

1.1 Zusammenfassung und Vergleich

Cloud Computing und Edge Computing abstrahieren beide die Berechnung in einem mehrschichtigen Modell. Dies ermöglicht, Hardware, Betriebssystem und Software getrennt voneinander zu warten und zu entwickeln. Während Cloud Computing die Berechnungen zentralisiert, und dadurch viele Ressourcen wie Rechenleistung und Speicherkapazität bündelt, ermöglicht Edge Computing, durch das Auslagern der Berechnung nah an die Quelle der Anfrage, geringe Latenzen und die Reduzierung der Bandbreitenbelastung hin zu einem zentralen Knoten.

Edge Computing wird insbesondere in Umgebungen eingesetzt, in denen schnelle Reaktionen und geringe Latenzzeiten von entscheidender Bedeutung sind, Beispiele aus anderen Bereichen als der Energieversorgung sind Industrieautomatisierung, Internet der Dinge (IoT) und intelligente Verkehrssysteme. Die Stärken des zentralen Cloud Computing liegen in der umfangreichen Rechenleistung, Speicherplatz und Skalierbarkeit, wie sie zum Beispiel die Analyse großer Datenmengen, ohne die Notwendigkeit unmittelbarer Echtzeitverarbeitung, erfordert.

Diese Technologien existieren in verschiedenen Ausprägungen, und ergänzen sich meistens in Kombination miteinander. Eine intelligente Aufgabenverteilung zwischen zeitsensiblen Berechnungen, welche an die Edge verschoben werden können, und rechenintensiven Aufgaben, welche in der Cloud stattfinden, können den Nutzen beider Technologien maximieren. Ein Beispiel dafür sind so genannte Distribution Management Systems (DMS), welche ein digitalisiertes Netzleitsystem für Verteilernetze darstellen. Angedacht sind in diesem Zusammenhang modulare Systeme mit Plug-and-Play, Cloud-native Microservices zur Implementierung von datengetriebenen Überwachungs- und Regelungssystemen auf Edge-Basis.¹ Die angestrebte Informationsdichte in modernen, digitalisierten Energiesystemen basiert auf dem Zusammenspiel verschiedener Datenquellen. Dazu zählen z.B. Smart Meter, Videoüberwachungsanlagen, Elektrofahrzeuge, Smart-Home Management Systeme, Phasor Measurement Units (PMU) und geographische Informationssysteme (GIS). Darüber hinaus liegen bei bestimmten Akteuren sensible ‚statische‘ Daten aus vertraulichen Quellen vor z.B. Netzdaten beim Netzbetreiber, während andere Datenquellen öffentlich verfügbar sind. Um diese Daten für das Energiesystem effektiv zu nutzen, bedarf es Schnittstellen, Plattformen und Computing Lösungen.

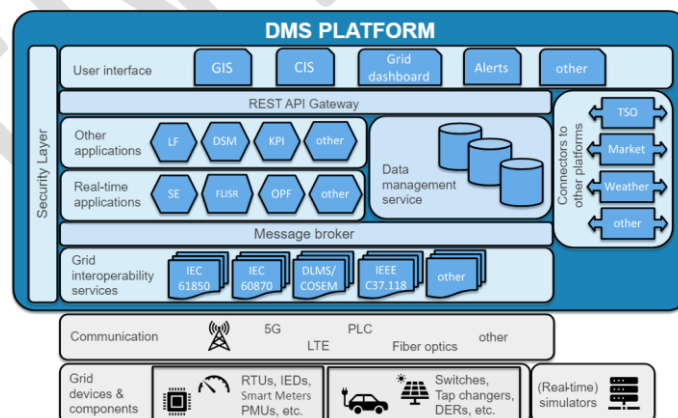


Abbildung 1: Cloud-Basierte DMS-Plattform [LFE2021]

Cloud und Edge Computing können als entscheidende Katalysatoren zusammenarbeiten, um die Kraft von Daten in diesem Wandel zu verstärken. Wie in Kapitel 1 beschrieben, bringen diese Technologien verschiedene Stärken und Eigenschaften mit sich, etwa die Skalierbarkeit von Cloud-Ressourcen für

¹ Ein Beispiel hierfür ist das SOGNO-Konzept: [SOGNO – LF Energy](#)

rechenintensive Prozesse, oder die lokalisierte Echtzeit-Fähigkeit von Edge Geräten. Gemeinsam treiben diese Technologien die Digitalisierung des Energiesystems voran und ermöglichen eine effektivere Nutzung wichtiger Daten.

