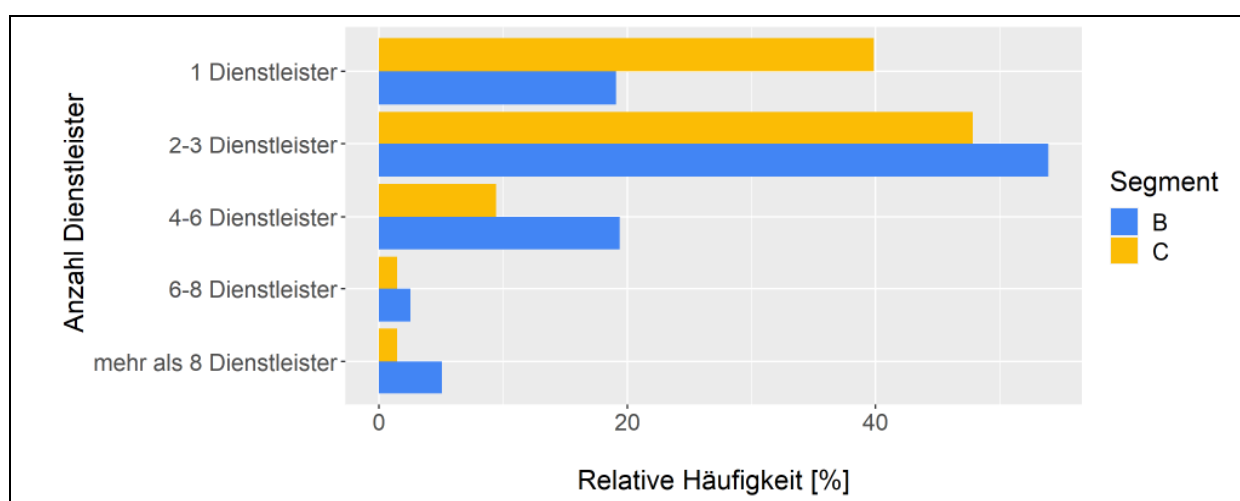


Abbildung 43: Beanspruchte Dienstleister für Auslagerungen. n = 494 (B: 356, C: 138).

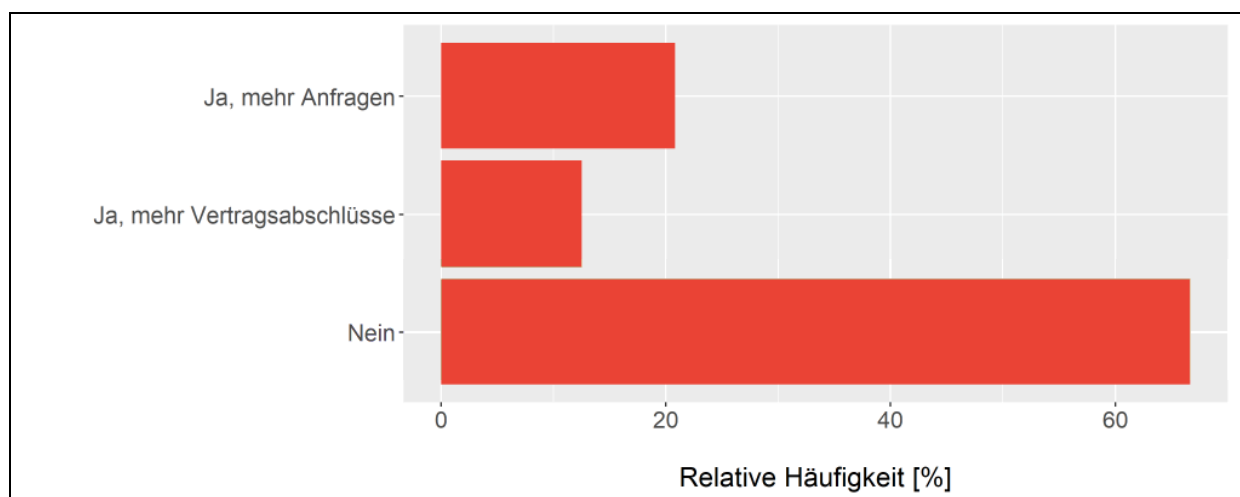


Abbildung 44: Antworten zur Frage "Haben Sie aufgrund der aktuellen Coronasituation ein zunehmendes Interesse an RZ-Dienstleistungen wahrgenommen?" im Segment A. n = 24.

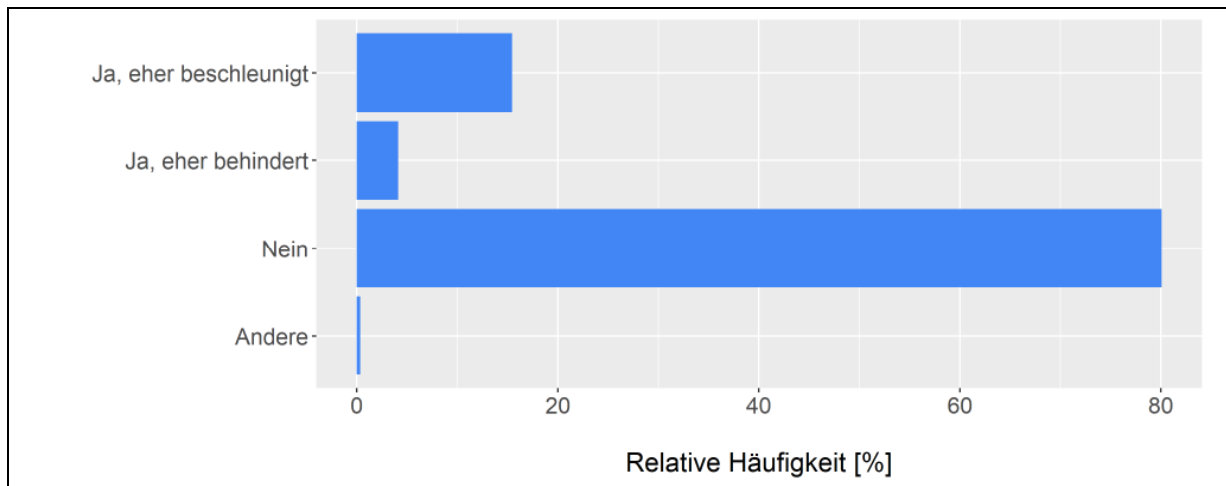


Abbildung 45: Auslagerungstendenzen aufgrund der aktuellen Coronasituation im Segment B. Ein Grossteil der Antwortenden gibt keinen Einfluss an. Insgesamt haben 291 Teilnehmer diese Frage beantwortet.

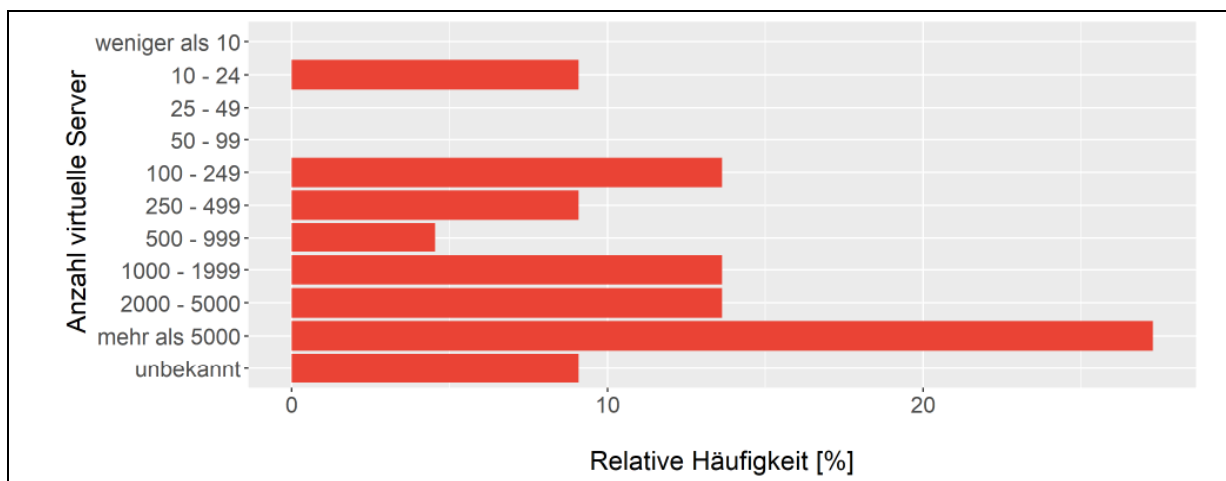


Abbildung 46: Anzahl virtueller Server im Segment A. 22 Teilnehmer diese Frage beantwortet.

