

# IT@Intel: Brennstoffzellen – Eine alternative Energiequelle für die Rechenzentren von Intel

Dank Intel IT kann die Stromversorgung von Rechenzentren auf der ganzen Welt mit bahnbrechender Brennstoffzellentechnologie ergänzt werden. Durch sie lassen sich Probleme in Bezug auf Resilienz, Qualität, Kapazität, Nachhaltigkeit und Effizienz der Stromversorgung lösen.

## Autoren/Autorinnen

### Johnny Christo

Energy Supply Manager, Global Utilities

### Nissim Hamu

Data Center Electrical Engineer, Intel IT

### Rajkumar Kambar

Data Center Manager, Intel IT

### Sujith Kannan

Regional Engineering Technologist, Corporate Services

### Jay Krishen

Industry Engagement Manager, Intel IT

### Anoop OP

Operations and Project Manager, Corporate Services

### Jeff Sedayao

Industry Engagement Manager, Intel IT

### Michelle Vincenti Urpi

Data Center Electrical Engineer, Intel IT

## Mitwirkender

### Mario Villalta

Industry Engagement Manager, Intel IT

## Inhaltsverzeichnis

Aspekte von Energiequellen in Rechenzentren .....	2
Die Erfahrung von Intel IT: Einsatz der Brennstoffzellentechnologie als primäre Energiequelle .....	3
Fallstudie: Intel, Bangalore .....	4
Fallstudie: Intel, Santa Clara .....	6
Fünf Best Practices für den Einsatz der Brennstoffzellentechnologie zur Stromversorgung von Rechenzentren .....	7
Fazit .....	8
Inhalte zu diesem Thema .....	8

## Kurzfassung

In mehreren Proofs of Concept hat sich die Brennstoffzellentechnologie als eine zuverlässige, stabile, effiziente und nachhaltige Energiequelle für die Rechenzentren von Intel erwiesen. Intel IT hat gemeinsam mit den Abteilungen Corporate Services und Global Supply Chain daran gearbeitet, dass Brennstoffzellen die Redundanz- und Kapazitätserwartungen von Intel erfüllen.

Für einige Rechenzentren von Intel sind Brennstoffzellen die primäre Energiequelle (im Unterschied zum Stromnetz). Bisher haben wir Brennstoffzellen in den Intel Rechenzentren in Bangalore, Indien, sowie in Santa Clara, USA, im Einsatz. Brennstoffzellen sind nun ein Bestandteil des Aktionsplans von Intel für das Design neuer Rechenzentren und die Erweiterung bestehender.

Die Erfahrungen von Intel IT mit Brennstoffzellen haben deren zahlreiche Vorteile aufgezeigt, wie zum Beispiel:

- Effiziente Flächennutzung
- Zuverlässige und hochwertige Stromversorgung
- Skalierbare modulare Anlagen
- Günstiger Preis
- Kürzere Errichtungszeit
- Verringerte Kohlendioxidemissionen

Dieses Whitepaper enthält Details zu unserem innovativen Nutzenversprechen für den Einsatz von Brennstoffzellen bei Intel IT und stellt einige Best Practices vor, die wir in den letzten Jahren implementiert bzw. eingesetzt haben.

## Wichtige Begriffe

**Grundlast.** Die minimale oder konstante Strommenge, die nötig ist, um eine Anlage rund um die Uhr zu betreiben.

**CapEx (Capital Expenditure; Investitionskosten).** Ausgaben für den Erwerb, die Modernisierung und die Instandhaltung von Sachanlagen wie Gebäuden oder Strominfrastruktur.

**Rechenzentrumslast.** Auch als IT-Last bezeichnet; die von den Servern und der Netzwerkausrüstung verbrauchte Strommenge.

**Dieselmotor.** Die Kombination eines Dieselmotors mit einem Stromgenerator (häufig ein Wechselstromgenerator) zur Erzeugung elektrischer Energie.

**Netzunabhängig.** Ein Stromversorgungssystem, bei dem die alternative Stromquelle immer verfügbar ist, unabhängig davon, ob das Netz verfügbar ist.

**Netzparallel.** Ein Stromversorgungssystem, bei dem, wenn das Netz verfügbar ist, auch die alternative Stromquelle (z. B. Brennstoffzellen) verfügbar ist. Bei einem Stromausfall wird auch die alternative Stromquelle unterbrochen.

**Lastabwurf.** Die absichtliche Abschaltung der Stromversorgung von Teilen eines Rechenzentrums, in der Regel um den Ausfall des gesamten Systems zu verhindern, wenn die Stromnachfrage die verfügbare Systemkapazität übersteigt.

**Nicht-IT-Last.** Die Menge an Strom, die nicht von IT-Geräten verbraucht wird. Das umfasst unter anderem Beleuchtung, Kommunikationsgeräte, Büroheizung und -kühlung usw.

**OpEx (Operational Expenditure; Betriebskosten).** Die Kosten, die einem Unternehmen für den laufenden Betrieb entstehen, wie zum Beispiel Miete, Marketing und Versicherungen.

**PUE (Power Usage Effectiveness; Effizienz des Energieeinsatzes).** Eine Kennzahl, die beschreibt, wie effizient ein Rechenzentrum Energie einsetzt. Sie wird berechnet, indem der Gesamtenergieverbrauch einer Anlage durch den Energieverbrauch der IT-Geräte geteilt wird.

**UPCM (Uninterruptible Power Conditioning Module; unterbrechungsfreies Stromkonditionierungsmodul).** Optionale Vorrichtung, die es Brennstoffzellen ermöglicht, geschützte Verbraucher bei Netzausfällen oder -störungen mit konstantem, stabilem Strom zu versorgen. Es handelt sich um eine modulare Erweiterung, durch die hochwertiger, netzunabhängiger Strom geliefert werden kann, um Geschäfts- und Betriebskontinuität zu gewährleisten.

**USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung; UPS, Uninterruptible Power Supply).** Elektrische Einrichtung, die eine Last mit Notstrom versorgt, wenn die Eingangsstromquelle oder die Hauptstromversorgung ausfällt. Die USV-Laufzeit ist in der Regel kurz, aber lang genug, um Notstromgeneratoren zu starten.