Im folgenden Abschnitt werden Cloud Computing und Edge Computing hinsichtlich der inhärenten ökonomischen, ökologischen sowie technisch-organisatorischen Aspekte betrachtet. Dabei wird versucht eine vergleichende Bewertung der Vor- und Nachteile der beiden Technologiekomplexe hinsichtlich der unterschiedlichen Aspekte durchzuführen.

Bei der Bewertung der **ökonomischen Aspekte** von Edge und Cloud Computing sollten Faktoren wie Gesamtbetriebskosten, Skalierbarkeit, Investitionen in Hardware, potenzielle Kosteneinsparungen durch Effizienzgewinne, die Time-to-Market bei der Implementierung und mögliche Risiken des Vendor Lock-in gründlich analysiert werden. Eine ganzheitliche Betrachtung dieser Aspekte ist entscheidend, um fundierte wirtschaftliche Entscheidungen zu treffen.

Bei der Bewertung der **ökologischen Aspekte** von Edge und Cloud Computing ist es wichtig, Faktoren wie Energieeffizienz, Ressourcennutzung, und den ökologischen Fußabdruck der Rechenzentren zu berücksichtigen. Dabei sollten sowohl die physischen Infrastrukturen als auch die Energiequellen, die für den Betrieb verwendet werden, einbezogen werden. Zudem spielt die Effizienz in der Datenübertragung eine entscheidende Rolle, um Umweltauswirkungen zu minimieren.

Viele **technische Aspekte** spielen bei der Implementierung von EC und CC-Lösungen eine Rolle, nachfolgend werden betrachtete Themen /-komplexe kurz erläutert:

Skalierbarkeit: Während einige Anwendungsfälle, vor allem im Bereich der traditionellen Versorgungsaufgabe, eine gewisse Planbarkeit aufweisen, können insbesondere marktbasierende Anwendungen, wie Mehrwertdienste, Flexibilität hinsichtlich der Skalierbarkeit erfordern.

Flexibilität vs. Komplexität der Integration: Die Flexibilität bei der Integration von energiewirtschaftlichen Prozessen in Cloud- oder Edge-Systemen hängt wesentlich von der Komplexität der betrachteten Prozesse sowie von dem Vorhandensein etablierter Standards ab.

Kollaboration und Kontrolle: Ein wesentlicher Aspekt des liberalen Energiesektors liegt in dem komplexen Zusammenspiel diverser Infrastrukturen, Akteure und Stakeholder. Die Möglichkeit Systeme kollaborativ zu nutzen kann hierbei ausschlaggebend für kostenoptimale und energieeffiziente Prozesse sein. Ebenso stellt sich dabei die Frage hinsichtlich der Besitzverhältnisse von Infrastrukturen.

Redundanz und Datenverlust: Da kein System lückenlose Verfügbarkeit garantieren kann, sollten die Aspekte Redundanz und Suszeptibilität für Datenverlust mitgedacht werden.

Datenaufkommen, -verarbeitung und -transport: Die Menge erzeugter Daten von IoT Geräten kann enorm sein. Das Verarbeiten der Daten an einem zentralen Standort kann sehr hohe Anforderungen an die Bandbreite und Rechenleistung mit sich bringen. Besonders unter dem Gesichtspunkt der Skalierbarkeit, die benutzte Bandbreite in diesem Szenario korreliert linear mit der Anzahl der IoT Geräte, welche überwacht werden. Auch das Optimieren der Energieallokation an einer zentralen Stelle wird belastet, und kann die Echtzeitbearbeitung verlangsamen.