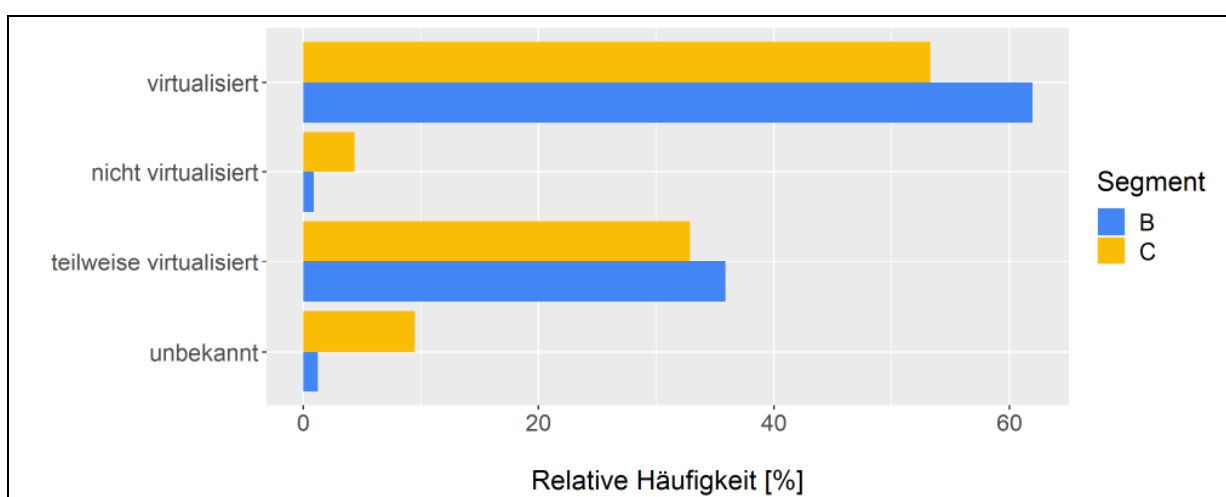


Abbildung 47: Virtualisierung der Server n = 697 (B:560, C:137) Teilnehmer haben diese Frage beantwortet.

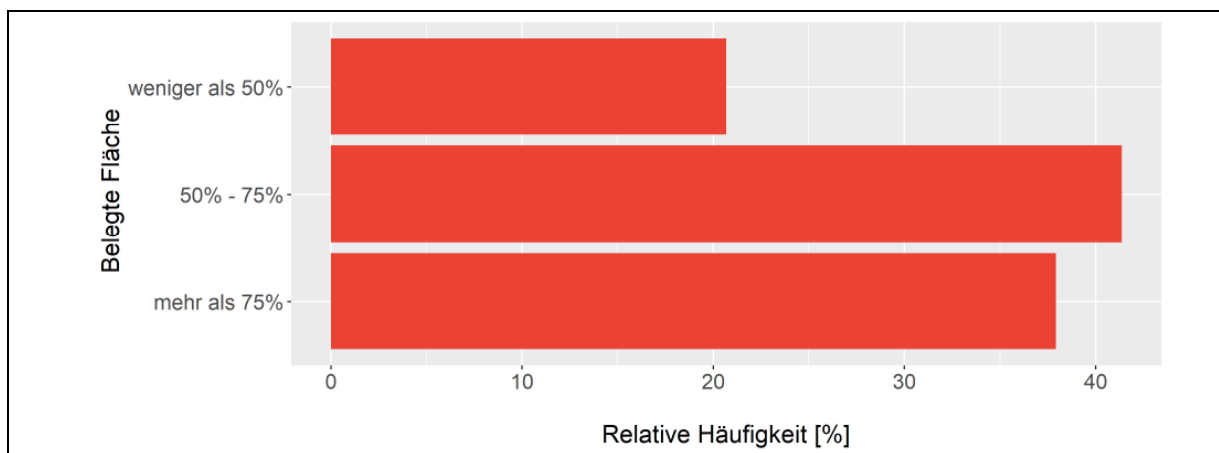


Abbildung 48: Belegte/vermietete Fläche im Segment A. n = 29.

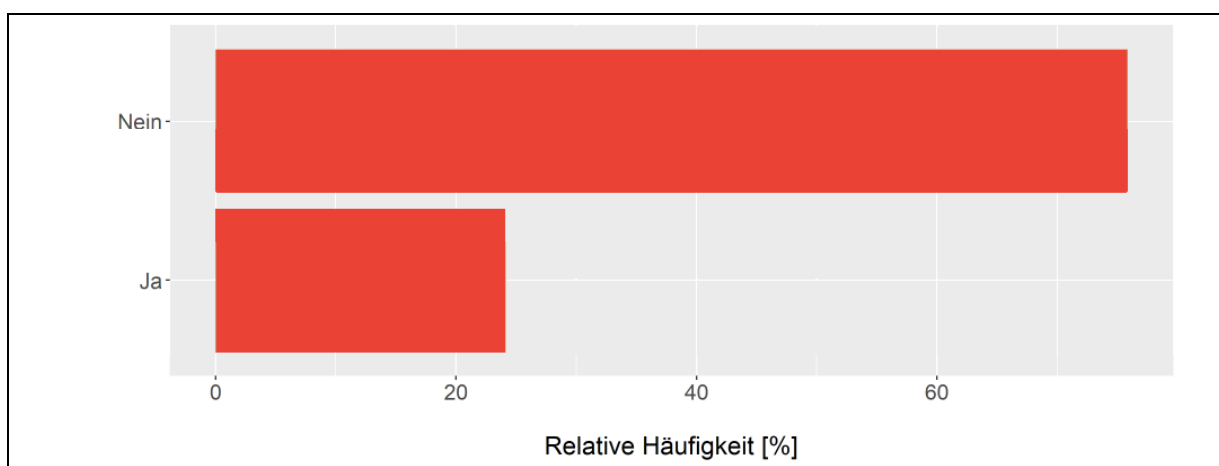


Abbildung 49: Antworten im Segment A auf die Frage „Ist in Zukunft eine Flächenerweiterung geplant?“. N = 29.

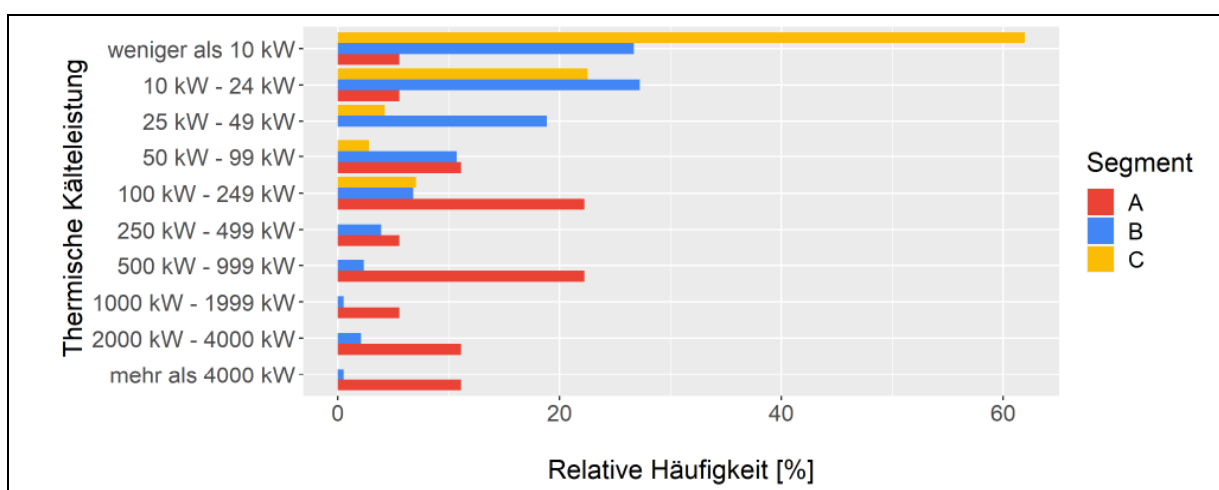


Abbildung 50: Installierte thermische Kälteleistung. n = 471 (A: 18, B:382, C:71).