## Aspekte von Energiequellen in Rechenzentren

Intel IT sucht ständig nach Möglichkeiten, wie seine Rechenzentren branchenbeste Leistungskennzahlen erreichen, zum Beispiel durch Steigerung der Energieeffizienz, Reduktion der Kosten und Verbesserung der Nachhaltigkeit. Wir arbeiten eng mit den Abteilungen Corporate Services und Global Supply Chain von Intel zusammen und tauschen unser Fachwissen in den Bereichen IT und Betriebstechnologie aus, um diese Ziele zu erreichen.

Wir achten auf verschiedenste Aspekte, und die Wahl der Energiequelle wirkt sich auf alle in unterschiedlichem Maße aus.

- **Flächennutzung.** Jedes Rechenzentrum verfügt über eine begrenzte Fläche, die es für seine Expansion und sein Wachstum nutzen kann. Die Wahl der Energiequelle kann wesentlich beeinflussen, wie viel Platz für die Erweiterung der Gebäudefläche anstatt für die Stromerzeugung und ihr Backup-System zur Verfügung steht.
- **Stromqualität.** Rechenzentrumsausrüstungen können empfindlich auf Spannungsstörungen und Frequenzschwankungen reagieren.
- **Stromzuverlässigkeit.** Die Rechenzentren von Intel benötigen eine kontinuierliche Stromversorgung, um die Betriebszeiten zu erhöhen. Ausfallzeiten aufgrund von Stromausfällen sind gleichbedeutend mit Einnahmeverlusten.
- **Stromkapazität.** Intel besitzt einige der effizientesten Rechenzentren der Welt<sup>1</sup>, die zehntausende von IT-Geräten umfassen und mehrere Megawatt (MW) Strom verbrauchen. Das Stromnetz oder Generatoren vor Ort sind die primäre Stromversorgungsquelle zur Deckung des ständigen Strombedarfs für den Rechenzentrumsbetrieb von Intel.
- **Tier-Klassen der Rechenzentren.** Die Rechenzentren von Intel sind laut den Richtlinien des Uptime Institute als Tier 1, 2 oder 3 kategorisiert.<sup>2</sup> Jeder Tier definiert Kriterien für Wartung,

Stromversorgung, Kühlung und Fehlerbehebung, die direkt von der Qualität der Stromversorgungsquelle beeinflusst werden.

- **Kapazitätsplanung.** Das Geschäft von Intel wächst, wodurch die Rechenzentren von Intel einen starken Anstieg der Stromnachfrage erleben. Entscheidungen über Stromversorgungsquellen von Rechenzentren müssen nicht nur den heutigen Bedürfnissen entsprechen, sondern müssen auch eine effiziente Skalierung ermöglichen, um zukünftige Anforderungen zu erfüllen.
- **Kostenmodell.** Die Ausgaben für Rechenzentren können sowohl CapEx als auch OpEx sein. OpEx haben den Vorteil, dass das wirtschaftliche und operative Risiko an Technologieanbieter übertragen werden, was die Leistung der Ausrüstung garantiert und die Betriebszeiten erhöht. Ob man sich für CapEx oder OpEx entscheidet, hängt jedoch von den Regulierungsmaßnahmen, der Marktreife und dem Finanzaufwand (einschließlich Finanzierungskosten, Förderungen und Steuernachlässen) ab.
- **Vorschriften und Richtlinien.** Jeder Staat und jedes Land hat eigene Regeln, Vorschriften und Industriestandards, die einen Einfluss auf die Errichtung von Brennstoffzellen-Stromversorgungssystemen und den Betrieb von Rechenzentren haben. In den USA sind das zum Beispiel zuständige Behörden (Authority Having Jurisdiction, AHJ) wie der Brandinspektor oder das lokale Gesundheitsamt, staatliche und bundesstaatliche Behörden für Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz (Cal/OSHA und U.S. OSHA), die American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, das Energieministerium sowie das Uptime Institute.
- **PUE.** PUE ist die primäre Kennzahl, mit der sich die Energieeffizienz eines Rechenzentrums messen lässt. Dieser Wert ist sehr wichtig, da wir alternative Energieversorgungsquellen erforschen, um diese Metrik zu verbessern und so die Infrastruktur- und Betriebskosten zu senken.

Standort, Größe und Tier-Klasse eines Rechenzentrums können einige weitere dieser Aspekte in den Vordergrund rücken. In den folgenden beiden Abschnitten wird das näher beschrieben.

<sup>1</sup> „Intel IT definiert das Rechenzentrum mit hoher Leistungsdichte neu: 12 kW/m<sup>2</sup>“ [intel.de/content/www/de/de/it-management/intel-it-best-practices/intel-it-redefines-high-density-data-center-1100-watts-per-sqft-paper.html](https://www.intel.de/content/www/de/de/it-management/intel-it-best-practices/intel-it-redefines-high-density-data-center-1100-watts-per-sqft-paper.html)

<sup>2</sup> Uptime Institute, [uptimeinstitute.com/tiers](https://www.uptimeinstitute.com/tiers)

## Die Erfahrung von Intel IT: Einsatz der Brennstoffzellentechnologie als primäre Energiequelle

Ein Teil der Aufgabe und des Auftrags von Intel IT besteht darin, technologische Neuerungen im Auge zu behalten, um festzustellen, ob diese sich zu wettbewerbsfähigen Kosten für die Steigerung der Betriebseffizienz, Produktivität und Nachhaltigkeit nutzen lassen. Darum haben wir vor einigen Jahren untersucht, wie sich die Brennstoffzellentechnologie von ihrer Erfindung bis zur Kommerzialisierung entwickelt hat (siehe Seitenleiste unten). Zu dieser Zeit schien die Brennstoffzellentechnologie eine einzigartige Lösung für bestimmte Probleme im Rechenzentrum zu bieten. Wir haben auch das Potenzial anderer Energieversorgungsmöglichkeiten wie Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Dieselgeneratoren und Gasturbinen untersucht. Wir stellten jedoch fest, dass Brennstoffzellen die höchste Effizienz für den Energiebedarf der IT von Intel bieten würden. In einigen unserer Rechenzentren ersetzt Solarenergie teilweise das Stromnetz, kann aber nicht die Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit und Kapazität erfüllen, um als primäre Energiequelle zu dienen.