Sicherheit und Wartung: Das Energiesystem, insbesondere das Stromnetz, stellt eine kritische Infrastruktur in Deutschland dar.² Durch die zunehmende Abhängigkeit zwischen dem Energiesystem und IKT-Infrastruktur ist es möglich, dass Cyber-Angriffe auf diese Infrastruktur erhebliche negative Auswirkungen

² (BBK 2021)

auf die Versorgungssicherheit haben können. Sicherheit und Wartung gehen in diesem Zusammenhang Hand in Hand, da laufend Sicherheitslücken durch Updates behoben werden müssen. Ebenso müssen fehlerhafte Hardwarekomponenten möglichst schnell instandgesetzt werden, um negative Auswirkungen auf den Betrieb zu verhindern.

Die folgenden Tabellen zeigen für die oben beschriebenen Charakteristiken eine grobe Einschätzung der Vor- bzw. Nachteile der beiden betrachteten Technologien.

1.1.1 Ökonomische Aspekte

	Cloud	Edge
Time to Market	<p>⊕ Cloud-Dienste ermöglichen eine schnellere Bereitstellung von Ressourcen und Anwendungen, was zu verkürzten Entwicklungszeiten führen kann.</p>	<p>⊕ Durch effektives Device Management, flexible APIs und effiziente OTA Update-Fähigkeit, können Edge-Bestandsgeräte eine geringe Time-to-Market ermöglichen.</p>
Kostenersparnisse /-risiken	<p>⊕ Cloud-Dienste können anfänglich kosteneffizient sein, da sie den Bedarf an teurer Hardware reduzieren.</p> <p>⊖ Langfristig können die Kosten steigen, insbesondere wenn die Nutzung stark wächst oder ungenutzte Ressourcen nicht optimiert werden.</p> <p>⊖ Risiken wie plötzliche Preiserhöhungen und Ausfälle müssen berücksichtigt werden.</p>	<p>⊕ Kostensteigerungen für die Nutzung von Kommunikationsinfrastrukturen können ein Risiko darstellen.</p> <p>⊖ Hardwareausbringung ist mit zeit- und kostenintensiven Montage- und Inbetriebnahmeprozessen verbunden.</p>
Vendor Lock-in	<p>⊖ Die Abhängigkeit von einem Cloud-Anbieter kann die Flexibilität einschränken und die Migration zu anderen Plattformen erschweren. Hier sind Standards hinsichtlich der Portabilität ausschlaggebend.</p>	<p>⊖ Als fest installiertes Gerät ist ein Edge-Knoten einem Hersteller zugeordnet und in der Regel auf prioritäre Updates durch diesen angewiesen. Durch etablierte Standards kann eine Interoperabilität zwischen Geräten unterschiedler Hersteller ermöglicht werden.</p>

1.1.2 Ökologische Aspekte

	Cloud	Edge
Energieeffizienz	<p>⊕ Durch sinnvolle Planung im Bauprozess kann ein vorteiliges Energiemanagement des Rechenzentrums (Abwärme, etc.) realisiert werden.</p> <p>⊕ Intelligente Ressourcenbelegung (etwa durch Virtualisierung / Containerisierung, prädiktive Scheduling-Algorithmen) sollten priorisiert werden. Dadurch kann die Balance von Angebot und Nachfrage effektiv eingestellt werden.</p>	<p>⊕ Ein wesentlicher Vorteil liegt in der reduzierten Datenübertragung.</p>
Speicherdichte	<p>⊕ Cloud-Rechenzentren können (eher) fortlaufend fortschrittliche Speichertechnologien implementieren, um mehr Daten auf weniger physischem Raum zu speichern.</p>	<p>⊖ Die Speicherdichte ist im Wesentlichen auf den Stand der Technik zum Zeitpunkt der Ausbringung limitiert.</p>