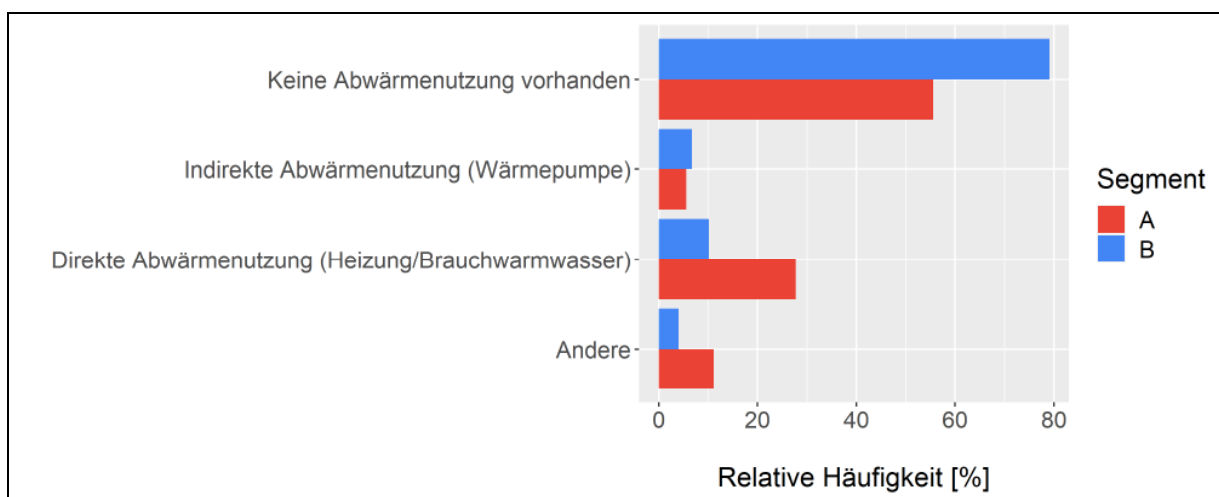


Abbildung 51: Abwärmenutzung in den Segmenten A und B. n = 515 (A:27, B:488).

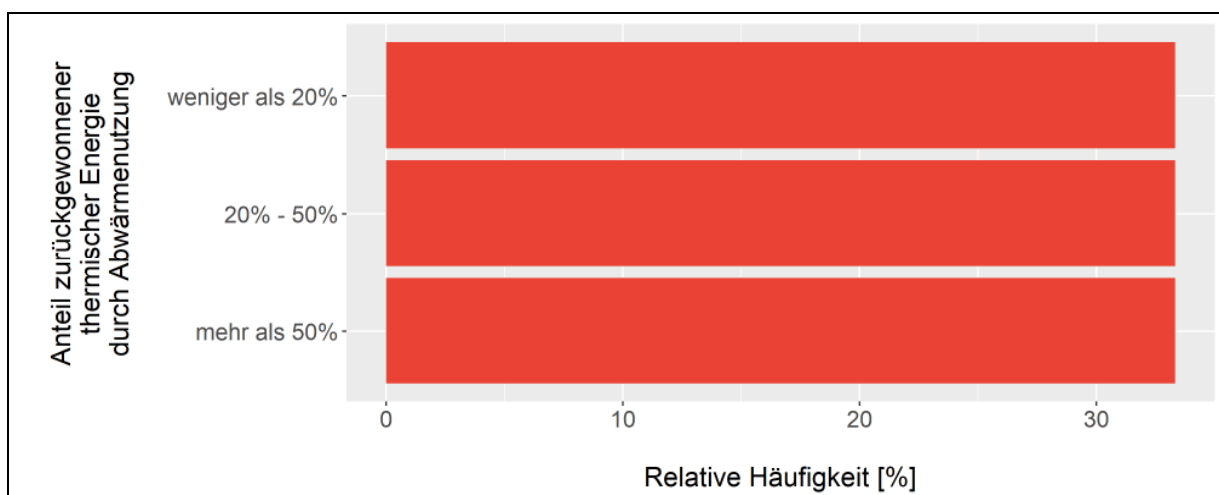


Abbildung 52: Anteil der thermischen Energie, welche durch Abwärmenutzung zurückgewonnen wird. Die Frage wurde nur dem Segment A gestellt. n = 9 Antworten.

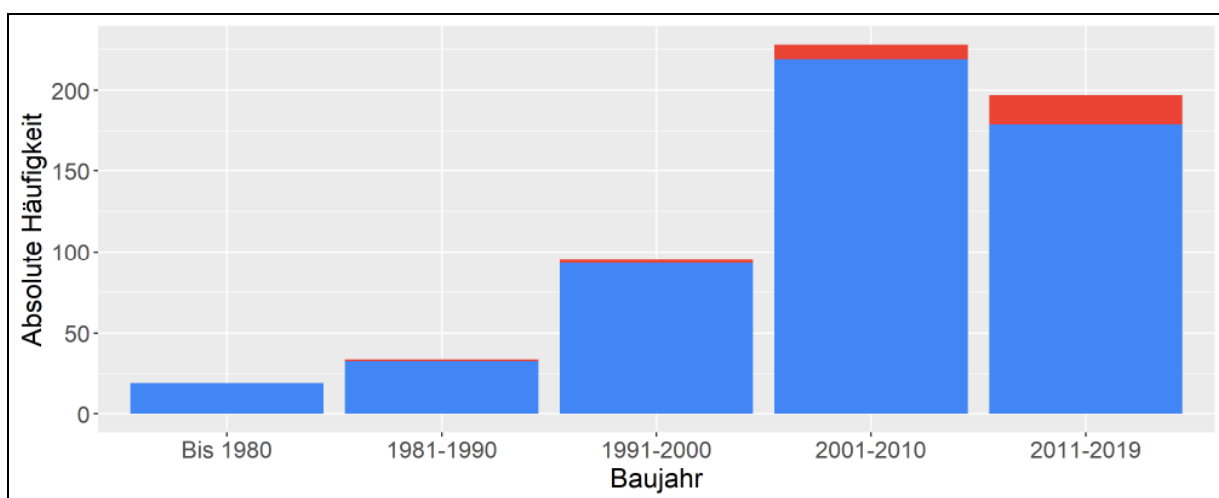


Abbildung 53: Baujahr der RZ/SR in den Segmenten A und B. n = 557 (A:30, B:543).

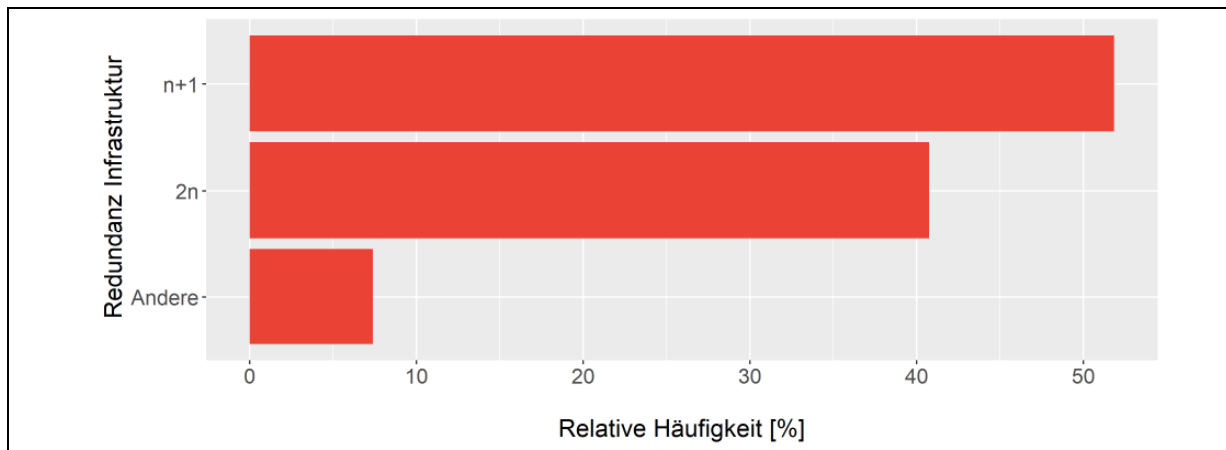


Abbildung 54: Redundanzauslegung der Infrastruktur für RZ im Segment A. n =27.