Wie die nächsten beiden Abschnitte beschreiben, haben wir in unserem Rechenzentrum in Bangalore einen Proof of Concept mit Brennstoffzellen durchgeführt. Da der Proof of Concept erfolgreich war, haben wir dann beschlossen, die Brennstoffzellentechnologie in den USA als eine Alternative zum Stromnetz zu nutzen. Dass sollte eine Reihe verschiedener Probleme in unserem Rechenzentrum in Santa Clara lösen.

Auf der Grundlage unserer operativen Erfahrungen während dieses Proof of Concept fungiert die Brennstoffzellentechnologie jetzt als unser Aktionsplan für das Design von Intel Rechenzentren, wo immer dies möglich ist. Das ist einzigartig in der Branche.

## Auseinandersetzung mit globalen Umwelt- und Nachhaltigkeitsproblemen

**Intel IT hat es sich zur Aufgabe gemacht, dass Intel als führendes Unternehmen im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit anerkannt wird.**

Wenn es darum geht, Entscheidungen über Stromversorgung, Kühlung und Gebäude zu treffen, dann ist für die Rechenzentrumsplaner von Intel die Umweltverträglichkeit ein entscheidender Faktor für unsere Infrastrukturrentscheidungen. Wir arbeiten ständig daran, unsere Energieeffizienz immer weiter zu verbessern – auch in Bezug auf unsere Energiequellen und ihre CO<sub>2</sub>-Bilanz. In diesem Zusammenhang sind Brennstoffzellen als eine sauberere alternative Energiequelle eine von viele Initiativen von Intel IT, die Intel dabei unterstützen, seine langfristigen Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Weitere Schwerpunktthemen sind die energiesparende Arbeitsweise unserer Produkte und die Zusammenarbeit mit anderen, um innovative Methoden dafür zu entwickeln, wie Technik langfristige ökologische Herausforderungen bewältigen kann. So hat beispielsweise unser nachhaltiges Energiemanagement es uns in den letzten Jahren ermöglicht, über 7,1 Milliarden kWh grünen Strom zu erzeugen. Das entspricht 82 Prozent des weltweiten Stromverbrauchs von Intel. Unser neues Ziel ist es, bis 2030 100 Prozent unseres weltweiten Energieverbrauchs durch grünen Strom abzudecken.<sup>1</sup>

Wenn wir alternative Energiequellen bewerten und Entscheidung über die Energieversorgung treffen, berücksichtigen wir, wie sich eine Stromquelle auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz von Intel und auf die Reduzierung gefährlicher Abfälle auswirkt.

<sup>1</sup> Intel und die Umwelt, [intel.de/content/www/de/de/environment/intel-and-the-environment.html](http://intel.de/content/www/de/de/environment/intel-and-the-environment.html)

## Unter der Lupe: Brennstoffzellentechnologie

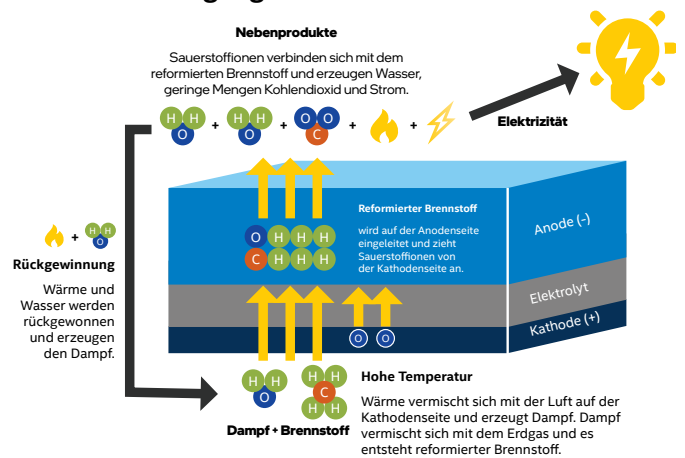
### Nach Jahren der Innovation tragen Brennstoffzellen nun zur Stromversorgung der Rechenzentren von Intel bei.

Die erste Brennstoffzelle wurde 1839 erfunden. Sie erzeugte Strom durch die Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser. Die Brennstoffzellentechnologie hat sich seither stark weiterentwickelt, aber der Grundaufbau ist derselbe: zwei Elektroden – eine negative Elektrode (oder Anode) und eine positive Elektrode (oder Kathode) – sind um einen Elektrolyten herum angeordnet. Eine Brennstoffzelle erzeugt Strom durch eine elektrochemische Reaktion, bei der Brennstoff und Luft gemischt werden, um Strom und Wasser verbrennungslos zu erzeugen. Heutzutage wird nicht nur Wasserstoff als Brennstoff für Brennstoffzellen verwendet. Sie können Strom auch aus Propan, Erdgas und Biogas erzeugen. Die Brennstoffzellen in den Rechenzentren von Intel nutzen Erdgas zur Stromerzeugung.

Brennstoffzellen ähneln Batterien in der Hinsicht, dass sie keine beweglichen Teile besitzen, aber sie entleeren sich nicht und müssen nicht aufgeladen werden. Sie erzeugen Strom und Wärme, solange Brennstoff und Luft zugeführt werden.

Ähnlich wie Prozessoren von Intel dem Mooreschen Gesetz folgen – immer mehr Rechenleistung wird auf immer kleineren Raum gepackt –, so packt die Brennstoffzellentechnologie auch immer mehr Kapazität auf immer weniger Fläche. Als wir 2015 unsere erste Brennstoffzellenanlage installierten, belegte diese 2,5 MW starke Anlage etwa 1400 Quadratmeter mit 200-kW-Brennstoffzellen. In nur drei Jahren haben die Brennstoffzellenhersteller diese Fläche mehr als halbiert. Auf den heute verbliebenen 650 Quadratmetern bieten Module mit höherer Leistungsdichte dieselbe Kapazität. Wir gehen davon aus, dass sich dieser Trend fortsetzt und Brennstoffzellen noch kompakter und effizienter werden.