1.1.3 Technische und organisatorische Aspekte

	Cloud	Edge
Skalierbarkeit	<p>⊕ Bei entsprechend vorliegender Integration ist eine Erweiterung der Rechenleistung und Speicherkapazität in der Regel unproblematisch.</p>	<p>⊖ Die Rechenleistung und Speicherkapazität von Edge-Geräten sind konstruktionsbedingt und lassen nachträglich nicht oder nur kostenintensiv erweitern. Anwendungen, die über die aktuellen, hardwareseitigen Fähigkeiten von Bestandsgeräten hinausgehen, können ohne eine aufwendige Hardwareausbringung nicht realisiert werden.</p>

Integration	<p>⊕ Durch Containerisierung und Virtualisierung können potenzielle Nutzer einer Cloud ihre Prozesse gut vorbereiten.</p> <p>⊖ Komplexere Prozesse mit vielen Kommunikationspartnern oder von anderen Stellen vorgegebenen Abläufen, können schwierig hinsichtlich der Abstimmung sein.</p>	<p>⊕ (Offene) Standards erleichtern die Vorbereitung und Integration von Prozessen.</p> <p>⊖ Die verteilten Systeme müssen bedingen eine kleinteiligere Vorgehensweise. Ggf. müssen unterschiedliche Gerätetypen /-generationen /-hersteller bedacht werden.</p>
Kollaboration	<p>⊕ Cloud-basierte Kollaborationstools ermöglichen eine nahtlose Zusammenarbeit über Teams bzw. Unternehmen hinweg.</p>	<p>⊖ Der Zugriff mehrere Marktteilnehmer auf ein Edge-Gerät muss sicher und effizient verwaltet werden. Hier kann es zu einem Trade-off zwischen Geschwindigkeit und Sicherheit kommen.</p>
Kontrolle	<p>⊖ Bei Nutzung öffentlicher Clouds haben Unternehmen weniger direkte Kontrolle über die physische Infrastruktur.</p>	<p>⊕ Sofern sich die Endgeräte im Besitz des Unternehmens befinden, haben diese weitreichende Kontrolle über die Infrastruktur. Gleiches gilt für die verwendete Kommunikationsinfrastruktur, die ggf. durch einen Drittanbieter (z.B. Telekommunikationsunternehmen) bereitgestellt wird.</p>
Datenverlust	<p>⊖ Die Zentralität der Hardware ermöglicht ein unkompliziertes Datensicherungs- und Wiederherstellungskonzept. Gleichzeitig können Hardwareausfälle (bei Ausbleiben der regelmäßigen Sicherung) zum Verlust enormer Datenmengen führen.</p>	<p>⊕ Einzelne Geräte dienen als Speicher ihrer Daten, durch Hardwarefehler gehen somit weniger Daten verloren.</p> <p>⊖ Sofern aufzubewahrende Daten nicht in sinnvollen Intervallen abtransportiert und einem Back-up Speicher zugeführt werden, kann im Einzelfall ein nicht zu behebender Datenverlust stattfinden.</p>
Redundanz	<p>⊕ Den Anforderungen an Redundanz in Abhängigkeit der Kundenbedürfnisse kann meist problemlos entsprochen werden. In diesem Zusammenhang sollten auch Service-Level-Agreements vereinbart werden.</p>	<p>⊖ Auf den einzelnen Endpunkt bezogen besteht in der Regel kein Redundanzkonzept. Hier werden ähnliche Prozesse wie in der Zählpunktbewirtschaftung erwartet. Im Fehlerfall können kleinteilige Technikereinsätze erforderlich werden.</p> <p>⊕ Konzepte zur Plausibilisierung und Ausfallwertberechnung müssen bedacht werden.</p>