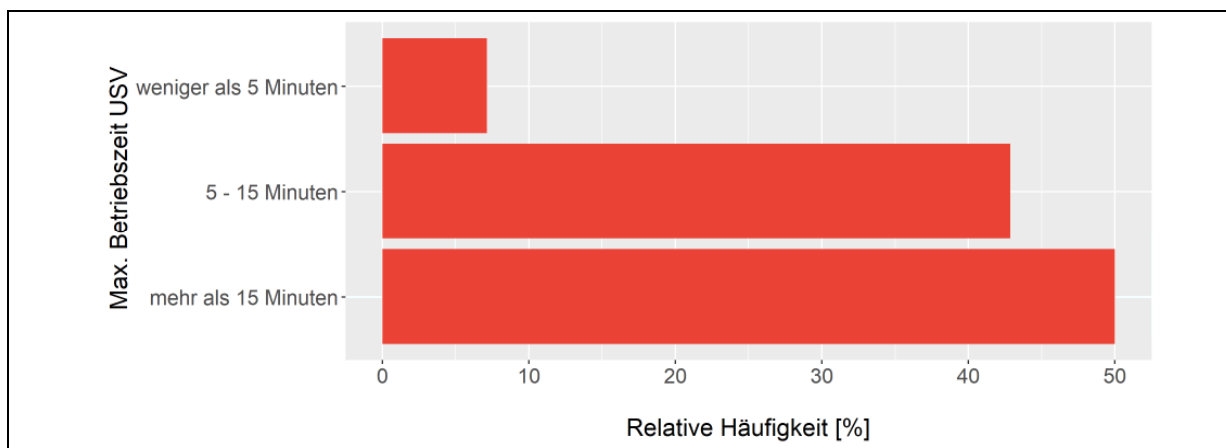


Abbildung 55: Maximale Betriebszeit der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) für RZ im Segment A. n = 14.

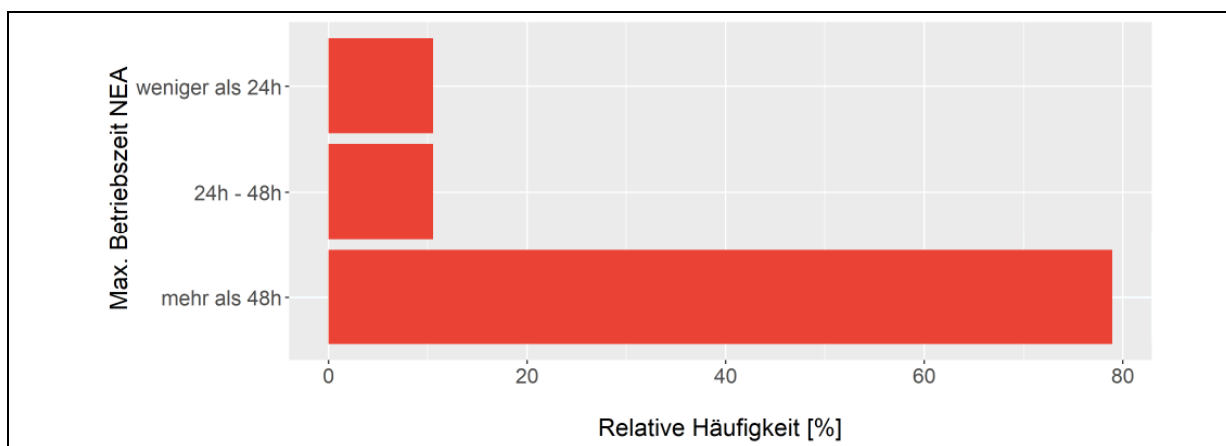


Abbildung 56: Maximale Betriebszeit der Netzersatzanlage (NEA) für RZ im Segment A. n =19.

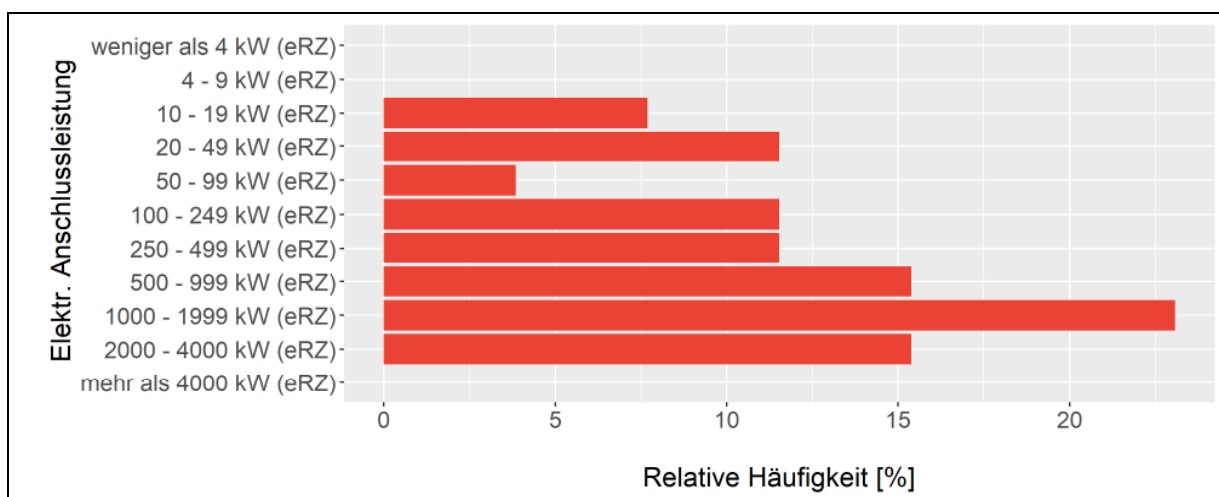


Abbildung 57: Elektrische Anschlussleistung der RZ im Segment A. n = 26 Antworten sind eingegangen.

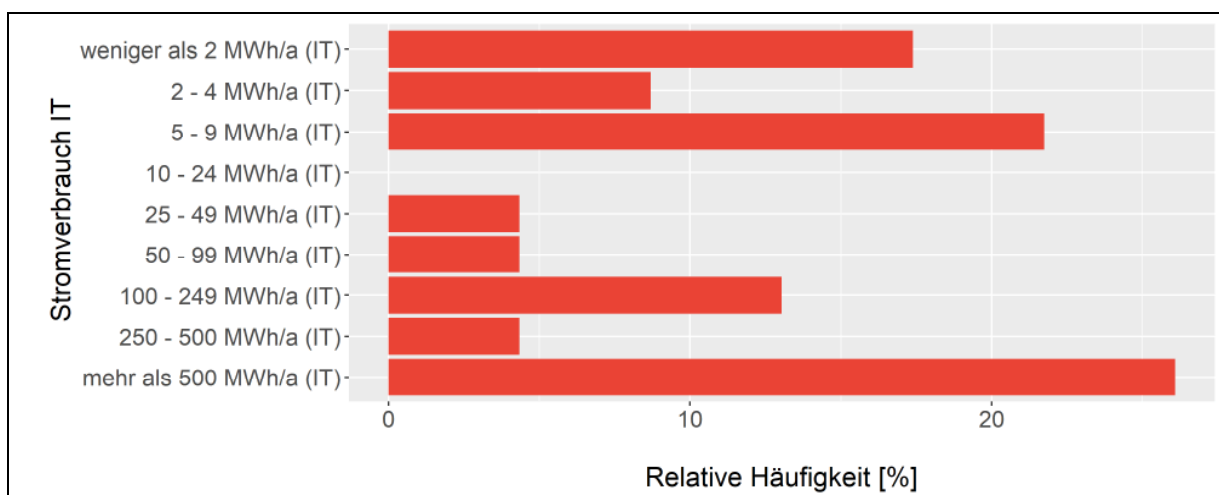


Abbildung 58: IT-Stromverbrauch der RZ im Segment A. n = 23.