Ein weiterer Entwicklungstrend: 2015 gab es auf dem Markt nur wenige Brennstoffzellenprodukte. Die Hersteller von Brennstoffzellen bieten heute eine Reihe verschiedener Brennstoffquellen, Kapazitäten und Konfigurationen mit verbesserter Leistung. Das wird dazu beitragen, den Platzbedarf weiter erheblich zu verringern. So haben wir zum Beispiel den Platzbedarf um ca. 50 Prozent reduziert, als wir unsere erste Brennstoffzellenanlage modernisiert haben.





## Fallstudie: Intel, Bangalore

Um die Ausbauziele von Intel in Bangalore zu erfüllen, entschieden wir uns die Standortinfrastruktur zu skalieren. So konnten wir die beiden bestehenden Rechenzentren und verschiedene Labore sowie zwei neue Smart Buildings, in denen mehrere Tausend Angestellte arbeiten, inkludieren. Um den Strombedarf für ein solches Wachstum zu decken, hätten wir ein neues Hochspannungsumspannwerk benötigt.

### Problemstellung

Die Errichtung der Infrastruktur für das Hochspannungsumspannwerk warf zwei Probleme auf, die es zu lösen galt:

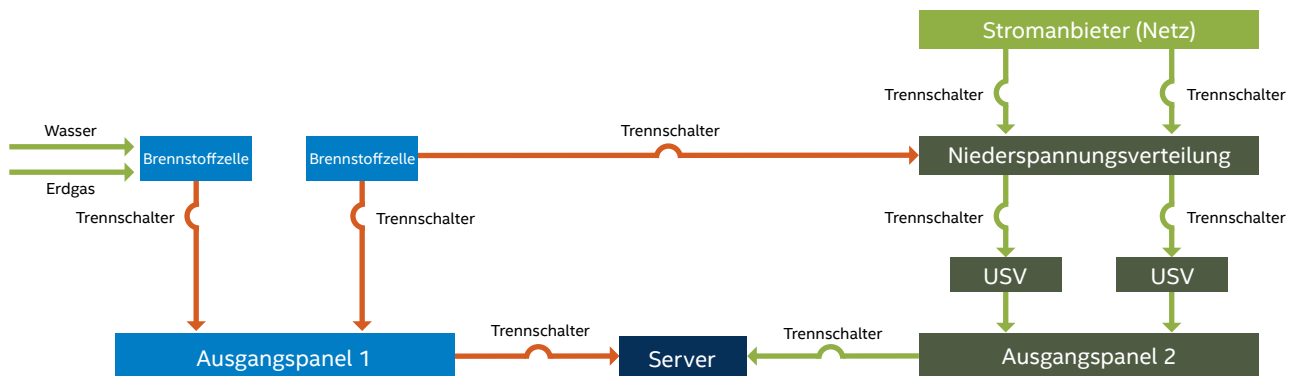
- Der Bau des neuen Umspannwerks hätte zwischen 18 und 36 Monaten gedauert und wir konnten es uns nicht leisten, die Stromversorgung der Gebäude und Labore für so lange zu verschieben.
- Das neue Umspannwerk hätte mehr als 2800 m<sup>2</sup> belegt, was den verfügbaren Platz für die neuen Smart Buildings reduziert hätte. Wir hätten bei unseren Expansionsplänen Abstriche machen müssen, indem eigentlich für Mitarbeiter gedachter Platz für die Stromversorgung genutzt worden wäre.

### Lösung

Die Abteilungen Corporate Services und Global Supply Chain haben gemeinsam mit Intel IT an der Einführung der Brennstoffzellentechnologie bei Intel India gearbeitet. Es war eine echte Pionierleistung (kein anderes Unternehmen in Indien oder Asien hatte je zuvor Brennstoffzellen zur Stromversorgung seiner Rechenzentren genutzt), dass wir dabei mit einem bekannten amerikanischen Brennstoffzellenhersteller sowie mit lokalen Behörden zusammengearbeitet haben, um die Technologie als eine potenzielle Möglichkeit zur dezentralen Energieerzeugung genehmigen zu lassen, zusätzlich zu den anderen bereits verfügbaren Technologien. Dazu gehörte Arbeit auf der Ebene der grundlegenden Infrastruktur, um die Zentralregierung und die Lokalverwaltung zum Aufbau einer Erdgasinfrastruktur zu bringen und den Hersteller beim Markteintritt in Indien zu unterstützen. Wir haben mit verschiedenen Abteilungen des Ministeriums für Erdöl und Erdgas verhandelt, um alle Grundlagen zu schaffen – und der Aufwand hat sich gelohnt. Der Aufbau einer Gasinfrastruktur machte ein Umspannwerk überflüssig, kompensierte einen Teil der Investitionen in die Brennstoffzellentechnologie und sparte Zeit ebenso wie Platz – und das alles bei gleichzeitiger Erreichung unserer Expansions- und Kapazitätsziele.

Während der Startphase versorgte die Energie aus Brennstoffzellen das Rechenzentrum mittels einer bestehenden USV mit Strom. Die hohe Qualität und Zuverlässigkeit des von den Brennstoffzellen erzeugten Stroms ermöglichte es uns jedoch, das Rechenzentrum direkt aus den Brennstoffzellen mit Strom zu versorgen, ohne Einsatz einer USV.

Momentan ist die Brennstoffzellenanlage im Rechenzentrum in Bangalore einzigartig, da die Brennstoffzellen als primäre Energiequelle für Rechenzentren und Labore dienen, während das Netz als Backup genutzt wird (siehe Abbildung 1). Diese Konfiguration unterscheidet sich von herkömmlichen Praktiken insofern, als normal das Netz als primäre Energiequelle dient und andere Stromerzeugungsquellen für die Backup-Stromversorgung genutzt werden, um die Zuverlässigkeit für betriebskritische Prozesse zu gewährleisten. Der Strombedarf des Campus in Bangalore wird zu etwa 65 Prozent durch eine aus Brennstoffzellen bestehende Energiequelle gedeckt, wobei es Konfigurationen gibt, die sowohl netzparallel als auch netzunabhängig arbeiten. Die Brennstoffzellen haben den Dieselverbrauch verringert – und daher auch die Notwendigkeit, Diesel vor Ort zu lagern. Sie haben zudem die Stromerzeugungskosten verringert und die Anforderungen an die Backup-Kapazität vereinfacht.



