

Sichere Stromversorgung für die digitale Gesellschaft

Untersuchung des europäischen Marktes für
Netzersatzanlagen bis 100 kW Leistung

Abschlussbericht

E4tech Sàrl für

NOW GmbH - Nationale Organisation
Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Juni 2016

Titel	Sichere Stromversorgung für die digitale Gesellschaft - Untersuchung des europäischen Marktes für Netzersatzanlagen bis 100 kW Leistung
Berichtsversion	Schlussbericht
Datum	20. Juni 2016
Auftraggeber	NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Fasanenstraße 5 D-10623 Berlin Deutschland
Auftragnehmer	E4tech Sàrl Avenue Juste-Olivier 2 1006 Lausanne Schweiz
Autoren	Dr. David Hart Franz Lehner Xavier Hansen

E4tech Sàrl
Avenue Juste-Olivier 2
1006 Lausanne
Switzerland

Tel: +41 21 331 1570
Fax: +41 21 331 1561

Company number: CH-550-1024874

www.e4tech.com

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Mitgliedern der Projektlenkungsgruppe, einschließlich Wolfgang Axthammer (NOW GmbH), Dr. Henrik Colell und Christian Leu (Heliocentris Energy Solutions AG), Dr. Matthias Boltze (new enerday GmbH), Sebastian Goldner (Proton Motor Fuel Cell GmbH), Kai Steckmann (SFC Energy AG) und Frank Luckau (DB Bahnbau Gruppe GmbH) für die Projektbegleitung und Beratung.

Darüber hinaus sind die Autoren dankbar für die vielen Beiträge von Experten und Anwendern (siehe Liste am Ende des Berichts), die für Interviews und Auskünfte im Rahmen dieser Studie zur Verfügung standen.

Vorstellung E4tech

E4tech ist ein internationales Strategieberatungsunternehmen mit Fokus auf nachhaltigen Energietechnologien. Seit 1997 unterstützen wir Firmen, Regierungsorganisationen und Investoren dabei, die globalen Chancen und Herausforderungen im Energiebereich besser zu verstehen. Wann immer Entscheidungsträger mit unsicheren Prognosen und Datenlagen konfrontiert sind, erarbeiten wir objektive Empfehlungen in strategischem Kontext. Für unsere Arbeiten greifen wir auf solides hausinternes ingenieur- und naturwissenschaftliches Verständnis zurück.

Eines unserer Kompetenzfelder ist dabei das Potenzial von Wasserstoff als Energieträger, sowie die damit verbundenen Komplexitäten auch mit Bezug auf wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen. Ebenso verfügen wir über Expertise im Bereich Brennstoffzellen und konkurrierenden Technologien. Ein Team um E4tech veröffentlicht jährlich einen kostenlosen Bericht zum Stand des Brennstoffzellensektors, der durch unser weitgespanntes Industrienetzwerk informiert wird (www.fuelcellindustryreview.com).

Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde durch E4tech erstellt und stellt eine Einschätzung basierend auf vorliegenden Informationen dar. Es wird darauf hingewiesen, dass aufgrund der thematischen Weite des Berichts nicht alle Informationen unabhängig verifiziert oder überprüft werden konnten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Aussagen in diesem Bericht auf nur einer Informationsquelle beruhen. Obwohl im Bericht die Konditionalform entsprechend dem Grad der Unsicherheit von Informationen verwendet wird, sollte dem Leser bewusst sein, dass Nutzung, Berufung auf, oder Entscheidungen basierend auf diesem Bericht ausschliesslich in der Verantwortung des Lesers liegen. E4tech übernimmt keinerlei Verantwortung oder Haftung für Schäden, die dem Leser aufgrund der Inhalte dieses Berichts entstehen.