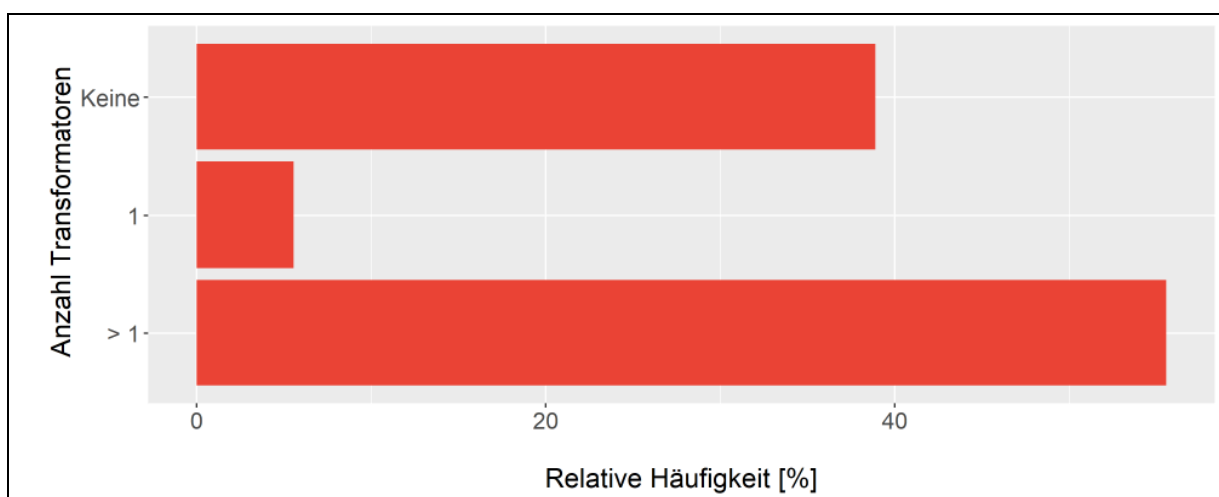


Abbildung 59: Anzahl Transformatoren für RZ im Segment A. n = 18. Die Transformatorenleistungen bewegen sich zwischen 1000 und 9000 kVA.

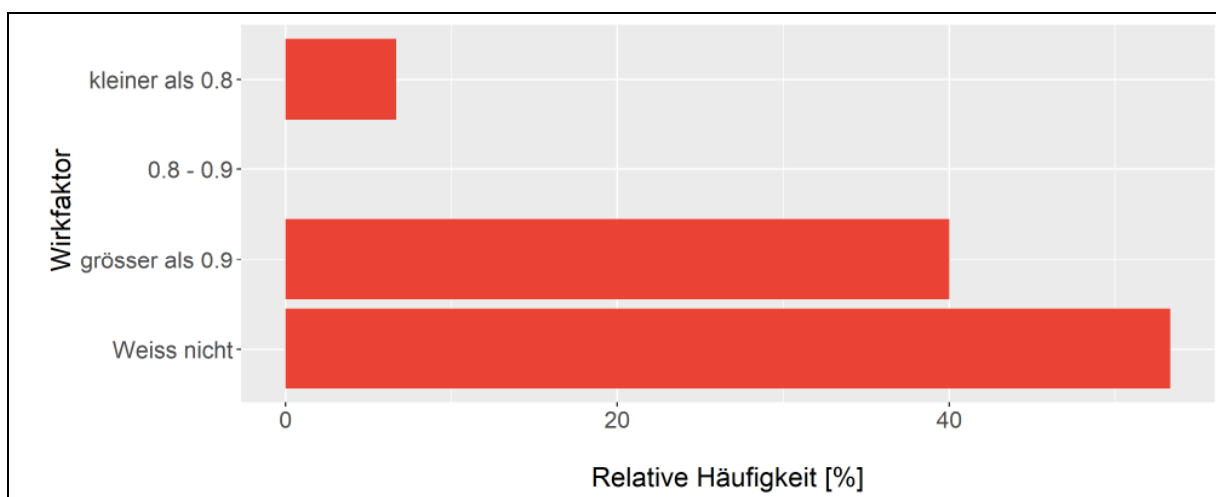


Abbildung 60: Wirkfaktor $\cos \phi$ im Segment A. $n = 15$ Antworten sind eingegangen, wovon 8 Teilnehmer «Weiss nicht» als Antwort ausgewählt haben.

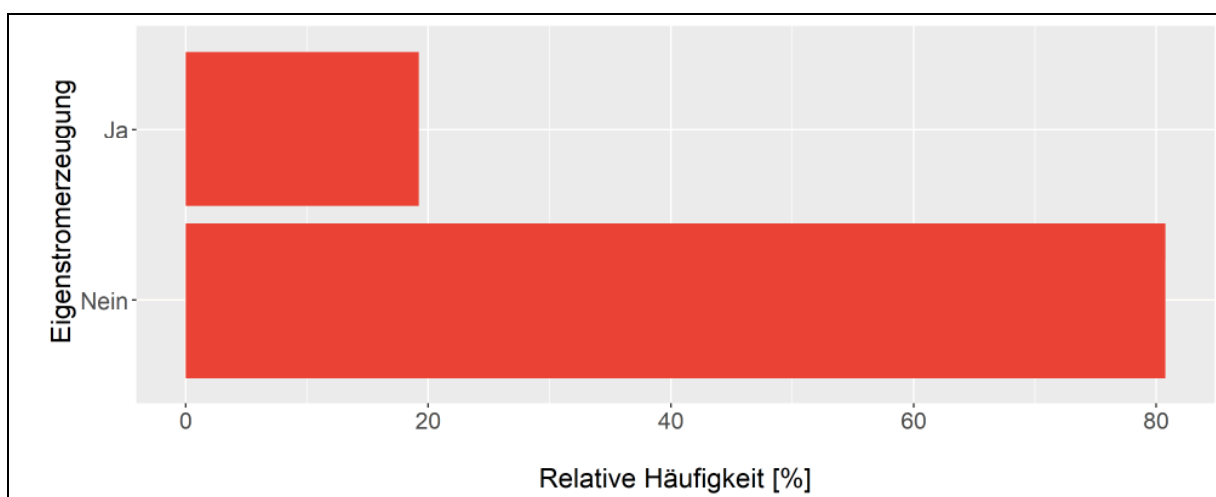


Abbildung 61: Eigenstromerzeugung im Segment A. Zu dieser Frage sind $n = 26$ Antworten eingegangen. Die Eigenstromerzeugung erfolgt in sämtlichen RZ mit PV und beträgt weniger als 1 MWh pro Jahr.

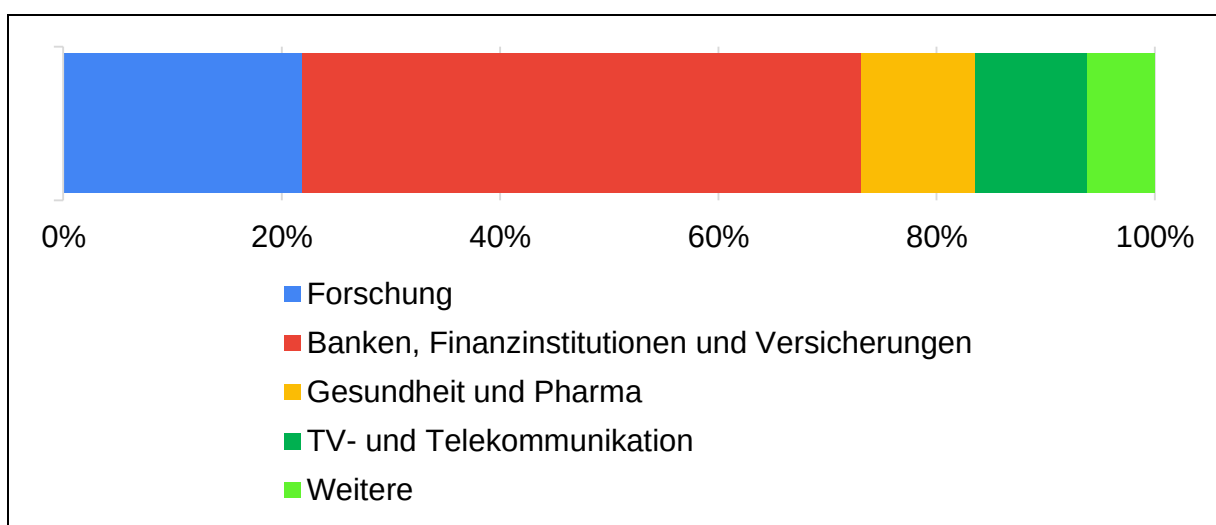


Abbildung 62: Stromverbrauch der Grossverbraucher (Segment B*) aufgeteilt nach Branchen.