**Abbildung 1:** In der Anlage in Bangalore dienen die Brennstoffzellen als primäre Energiequelle, um die Rechenzentren und Labore mit Strom zu versorgen, während das Stromnetz als Backup fungiert.

„Die hohe Qualität und zuverlässige Leistung seiner installierten Brennstoffzellensysteme hat Intel dabei geholfen, seine Rechenzentren direkt mit Strom zu versorgen, wodurch USVs für spezifische Lasten überflüssig wurden.“

## Ergebnisse

Die Umstellung auf Brennstoffzellen als primäre Energiequelle an unserem Standort in Bangalore bietet mehrere Vorteile:

- **Zuverlässigkeit.** Die Zuverlässigkeit der Brennstoffzellentechnologie erfüllt die Anforderungen an Kapazität und Verfügbarkeit hinsichtlich des Betriebs von kritischen Rechenzentrums- und Labor-Workloads. Wir haben uns auch überlegt, Backup-Stromversorgungssysteme wie USVs und Dieselgeneratoren einzuführen. Beide Systeme erfordern jedoch CapEx und/oder OpEx sowie häufige Wartungs- und Erneuerungstätigkeiten. Durch die Aufnahme von Brennstoffzellen in den Energieversorgungsmix von Intel konnte dieses Problem beseitigt werden.
- **Qualität.** Eine Netzstromquelle kann Probleme mit der Stromqualität wie Spannungsabfälle und Frequenzschwankungen aufweisen. Wir nutzen daher Stromstabilisierungssysteme mit eingebauten Filtern, um die Qualität des Stroms zu verbessern, mit dem die Server versorgt werden. Die Nutzung von Brennstoffzellen als Energiequelle beseitigt diese Probleme, da der erzeugte Strom von hoher Qualität ist und so die Anlagen für die Stromstabilisierung überflüssig macht.
- **Effizienz.** USV-Anlagen sind „verlustbehaftet“, d. h. bei USVs älterer Generationen gehen etwa 14 Prozent aufgrund von Schalt- und Leitungsverlust verloren. Eine USV der aktuellen Generation verliert 4-6 Prozent. Die Beseitigung dieser Verluste hat die Gesamteffizienz der Rechenzentren verbessert.
- **Reduktion von Errichtungszeit und Kosten.** Anstatt 18-36 Monate mit der Errichtung eines Umspannwerks zu verbringen, um die Stromkapazität zu erhöhen, lassen sich Brennstoffzellen innerhalb von sechs Monaten in Betrieb nehmen (vorausgesetzt, dass eine Erdgasquelle verfügbar ist und alle erforderlichen Genehmigungen vorliegen). Diese „Plug-and-Play“-Stromerzeugungstechnologie bietet Intel einen wesentlichen Vorteil, da sie das rasante Wachstum von Rechenzentren oder die schnelle Einführung neuer innovativer Produkte ermöglicht.
- **Skalierbarkeit.** Die elektrischen Verbraucher in Rechenzentren und Laboren nehmen meist aufgrund von internem Wachstum zu. Die Netzleistung muss jedoch abhängig vom Gesamtstrombedarf des Standorts in großen „Tranchen“ erhöht werden. Wenn die vorhandenen Umspannwerkkapazitäten eine Nachfrageresteigerung nur begrenzt abdecken können oder für eine schrittweise Weiterentwicklung gedeckelt sind, dann verkompliziert und verteuert das die Deckung des Strombedarfs für ein schrittweises Wachstum. Brennstoffzellen ermöglichen es uns jedoch, die Stromkapazität je nach Bedarf zu steigern oder zu senken, zumal der Verbrauch von Brennstoffzellen mit der Weiterentwicklung der Technologie weiter schrumpft.
- **Nachhaltigkeit.** Dank unserer geringeren Abhängigkeit von nicht sonderlich effizienten Backup-Dieselmotoren während Stromausfällen konnten wir unsere Kohlendioxidemissionen verringern, da Brennstoffzellen eine sauberere und effizientere Energiequelle darstellen. Die Integration von Brennstoffzellen in das Rechenzentrum in Bangalore ermöglichte uns eine Umkonfiguration der USV-Nutzung und verbesserte den PUE-Wert von 1,84 auf ungefähr 1,64 (unter Idealbedingungen). Dadurch konnte der Stromverbrauch um etwa 12 Prozent gesenkt werden. Die Gesamtleistung der installierten Brennstoffzellenkapazität entspricht beinahe 12 MW an freigewordener Kapazität im Netz des Versorgungsunternehmens, die dafür genutzt werden können, das Wachstum anderer Unternehmen im Ökosystem zu unterstützen. Diese zusätzliche Kapazität ist wichtig, da während der Installation der Brennstoffzellen die Lücke zwischen Stromnachfrage und -angebot im Stromnetz 10 Prozent überstieg.

## Zusammenarbeit mit der Branche bei der Entwicklung von Standards

### Der Einsatz von Brennstoffzellen in Indien erforderte die Festlegung von Richtlinien und Standards sowie diesbezügliche Entscheidungen.

Intel India war das erste Unternehmen, das Brennstoffzellen in seine Roadmap zur Emissionsreduzierung in Indien aufgenommen hat. Zu diesem Zeitpunkt wurden in Indien die Standards für Brennstoffzellen gerade erst erarbeitet. Gemeinsam mit dem Central Power Research Institute (CPRI) arbeitete Intel an der Identifizierung und Definition angemessener, einschlägiger Standards für Brennstoffzellen, anstatt auf die für Gasmotoren etablierten Standards zurückzugreifen. Intel arbeitete auch mit dem Umweltministerium, dem Ministerium für Erdöl und Erdgas und dem Ministerium für neue und erneuerbare Energie (MNRE) zusammen.