Datenverarbeitung	<p>⊕ Durch die zentrale Sammlung und Verarbeitung von Daten können Techniken im Sinne von Big Data Analysen mit einer unverfälschten Datenbasis und flexibel abrufbarer Rechenleistung durchgeführt werden.</p> <p>⊖ Echtzeitnahe Analysen werden in größeren Systemen erschwert / nicht darstellbar.</p>	<p>⊕ Die Auswertung hochfrequenter Messdaten bei geringen Latenzen (nahe der Quelle) ist ein wesentlicher Vorteil von Edge-Systemen.</p> <p>⊖ Erweiterungen / Updates der Analysemethoden sind schwer zu realisieren.</p>
Datentransport	<p>⊖ Jegliche zu Analysezielen erforderliche Daten müssen vom Messgerät zum Rechenzentrum übermittelt werden.</p>	<p>⊕ Die (Vor-) Verarbeitung von Daten in Edge-Geräten vermindert, bei gleichem Datenaufkommen, die Menge zu übertragender Daten.</p> <p>⊖ Je nach gewähltem Auswertungsansatz kann eine „ungefilterte / unverfälschte“ Datenbasis erforderlich sein, wodurch die Vorteile der Edge-Technologie entfallen.</p>
Wartung	<p>⊕ Durch den zentralen Zugriff auf Hard- und Software können Wartungsfenster unkomplizierter geplant und durchgeführt werden.</p>	<p>⊖ Die Wartung verteilter Systeme ist sowohl hardware- als auch software-seitig schwieriger. Neben der Koordinierung von Technikereinsätzen oder Firmwareupdates, müssen ggf. auch unterschiedliche Gerätetypen /-generationen bedacht werden.</p>
Sicherheit	<p>⊕ Die zentrale Datenhaltung und -bearbeitung ermöglicht es weitreichende Sicherheitskonzepte zu implementieren und aktuell zu halten.</p> <p>⊖ Als Single Point of Failure kann ein erfolgreicher Cyber-Angriff erheblichen Schaden anrichten.</p>	<p>⊕ Die dezentrale Systemarchitektur erschwert weitreichende Angriffe und ermöglicht die zügige physische Isolation betroffener Knotenpunkte.</p> <p>⊖ Die Vielzahl einzelner Endgeräte macht komplexe Sicherheitskonzepte u.U. unwirtschaftlicher.</p>
Datenschutz	<p>⊖ Bei der Wahl eines Cloud-Anbieters müssen rechtliche regionale / nationale Bestimmungen zur Datenhaltung berücksichtigt werden. Unter Umständen müssen gesonderte Vereinbarungen getroffen werden, um die Einhaltung der Vorgaben zu gewährleisten.</p>	<p>⊕ Die lokale Verarbeitung von Daten in Edge-Geräten kann die Einhaltung von rechtlichen Vorgaben hinsichtlich des Datenschutzes und der Schutzbestimmungen vereinfachen.</p>

Die nachfolgende Tabelle fasst die Erklärungen grafisch zusammen. Die Stärken und Schwächen der beiden Technologien liegen in unterschiedlichen Bereichen und werden von verschiedenen Akteuren im

Energiesystem unterschiedlich bewertet werden. Auch ist es anwendungsabhängig, welche Aspekte besonders wichtig sind.

	Cloud	Edge
Ökonomische Aspekte		
Time to Market	+	-
Kostensparnisse /-risiken	+ - -	- -
Vendor Lock-in	-	-
Ökologische Aspekte		
Energieeffizienz	+ +	+
Speicherdichte	+	-
Technische und organisatorische Aspekte		
Skalierbarkeit	+	-
Integration	+ -	+ -
Kollaboration	+	-
Kontrolle	-	-
Datenverlust	-	+ -
Redundanz	+	- -
Datenverarbeitung	+ -	+ -
Datentransport	-	+ -
Wartung	+	-
Sicherheit	+ -	+ -
Datenschutz	-	+

Abbildung 2: Kurzübersicht der vergleichenden Bewertung von Edge- und Cloud-Computing nach ökonomischen, ökologischen und technisch- organisatorischen Kriterien.