Nr.	Frage	A	B	C	Nr.	Frage	A	B	C
1	PIN	14%	1%	1%	31	Anteil Abwärmenutzung	25%		
2	RZ-Alter	17%	14%		32	Eigenstromerzeugung	28%		
3	RZ-Typ	14%			33	Eigenstromerzeugung2	0%		
4	Nutzfläche	19%	12%	9%	34	Eigenstromerzeugung3	40%		
5	Belegte Fläche	19%			35	Effizienzmassnahmen	31%	25%	18%
6	Flächenerweiterung	19%			36	Coronasituation	33%		
7	Serveranzahl (physisch)	39%	12%	10%	37	Infofrage			
8	Serveranzahl (virtuell)	44%			38	Infofrage			
9	Auslastung	42%	69%		39	Infofrage			
10	Speichertechnologien	36%	26%		40	Optionale Kostenfrage	83%	87%	
11	Backup-Systeme	33%	26%		41	Optionale Kostenfrage	92%	93%	
12	Systemraumtemperatur	19%	18%		42	Optionale Kostenfrage	92%	94%	
13	Kühlungart	19%	9%	6%	43	Optionale Kostenfrage	88%	71%	
14	Kälteleistung	50%	39%	51%	44	Optionale Kostenfrage	92%	68%	
15	Kühlwassertemperatur	36%			45	Optionale Kostenfrage	92%	74%	
16	Wärmesenke	22%			46	Optionale Kostenfrage	96%	93%	
17	Luftführung	22%			47	Optionale Kostenfrage	96%	94%	
18	Redundanzauslegung	25%			48	Infofrage			
19	USV	42%			49	Infofrage			
20	NEA	21%			50	Infofrage			
21	Nutzerstandort	19%			51	Auslagerung		6%	3%
22	IT-Leistung	31%	45%	45%	52	Auslagerung Gründe		8%	5%
23	Anschlussleistung	28%			53	Auslagerung Strategie		12%	
24	Wirkfaktor	75%			54	Auslagerung Dienstleister		11%	11%
25	Stromverbrauch IT	36%			55	Auslagerung Hemmnisse		19%	24%
26	Stromverbrauch RZ/SR	36%	55%	49%	56	Auslagerung zukünftig		7%	7%
27	PUE	39%	85%		57	Auslagerung zukünftig2		27%	33%
28	Transformatoren	25%			58	Coronasituation		24%	
29	Transformatorenleistung	67%			59	Eigener Serverraum		6%	5%
30	Abwärmenutzung	25%	23%		60	Virtualisierung		12%	14%

Abbildung 63: Übersicht der Nicht-Antwortenden-Quote (keine Angabe, Weiss nicht etc.) pro Frage und Segment, jeweils bezogen auf die Anzahl Teilnehmer, welche die Frage bekommen haben. Ein Grossteil der Fragen wurde nicht für alle Segmente gestellt.

Anhang 2: Fragebogen

Informationen zur Umfrage

Begrüssung

Vielen Dank, dass Sie sich 20 Minuten Zeit nehmen, um die nachfolgende Umfrage "Rechenzentren in der Schweiz - Stromverbrauch und Effizienzpotenzial" zu beantworten.

Die vorliegende Erhebung im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) dient als Grundlage für die Abschätzung des Stromverbrauchs sowie des Energieeffizienzpotenzials von Rechenzentren in der Schweiz.

Hinweis: Ihre Teilnahme an der Umfrage ist auch dann wertvoll, wenn Sie einzelne Fragen nicht beantworten können. Wenn Sie die Umfrage unterbrechen wollen, können Sie durch erneutes Aufrufen des Links zu einem späteren Zeitpunkt (am selben Gerät) fortfahren.

Fragen und Antworten

Ihre allfälligen Fragen werden durch die Firma TEP Energy (Kontakt: office@tep-energy.ch) oder die Hochschule Luzern (Kontakt: adrian.altenburger@hslu.ch) gerne beantwortet.

Datenschutz

Ihre Antworten und Angaben werden streng vertraulich behandelt. Die Auswertung und die Darstellungen der Ergebnisse erfolgen in anonymisierter Form, so dass keine Rückschlüsse auf persönliche oder firmenspezifische Informationen gezogen werden können.

Am Schluss der Umfrage haben Sie die Möglichkeit, Ihre Zustimmung zu geben, dass gewisse Antworten an die Netzmedien AG weitergeleitet werden. Die Netzmedien AG verwenden die Daten zur Erstellung der jährlichen "Marktübersicht Rechenzentren".

Adresse und Standort des Rechenzentrums

1. Tragen Sie bitte die auf dem Brief vermerkte Nummer im folgenden Textfeld ein:

2. In welchem Jahr wurde der Serverraum / das Rechenzentrum in Betrieb genommen?

Parameter und Systemkonfiguration im IT-Bereich

3. Um welchen Typ Serverraum/Rechenzentrum handelt es sich?

Info: Der Betreiber der Co-Location (oder Serverhousing) erlaubt seinen Kunden das Aufstellen der eigenen Hardware (Serverstrukturen). Der Anbieter sorgt dann für Strom- und Internetzugang sowie Klimatisierung.

- ☐ Eigener/s Serverraum/Rechenzentrum
- ☐ Co-Location
- ☐ Cloud
- ☐ Anderes (bitte angeben): _____

4. Wie gross ist die Systemraumfläche (Nutzfläche) des Serverraums/Rechenzentrums?

- ☐ Weniger als 10 m²
- ☐ 10 bis 24 m²
- ☐ 25 bis 49 m²
- ☐ 50 bis 99 m²
- ☐ 100 bis 249 m²
- ☐ 250 bis 499 m²
- ☐ 500 bis 999 m²
- ☐ 1000 bis 2000 m²
- ☐ Mehr als 2000 m²
- ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____

5. Welcher Anteil der Systemraumfläche ist belegt und/oder vermietet?

- ☐ weniger als 50%
- ☐ 50% bis 75%
- ☐ mehr als 75%
- ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____

6. Ist in Zukunft eine Flächenerweiterung geplant?

- ☐ Nein
- ☐ Ja (bitte ungefähre zusätzliche Fläche in m² angeben): _____

7. Wieviele physische Server sind im Serverraum/Rechenzentrum vorhanden?

- ☐ Weniger als 5
- ☐ 5-9

- ☐ 10-24
- ☐ 25-49
- ☐ 50-99
- ☐ 100-249
- ☐ 250-499
- ☐ 500-999
- ☐ 1000-2000
- ☐ Mehr als 2000
- ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____

8. Wieviele virtuelle Server sind im Serverraum/Rechenzentrum vorhanden?

- ☐ Weniger als 10
- ☐ 10-24
- ☐ 25-49
- ☐ 50-99
- ☐ 100-249
- ☐ 250-499
- ☐ 500-999
- ☐ 1000-1999
- ☐ 2000-5000
- ☐ Mehr als 5000
- ☐ Unbekannt
- ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____

9. Was ist die mittlere elektrizitätsbezogene Auslastung der IT-seitigen Komponenten (Server, Storage, Network)?

- ☐ 0% – 20%
- ☐ 21% - 40%
- ☐ 41% - 60%
- ☐ Mehr als 60%
- ☐ Weiss nicht
- ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____

10. Wie sind folgende Speichertechnologien anteilmässig vertreten?

	0%-20%	21%-40%	41%-60%	61%-80%	81%-100%
Festplattenlaufwerk (HDD)	☐	☐	☐	☐	☐
Solid State Drive (SSD)	☐	☐	☐	☐	☐
Flashbasierte Speicher	☐	☐	☐	☐	☐
Andere Speichertechnologien	☐	☐	☐	☐	☐

11. Wie sind folgende Backup-Systeme anteilmässig vertreten?

	0%-20%	21%-40%	41%-60%	61%-80%	81%-100%
Diskbasiertes Backup-System	☐	☐	☐	☐	☐
Bandbasiertes Backup-System	☐	☐	☐	☐	☐
Weitere Backup-Systeme	☐	☐	☐	☐	☐

Parameter und Symstemonfigurationen im RZ-Infrastrukturbereich

12. Wie hoch ist in der Regel die Systemraumtemperatur für das IT-Equipment (Lufttemperatur am Eintritt der Server)?

- ☐ mehr als 26°C
- ☐ 20°C bis 26°C
- ☐ weniger als 20°C
- ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____

13. Wie wird der Serverraum / das Rechenzentrum gekühlt?

Info: Mit Free-Cooling wird an dieser Stelle das Kühlen ohne Betrieb der Kältemaschine verstanden.