2018 konzentrierte sich unser zweites Pilotprojekt zu Brennstoffzellen auf den Kapazitätsausbau. Diese 5 MW starke Brennstoffzellenanlage ermöglichte es uns, einen Teil unseres Stromverbrauchs auf die Brennstoffzellen zu verlagern. Dieses netzparallel installierte System liefert Strom für ein Rechenzentrum mit hoher Dichte. Sämtliche ungenutzte Kapazitäten werden zum anderen Gebäude am Standort übertragen. Dieses Brennstoffzellensystem verhindert auch den Verlust der IT-Last, indem es vor kurzen Netzqualitätsereignissen schützt, wann immer diese auftreten.

Wir haben die Nutzung von Brennstoffzellen ausgeweitet, indem wir zum Schutz eines dritten Rechenzentrums (1 MW) und anschließend eines vierten Rechenzentrums (5 MW mit der Möglichkeit der Erweiterung auf 10 MW) ein netzunabhängiges System aufgebaut haben, das Brennstoffzellen als primäre Energiequelle nutzt (siehe Abbildung 2). In der 1 MW starken Anlage haben wir redundante STS genutzt. In der 5 MW starken Anlage haben wir beide Energiequellen (Brennstoffzellen und Stromanbieter) direkt an redundante Netzteile innerhalb der Server angeschlossen. Die Designentscheidungen beruhen auf Kosten- und Zuverlässigkeitsaspekten. Eine geringere Anzahl an Komponenten (Wegfall von Switches) führt zu geringeren Kosten, ohne die Redundanz zu beeinträchtigen.

### Fallstudie: Intel, Santa Clara

Die Installation von Brennstoffzellen in unserem Rechenzentrum in Santa Clara konnte mehrere Probleme lösen und verschiedene Metriken verbessern.

#### Problemstellung

Unsere Rechenzentren in Santa Clara haben nur begrenzten Platz, was Bauarbeiten schwierig und teuer macht. Sie weisen auch die üblichen Probleme von Rechenzentren hinsichtlich Redundanz und Kapazität auf. Beim Bau neuer Umspannwerke sind viele Behörden involviert, und die Arbeitskosten sind hoch.

#### Lösung

Unser erstes Pilotprojekt mit Brennstoffzellen konzentrierte sich auf die Redundanz. Wir installierten netzparallel 1 MW an Brennstoffzellen, um ein Rechenzentrum zu unterstützen. Die Brennstoffzellen dienen als primäre Energiequelle, wobei das Stromnetz als Backup genutzt wurde. Die beiden Energiequellen waren mit einem Statischen Transferschalter (STS, Static Transfer Switch) verbunden, der die Last auf das Netz überträgt, falls die Brennstoffzellen aus irgendeinem Grund ausfallen.

#### Ergebnisse

Die Vorteile des Einsatzes der Brennstoffzellentechnologie für die Stromversorgung unserer Rechenzentren in Santa Clara sind ähnlich zu denen, die wir in Bangalore erzielt haben. Zu diesen Vorteilen gehören eine kürzere Errichtungszeit, effizientere Nutzung der Fläche, Vermeidung des Ausbaus von Umspannwerken, Skalierbarkeit durch modulares Design sowie ein niedrigerer PUE-Wert aufgrund des Wegfalls von ineffizienten USVs, Transformatoren und Dieselgeneratoren.

Im Jahr 2020 (und im ersten Halbjahr 2021) betrug die Verfügbarkeit der Brennstoffzellen in Santa Monica 100 Prozent – das heißt, wir hatten keine Ausfallzeiten, während wir alle routinemäßigen Wartungs- und Reparaturarbeiten durchführten. Tatsächlich gab es einen etwa 50 Minuten langen Stromausfall, während dem das Rechenzentrum dank der Brennstoffzellen die gesamte Zeit über mit Strom versorgt war. Im Vergleich dazu liefert eine USV für nur etwa 10 bis 15 Minuten Strom.

Außerdem haben unsere Brennstoffzellenprojekte in Santa Clara bewiesen, dass Brennstoffzellen äußerst flexibel sind – sie bieten ausgezeichnete Redundanzkapazitäten und helfen uns, einen wachsenden Kapazitätsbedarf in kürzester Zeit zu decken.

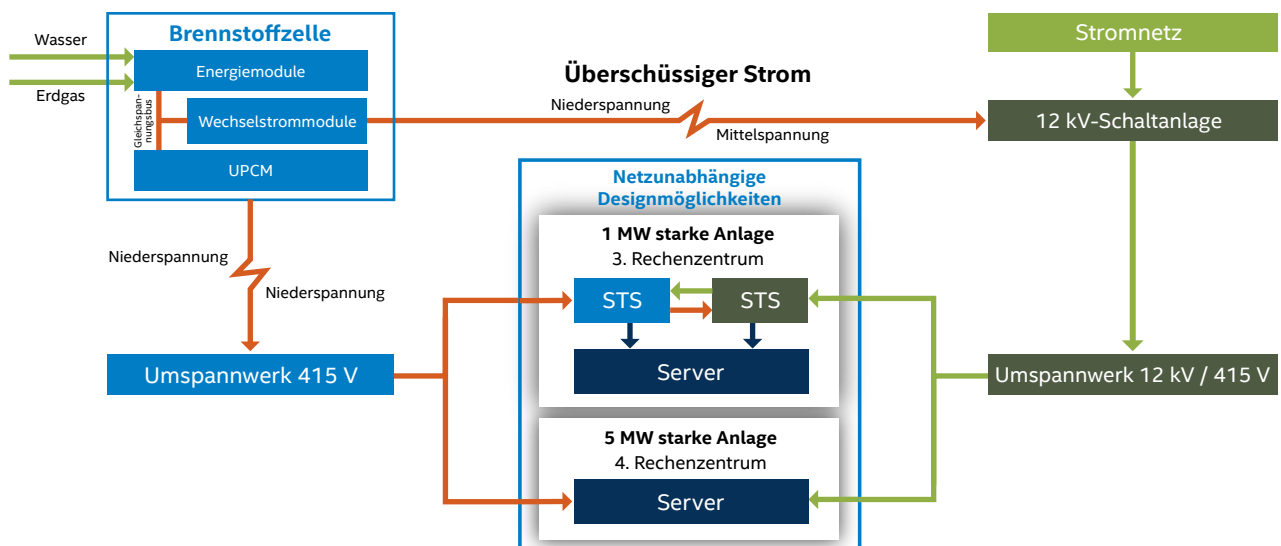


Abbildung 2: In der Anlage in Santa Clara sorgen die Brennstoffzellen sowohl für Redundanz als auch für Kapazität.