Als Kältequelle können dabei die Aussenluft, Grund-, See-, Flusswasser oder das Erdreich dienen.

- ☐ Keine Kühlung
- ☐ Kühlung mittels Free-Cooling
- ☐ Kühlung mittels Kältemaschine
- ☐ Kühlung mittels Free-Cooling und Kältemaschine
- ☐ Andere Kühlung (bitte angeben): _____

14. Wie gross ist die installierte **thermische** Kälteleistung für den/das Serverraum/Rechenzentrum?

- ☐ Weniger als 10 kW
- ☐ 10 kW – 24 kW
- ☐ 25 kW – 49 kW
- ☐ 50 kW – 99 kW
- ☐ 100 kW – 249 kW
- ☐ 250 kW – 499 kW
- ☐ 500 kW – 999 kW
- ☐ 1000 kW – 1999 kW
- ☐ 2000 kW – 4000 kW
- ☐ Mehr als 4000 kW

15. Wieviel beträgt die Kühlwassertemperatur der Kältemaschine (am Austritt) resp. des Freecoolings (Vorlauf)?

- ☐ mehr als 28°C
- ☐ 23°C bis 28°C
- ☐ 17°C bis 23°C

- ☐ weniger als 17°C
- ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____

16. Welches Medium wird als Wärmesenke verwendet?

Info: Mit Wärmesenke ist das verwendete Medium für die Rückkühlung bzw. für die Wärmeabfuhr an die Umgebung gemeint.

- ☐ Aussenluft
- ☐ Grundwasser
- ☐ Seewasser
- ☐ Andere (bitte angeben): _____

17. Wie erfolgt die Luftführung?

- ☐ Doppelboden
- ☐ Kalt-/Warmgang
- ☐ Racklösungen (z.B. Kühltüren)
- ☐ Andere (bitte angeben): _____

Sicherheitsaspekte

18. Welcher Grundsatz wird bei der Redundanzauslegung der Infrastruktur angewendet?

- ☐ n+0
- ☐ n+1
- ☐ 2n
- ☐ Andere (bitte angeben): _____

19. Auf welche maximale Betriebszeit ist die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) ausgelegt?

- ☐ weniger als 5 Minuten
- ☐ 5 bis 15 Minuten
- ☐ mehr als 15 Minuten

20. Auf welche maximale Betriebszeit ist die Netzersatzanlage ausgelegt?

- ☐ weniger als 24h
- ☐ 24h bis 48h
- ☐ mehr als 48h

21. Wie lässt sich der Standort der Nutzer (Endkunde, der die Daten nutzt) beschreiben?

- ☐ 100% Inland
- ☐ 100% Ausland
- ☐ Mix (bitte in % angeben falls verfügbar): _____

Energie- und Leistungsindikatoren

22. Wie gross ist die installierte **elektrische IT**-Leistung für den/das Serverraum/Rechenzentrum?
- ☐ Weniger als 2 kW (IT)
 - ☐ 2 – 4 kW (IT)
 - ☐ 5 – 9 kW (IT)
 - ☐ 10 – 24 kW (IT)
 - ☐ 25 – 49 kW (IT)
 - ☐ 50 – 99 kW (IT)
 - ☐ 100 – 249 kW (IT)
 - ☐ 250 – 499 kW (IT)
 - ☐ 500 – 999 kW (IT)
 - ☐ 1000 – 2000 kW (IT)
 - ☐ Mehr als 1000 kW (IT)
 - ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____
23. Wie gross ist die installierte elektrische Anschlussleistung des Serverraums/Rechenzentrums (ohne Redundanz)?
- ☐ Weniger als 4 kW (eRZ)
 - ☐ 4 – 9 kW (eRZ)
 - ☐ 10 – 19 kW (eRZ)
 - ☐ 20 – 49 kW (eRZ)
 - ☐ 50 – 99 kW (eRZ)
 - ☐ 100 – 249 kW (eRZ)
 - ☐ 250 – 499 kW (eRZ)
 - ☐ 500 – 999 kW (eRZ)
 - ☐ 1000 – 1999 kW (eRZ)
 - ☐ 2000 – 4000 kW (eRZ)
 - ☐ Mehr als 4000 kW (eRZ)
 - ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____
24. Wie hoch ist der Wirkfaktor $\cos \phi$ bei der Blindleistungskompensation?
- ☐ kleiner als 0.8
 - ☐ 0.8 bis 0.9
 - ☐ grösser als 0.9
 - ☐ Weiss nicht
 - ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____
25. Wie gross ist der Stromverbrauch der IT pro Jahr?
- ☐ Weniger als 2 MWh/a (IT)
 - ☐ 2 – 4 MWh/a (IT)
 - ☐ 5 – 9 MWh/a (IT)
 - ☐ 10 – 24 MWh/a (IT)

- ☐ 25 – 49 MWh/a (IT)
 - ☐ 50 – 99 MWh/a (IT)
 - ☐ 100 – 249 MWh/a (IT)
 - ☐ 250 – 499 MWh/a (IT)
 - ☐ Mehr als 500 MWh/a (IT)
 - ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____
26. Wie gross ist der Stromverbrauch des Serverraums/Rechenzentrums pro Jahr?
- ☐ Weniger als 5 MWh/a (IT)
 - ☐ 5 – 9 MWh/a (IT)
 - ☐ 10 – 24 MWh/a (IT)
 - ☐ 25 – 49 MWh/a (IT)
 - ☐ 50 – 99 MWh/a (IT)
 - ☐ 100 – 249 MWh/a (IT)
 - ☐ 250 – 499 MWh/a (IT)
 - ☐ 500 – 1000 MWh/a (IT)
 - ☐ Mehr als 1000 MWh/a (IT)
 - ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____
27. Auf welchen Wert beläuft sich die Power Usage Effectiveness (PUE)?
- Info:** Der PUE drückt das Verhältnis aus insgesamt verbrauchter Energie und speziell für die IT verbrauchter Energie aus. Je weiter sich der Quotient 1 annähert, umso energieeffizienter ist das Rechenzentrum.
- ☐ kleiner als 1.2
 - ☐ 1.2 – 1.5
 - ☐ 1.2 bis 1.5 grösser als 1.5
 - ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____
28. Wieviele Transformatoren sind vorhanden?
- ☐ Keine
 - ☐ 1
 - ☐ >1
29. Was ist die ungefähre Transformatorenleistung in kVA?
- Leistung in kVA: _____
30. Ist eine Abwärmenutzung vorhanden?
- ☐ Keine Abwärmenutzung vorhanden
 - ☐ Indirekte Abwärmenutzung (Wärmepumpe)
 - ☐ Direkte Abwärmenutzung (Heizung/Brauchwarmwasser)
 - ☐ Andere Abwärmenutzung (bitte angeben): _____
31. Welcher Anteil der thermischen Energie wird durch Abwärmenutzung zurückgewonnen?

- ☐ weniger als 20%
 - ☐ 20% bis 50%
 - ☐ mehr als 50%
 - ☐ Exakter Wert (falls verfügbar): _____
32. Wird ein Teil der elektrischen Energie durch Eigenstromerzeugung gewonnen?
- ☐ Ja
 - ☐ Nein
33. Was wird für die Eigenstromerzeugung verwendet?
- ☐ Photovoltaik (PV)
 - ☐ Wärme-Kraft-Kopplungsanlage (WKK)
 - ☐ Andere (bitte angeben): _____
34. Wie hoch ist die Eigenstromerzeugung?
- _____

Energieeffizienzmassnahmen

35. Wurden eine oder mehrere der folgenden Energieeffizienzmassnahmen bereits umgesetzt?
- ☐ Integrale Planung inkl. Abwärmenutzung
 - ☐ Hohe Systemtemperaturen
 - ☐ Nutzung von Free-Cooling
 - ☐ Variable Regelung der Luftmengen
 - ☐ Trennung der Kalt- und Warmgänge
 - ☐ Einhausung der Serverracks
 - ☐ Teillastoptimierung der USV
 - ☐ Modulare Systemkonfiguration
 - ☐ Hoher Wirkungsgrad/COP der Kälteerzeugung
 - ☐ Parameter-Einstellungen im MSR-Bereich
 - ☐ Messungen und Lastganganalyse
 - ☐ Lichtsteuerung
 - ☐ Weitere Massnahmen (bitte angeben): _____

Abschliessende Fragen

36. Haben Sie aufgrund der aktuellen Coronasituation ein zunehmendes Interesse an Rechenzentrumsdienstleistungen wahrgenommen?
- ☐ Ja, mehr Anfragen
 - ☐ Ja, mehr Vertragsabschlüsse
 - ☐ Nein
37. Bei ausgewählten Serverräumen/Rechenzentren würden wir gerne das Energieeffizienzpotenzial analysieren. Falls Sie an einer vertieften Analyse interessiert sind (ohne Kostenfolge für Sie), können Sie im

nachfolgenden Feld Ihre E-Mail-Adresse hinterlassen. Wir würden nach Abschluss der Umfrage mit Ihnen in Kontakt treten. Die Effizienzpotenzialanalyse wird durch Experten der Hochschule Luzern durchgeführt.

38. Sind Sie damit einverstanden, dass die folgenden Informationen (falls vor Ihnen angegeben) zur Erstellung der "Marktübersicht Rechenzentren" an die Netzmedien AG weitergegeben werden?

- Name des Rechenzentrums
- Inbetriebnahmejahr
- Rechenzentrum-/Serverraumtyp
- Nutzfläche
- Aktuell belegte/vermietete Nutzfläche
- Mögliche Flächenerweiterung
- PUE-Wert
- Kontakt
 - ☐ Ja
 - ☐ Einen Teil der obengenannte Informationen (nachfolgende können Sie eine Auswahl treffen)
 - ☐ Nein
 - ☐ Möglicherweise, aber ich möchte weitere Informationen dazu erhalten (bitte E-Mail-Adresse oder Tel. Nr. angeben): _____

39. Welche der folgenden Daten dürfen an die Netzmedien AG weitergegeben werden?

- ☐ Name des Rechenzentrums
- ☐ Inbetriebnahmejahr
- ☐ Rechenzentrum-/Serverraumtyp
- ☐ Nutzfläche
- ☐ Aktuell belegte/vermietete Nutzfläche
- ☐ Mögliche Flächenerweiterung
- ☐ PUE-Wert
- ☐ Kontakt

Kosten (optionale Angaben, exkl. MWST)

40. Wie hoch sind die verbrauchsbedingten Stromkosten (in CHF pro Jahr) bezogen auf den Jahresverbrauch des Serverraums/Rechenzentrums?

41. Wie hoch war die 15' Monatsspitze (in kW) im letzten Januar?

42. Wie hoch waren die leistungsbedingten Stromkosten (in CHF pro Monat) des Serverraums/Rechenzentrums (15' Monatsspitze) im letzten Januar?

43. Wie hoch war die 15' Monatsspitze (in kW) im letzten Juni?

44. Wie hoch waren die leistungsbedingten Stromkosten (in CHF pro Monat) des Serverraums/Rechenzentrums (15' Monatsspitze) im letzten Juni?

45. Wie hoch waren die Investitionskosten (in CHF) für die Infrastruktur (Installationen für Stromversorgung, Lüftung, Klima, USV, NEA, Licht, etc.) des Serverraums/Rechenzentrums in den letzten 3 Jahren?

46. Wie hoch waren die Investitionskosten (in CHF) für die IT (Server, Racks, Speicher etc.) in den letzten 3 Jahren?

47. Wie hoch waren die Investitionskosten (in CHF) für den Rest (Bau, Brandschutz, Security etc.) in den letzten 3 Jahren?

Abschluss

48. Wenn Sie allgemeine Anregungen, Bemerkungen oder Verbesserungsvorschläge bzgl. der Umfrage haben, verwenden Sie dazu bitte das nachfolgende Textfeld.

49. Wenn Sie an den wichtigsten Ergebnissen des Projektes interessiert sind, können Sie im nachfolgenden Textfeld Ihre E-Mail-Adresse hinterlassen.

50. Wir danken Ihnen ganz herzlich für die Teilnahme an der Umfrage. Mit dem Feld "Fertig" können Sie die Umfrage abschliessen.

Extrafragen für Segmente B und C

51. Wurden in Ihrer Firma gewisse IT-Prozesse/-Anwendungen bereits ausgelagert? Falls ja, welche? (Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ Keine Auslagerung von IT-Prozessen/-Anwendungen
- ☐ Vollständige IT-Auslagerung (Auslagerung von Betrieb und Management der Hardware und Software)
- ☐ Server Hosting (Bezug von Rechenleistung von einem externen Rechenzentrum)
- ☐ Server Housing (Einstellen der eigenen Server in einem externen Rechenzentrum, auch Co-Location genannt)
- ☐ Betrieb von Software-Applikationen (z.B. Office 365, Cloudspeicher, Lohn- und Rechnungsweisen, Webshop)
- ☐ Kommunikation (Mail-Hosting, Chat und Videoconferencing, Telefonie)
- ☐ Datenanalysen, Datenverarbeitung etc.

- ☐ Backup-Services (Auslagerung von Datensicherung an einen externen Backup-Anbieter) und/oder Dokumentarchivierung
 - ☐ Andere (bitte angeben): _____
52. Weshalb hat Ihre Firma gewisse IT-Prozesse/-Anwendungen ausgelagert?
- ☐ Konzentration auf eigene Kernkompetenzen
 - ☐ Flexibilität (z.B. Daten auf Cloud sind von überall zugänglich)
 - ☐ Sicherheit und Zuverlässigkeit (grössere Erfahrung der IT-Dienstleister)
 - ☐ Kosteneinsparung
 - ☐ weniger internes IT Know-how nötig
 - ☐ Andere Gründe (bitte angeben): _____
53. Welche Strategie fahren Sie bei der Auslagerung?
- ☐ Auslagerung zu Unternehmen mit Geschäftssitz in der Schweiz
 - ☐ Auslagerung zu Unternehmen mit Standort ihrer Server und Speicher in der Schweiz
 - ☐ Auslagerung zu europaweit tätigen Unternehmen
 - ☐ Auslagerung zu weltweit tätigen Unternehmen
54. Wieviele Dienstleister beanspruchen Sie für die Auslagerung der Dienstleistungen?
- ☐ 1 Dienstleister
 - ☐ 2-3 Dienstleister
 - ☐ 4-6 Dienstleister
 - ☐ 6-8 Dienstleister
 - ☐ mehr als 8 Dienstleister
 - ☐ Sonstiges (bitte angeben): _____
55. Weshalb hat Ihre Firma keine Dienstleistungen/Prozesse ausgelagert?
- ☐ Finanzielle Gründe
 - ☐ Sicherheitsgründe
 - ☐ Wurde noch gar nicht in Betracht gezogen
 - ☐ Internes IT Know-how reicht aus
 - ☐ Weitere Gründe (bitte angeben): _____
56. Beabsichtigen Sie in Zukunft (weitere) IT-Prozesse/-Anwendungen auszulagern?
- ☐ Keine (weitere) Auslagerung in Zukunft geplant
 - ☐ Vollständige IT-Auslagerung (Auslagerung von Betrieb und Management der Hardware und Software)
 - ☐ Server Hosting (Bezug von Rechenleistung von einem externen Rechenzentrum)
 - ☐ Server Housing (Einstellen der eigenen Server in einem externen Rechenzentrum, auch Co-Location genannt)
 - ☐ Betrieb von Software-Applikationen (z.B. Office 365, Cloudspeicher, Lohn- und Rechnungsweisen, Webshop)
 - ☐ Kommunikation (Mail-Hosting, Chat und Videoconferencing, Telefonie)
 - ☐ Datenanalysen, Datenverarbeitung etc.

- ☐ Backup-Services (Auslagerung von Datensicherung an einen externen Backup-Anbieter) und/oder Dokumentarchivierung
- ☐ Weiss nicht
- ☐ Andere (bitte angeben): _____

57. Wie konkret sind die Überlegungen in Zukunft (weitere) IT-Prozesse/-Anwendungen auszulagern?

- ☐ Beschlossen
- ☐ Weit fortgeschritten
- ☐ Erste Überlegungen
- ☐ Weiss nicht

58. Hat die aktuelle Coronasituation diese Überlegungen beeinflusst?

- ☐ Ja, eher beschleunigt
- ☐ Ja, eher behindert
- ☐ Nein
- ☐ Andere (bitte angeben): _____

59. Hat Ihre Firma einen eigenen Serverraum?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

60. Sind die Server (teilweise) virtualisiert?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Teilweise
- ☐ Weiss nicht