## Fünf Best Practices für den Einsatz der Brennstoffzellentechnologie zur Stromversorgung von Rechenzentren

Die folgenden Best Practices basieren auf den eigenen Erfahrungen von Intel IT in Bangalore und Santa Clara.

### Best Practice #1: Skalierung einplanen

Wir stellen sicher, dass unsere Brennstoffzellenanlagen modular sind, damit das System erweitert oder reduziert werden kann, um langfristigen Veränderungen der Grundlastnachfrage zu begegnen. Wir haben herausgefunden, dass der Einsatz von 250 kW starken Brennstoffzellen es uns ermöglicht, die Kapazität flexibel nach oben oder unten anzupassen. Durch diesen Ansatz können Systeme schrittweise aufgebaut werden und kleinere Teile können ausgetauscht werden, ohne dass das Gesamtsystem beeinträchtigt wird. Wir überprüfen in regelmäßigen Abständen, ob die Brennstoffzellenkapazität korrekt gesteigert/gesenkt wird.

### Best Practice #2: Einspeisung von Strom ins Netz vermeiden

Wir speisen keinen Strom zurück in das Netz ein. Die Gesetzeslage in Indien unterstützt die Netzeinspeisung für Brennstoffzellensysteme nicht, wodurch wir für in das Netz eingespeisten Strom nicht bezahlt werden. Somit wäre das ein direkter Verlust für Intel. In Santa Clara ist es gewerblichen Netzkunden nicht gestattet, Strom zu erzeugen und ins Netz einzuspeisen. Wir setzen ein Messsystem ein, das die Brennstoffzellen abschaltet, sobald Strom in das Netz eingespeist werden würde.

### Best Practice #3: Bei netzunabhängigen Systemen kann ein UPCM die USV ersetzen

Der Gleichspannungsbus speist aufgrund seiner Kritikalität zuerst das UPCM (das wie eine USV funktioniert). Das UPCM bietet eine netzunabhängige Stromquelle für die kritische Last. Die Integration eines UPCM in unser Design macht eine USV für das Rechenzentrum überflüssig. Bei einem Netzausfall versorgt das UPCM das Rechenzentrum weiterhin mit Strom. Der Ersatz der USV durch ein UPCM erspart zudem Geld, reduziert den PUE-Wert, beseitigt ineffiziente Komponenten und reduziert den Wartungsaufwand.

Die Redundanz von UPCM, Energiemodul und Gleichstrommodul maximiert die Betriebszeit und die Stromerzeugung. Wenn ein Teil eines Energiemoduls ausgetauscht oder repariert werden muss, bleiben außerdem die übrigen Energiemodule in Betrieb.

### Best Practice #4: Synchronisieren der Brennstoffzellen mit dem Netz und dem Backup-Generator

In Situationen, in denen ein Backup-Dieselmotor zum Einsatz kommt, synchronisieren wir die Brennstoffzellen mit dem Netz und den Backup-Dieselmotoren. Diese Fähigkeit ist besonders nützlich an Standorten, an denen es häufig zu Netzausfällen oder langanhaltenden Lastabwürfen kommt.

Brennstoffzellen benötigen eine Referenzquelle, mit der die Frequenz der Stromerzeugung synchronisiert werden kann. Anfangs waren unsere Brennstoffzellen nur mit dem Netz synchronisiert. Bei Stromausfällen gingen die Brennstoffzellen daher in den Standby-Modus und verbrauchten weiterhin Erdgas, um die Systemtemperatur aufrechtzuerhalten. Wenn die Systemtemperatur unter einen bestimmten Schwellenwert fiel, dauerte es vier bis acht Stunden, das System wieder hochzufahren, wobei noch mehr Erdgas verbraucht wurde. Wir mussten die Backup-Dieselmotoren für den gesamten Campus laufen lassen. Das erhöhte den Dieserverbrauch ebenso wie die damit einhergehenden Emissionen. Zudem mussten wir auch Erdgas verbrauchen, um die Brennstoffzellen im Standby-Modus zu halten.

Um dieses Problem zu lösen, haben wir für die parallele Synchronisierung der Brennstoffzellen mit den Backup-Dieselmotoren *und* dem Netz gesorgt, falls es zu einem Stromausfall auf dem Campus kommt. Die Synchronisierung mit den Generatoren verhindert normalerweise, dass die Brennstoffzellen in den Standby-Modus gehen. Nach Angaben des Brennstoffzellenherstellers, mit dem wir zusammengearbeitet haben, war unter seinen weltweiten Anlagen diese die erste mit dieser Fähigkeit. Dank dieser Lösung konnten wir die Anzahl der von uns vor Ort genutzten Dieselmotoren verringern und unseren Dieserverbrauch sowie die damit einhergehenden Emissionen (Kohlendioxid und schwefelhaltige Gase) senken. Diese Lösung verbessert sogar die Lebensdauer und Effizienz der Brennstoffzellen, da das System nur selten in den Standby-Modus geht.

### Best Practice #5: Erreichen von fixen Betriebskosten sowie garantierter Stromerzeugung und Systemleistung

Die Betriebs- und Wartungskosten, einschließlich der Kosten für den Austausch von Brennstoffzellen während des Betriebszeitraums, sind bei garantierter Systemleistung und Betriebszeit fix. Dadurch können die Betriebskosten des Systems abgesichert werden und Intel hat die Möglichkeit, im Rahmen langfristiger Verträge über die künftigen Preise eine feste Gasmenge im Voraus günstiger zu erwerben. Zudem sinken die Betriebskosten des Systems in der Regel während der Laufzeit weiter, da hocheffiziente Brennstoffzellenmodule einer neueren Generation verfügbar werden, mit denen eine höhere Erzeugungsleistung bei verbessertem Wirkungsgrad erzielt werden kann.

## Brennstoffzellen bieten genug Flexibilität für die neue Normalität

**Eine vorausschauende Planung verhinderte, dass die Pandemie die Nutzung der Brennstoffzellen beeinträchtigt.**

Während der Planungsphase für die Brennstoffzellenanlage in Bangalore stellte das Projektteam – bestehend aus Intel IT und den Abteilungen Corporate Services und Global Supply Chain – sicher, dass die Brennstoffzellenkapazität nur für die Grundlast ausgelegt wurde, um nur das Rechenzentrum und den Laborbetrieb zu unterstützen. Wir wollten nicht, dass die Last des Gebäudes die Kapazität der Brennstoffzellen bestimmt, da wir wussten, dass sie stark schwankt. Als während der Pandemie die Mehrheit der Mitarbeiter auf Homeoffice umstellte, gab es also keine (positiven oder negativen) Auswirkungen auf die Nutzung der Brennstoffzellen.

Wir wissen zwar noch nicht, wie die „neue Normalität“ und das Büro der Zukunft aussehen werden, sind jedoch zuversichtlich, dass die Brennstoffzellentechnologie ihren Beitrag dazu leisten wird. Der Aufbau der Brennstoffzellenanlage ist vollständig modular. Dadurch können wir Module hinzufügen, um die Kapazität zu erhöhen, oder welche herausnehmen, um die Kapazität zu verringern. Künftige Geschäftsentscheidungen werden uns vielleicht dazu nötigen, die Kapazität der Grundlast zu verringern. Das könnte sich auf das System auswirken. Die Flexibilität des Systems erlaubt es uns glücklicherweise, einige Module zu entfernen und den Rest in Betrieb zu lassen.

## Fazit

Intel IT ist ständig bemüht, die Effizienz von Rechenzentren zu steigern und Änderungen in der Stromnachfrage Rechnung zu tragen. Nach mehreren erfolgreichen Proofs of Concept erachtet Intel IT die Brennstoffzellentechnologie nun als eine zuverlässige und stabile Stromquelle für die Rechenzentren von Intel – und nutzt diese in manchen Situationen sogar als primäre Energiequelle. Wir haben festgestellt, dass wir ein Brennstoffzellensystem wesentlich schneller einsetzen können, als wir eine neue Energiequelle vom örtlichen Stromanbieter beziehen können. Zusätzliche Vorteile sind weniger Emissionen im Vergleich zu Dieselgeneratoren sowie niedrigere CapEx-Kosten und ein geringerer Flächenverbrauch im Vergleich zu herkömmlichen Umspannwerken. Die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie orientiert sich weiterhin am Mooreschen Gesetz, da die Größe und die Kosten von Brennstoffzellen weiter sinken, während ihre Effizienz steigt.

Intel IT hat in Zusammenarbeit mit der Abteilung Corporate Services von Intel mehrere Best Practices für die Konfiguration und den Einsatz von Brennstoffzellen als Energiequelle für die Rechenzentren von Intel entwickelt. Diese Best Practices helfen uns dabei, das Optimum aus unseren Investitionen in Brennstoffzellenanlagen herauszuholen.

## Inhalte zu diesem Thema

Wenn Ihnen dieses Whitepaper gefallen hat, sind vielleicht auch diese verwandten Artikel für Sie interessant:

- Rechenzentrumsstrategie als Wegbereiter von Intels Unternehmenstransformation
- Erfolgsmethoden für die Effizienzsteigerung und Nachrüstung im Rechenzentrum
- Intel IT definiert das Rechenzentrum mit hoher Leistungsdichte neu: 12 kW/m<sup>2</sup>
- Standortwahl von Rechenzentren: Der Ansatz von Intel

Mehr über die Best Practices von Intel IT erfahren Sie unter [intel.com/IT](https://www.intel.com/IT).

## IT@Intel

Wir bringen IT-Experten in aller Welt mit ihren IT-Kollegen bei Intel zusammen. Unsere IT-Abteilung hat Lösungen für die anspruchsvollsten und komplexesten aktuellen IT-Aufgaben und wir möchten die gewonnenen Erkenntnisse direkt mit anderen IT-Experten in einem offenen Forum für Kollegen diskutieren.

Unser Ziel ist einfach: die Effizienz des gesamten Unternehmens verbessern und den geschäftlichen Nutzen von IT-Investitionen steigern.

Folgen Sie uns und beteiligen Sie sich an der Diskussion:

- [Twitter](#)
- [Netzwerk für IT-Berufskollegen](#)
- [#IntelIT](#)
- [LinkedIn](#)

Besuchen Sie [intel.com/IT](https://www.intel.com/IT) oder wenden Sie sich an Ihren Ansprechpartner bei Intel, wenn Sie mehr erfahren möchten.



Intel® Technik kann entsprechend geeignete Hardware, Software oder die Aktivierung von Diensten erfordern. Kein Produkt und keine Komponente bietet absolute Sicherheit. Kosten und Ergebnisse können variieren.

Angaben in diesem Dokument, die sich auf zukünftige Vorhaben oder erwartete Ergebnisse beziehen, sind Prognosen. Diese Angaben beruhen auf den aktuellen Erwartungen und beinhalten viele Risiken und Ungewissheiten, die dazu führen könnten, dass sich tatsächliche Ergebnisse wesentlich von den in solchen Angaben genannten oder implizierten Ergebnissen unterscheiden. Weitere Informationen über die Faktoren, die zu deutlich abweichenden Ergebnissen führen könnten, finden Sie auf [www.intc.com](https://www.intc.com) in unseren zuletzt veröffentlichten Geschäftsergebnissen und SEC-Berichten.

© Intel Corporation. Intel, das Intel Logo und andere Intel Markenbezeichnungen sind Marken der Intel Corporation oder ihrer Tochtergesellschaften.

\*Andere Marken oder Produktnamen sind Eigentum der jeweiligen Inhaber. 1121/WWES/KC/PDF