Inhalt

Abkürzungen.....	1
Zusammenfassung für Entscheidungsträger	3
1 Hintergrund	12
2 Vorgehensweise	12
3 Rahmen und Fokus der Studie.....	13
4 Marktdatenanalyse zu Stromgeneratoren	14
4.1 Verkaufszahlen nach Produktklassen	14
4.2 Marktdatenanalyse	15
4.2.1 Gesamtmarkt 2010 bis 2020	15
4.2.2 Marktdaten nach Produktklasse und Land	17
4.2.3 Zusammenhang zwischen Netzverfügbarkeit und Marktdaten.....	19
4.2.4 Marktdaten nach Anlagenleistung.....	23
4.2.5 Marktdaten nach Kraftstoffart.....	25
4.2.6 Marktdaten nach Produktklasse und Anlagenleistung	26
5 Anbieterstruktur im konventionellen NEA Bereich	26
6 Gesetzliche Beschränkungen und Leitfäden für NEA	28
7 Kostenbetrachtungen	29
7.1 Technische Lösungen je Einsatzmuster	29
7.2 Anwendungsbezogenheit der Gesamtkosten	31
7.3 Kostenbereich Diesel-NEA	32
7.4 Wettbewerbsfähigkeit Brennstoffzelle	33
8 Status und Trends bei Batterietechnologien	34
8.1 Batterietypen	35
8.1.1 Bleibatterien	35
8.1.2 Nickel Cadmium (NiCd) und Nickel Metall Hydrid (NiMH) Batterien	36
8.1.3 Lithium-Ionen Batterien.....	36
8.1.4 Weitere Technologien.....	37
8.2 Ausblick zu Batterietechnologien	37
9 Ausgewählte Anwendungen im Detail	39
9.1 BOS-Funk	40
9.2 Telekommunikationsinfrastruktur	43
9.3 Bahninfrastruktur	46
9.4 Stromversorgung (Netzbetreiber)	48
9.5 Rechenzentren	49
9.6 Straßenwetterstationen	57
10 Ausblick Brennstoffzellen	58
11 Quellenverzeichnis	59
12 Expertenbefragungen im Rahmen dieser Studie.....	62

Abkürzungen

BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BIP	Bruttoinlandprodukt
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
BZ	Brennstoffzelle bzw. Brennstoffzellensystem
CEER	Concil of European Energy Regulators
DFN	Deutsches Forschungsnetz
DIN	Deutsches Institut für Normung
ESCO	Energy Service Company
GSM	Global System for Mobile Communications
GSMA	GSM Association
ISO	Internationale Organisation für Normung
IT	Informationstechnik
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LPG	Von engl. Liquefied Petroleum Gas (Flüssiggas)
MW	Megawatt
NEA	Netzersatzanlage
NIP	Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW	Nationale Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NSV	Notstromversorgung
PKW	Personenkraftwagen
PSR	Power Systems Research
PV	Photovoltaik

RTE	Réseau de Transport d'électricité, Französischer Übertragungsnetzbetreiber
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
TA-Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TETRA	Von engl. terrestrial trunked radio, ursprünglich Trans-European trunked radio. Ein Standard für digitalen Bündelfunk.
TKG	Telekommunikationsgesetz
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer

Zusammenfassung für Entscheidungsträger

Hintergrund Brennstoffzellentechnologie

Brennstoffzellensysteme (kurz BZ) erzeugen auf elektrochemischem Weg direkt Strom aus Wasserstoff, oder leicht in Wasserstoff wandelbaren Kraftstoffen (z.B. Erdgas, Methanol, Flüssiggas). Brennstoffzellen sind heute technisch ausgereifte Lösungen, und kommerzielle Produkte sind verfügbar. Sie sind auf gutem Weg sich in ersten Anwendungen auch als wirtschaftliche Lösung gegenüber konventionellen Technologien durchzusetzen. Die Brennstoffzellentechnologie weist gegenüber konventioneller Stromerzeugung bzw. Antrieben eine Vielzahl von Vorteilen auf:

- Sofern Wasserstoff als Kraftstoff eingesetzt wird, entstehen vor Ort keine Emissionen außer Wasserdampf. Aber auch wenn beispielsweise Erdgas oder Flüssiggas in der Brennstoffzelle verstromt werden, sind Luftschadstoffe und CO₂ Emissionen deutlich niedriger als bei konventionellen Verbrennungskraftmaschinen.
- Geringer Wartungsaufwand, da im Wesentlichen auf bewegliche mechanische Bauteile verzichtet werden kann.
- Geringer Geräuschpegel – Brennstoffzellen arbeiten praktisch geräuschlos – eingesetzte Luftkompressoren und Pumpen arbeiten geräuscharm.
- Brennstoffzellen können sehr kompakt gebaut werden. Da die Gesamtfläche der Zellen die Leistung bestimmt, kann ein sehr breites Leistungsspektrum von wenigen Watt bis in den Megawattbereich bedient werden.
- Der letztlich in der Brennstoffzelle genutzte Wasserstoff kann auf verschiedenen Wegen erzeugt werden, so zum Beispiel mittels Wasserelektrolyse aus regenerativ erzeugtem Strom. Auf diesem Weg besteht langfristig auch die Möglichkeit große Mengen an erneuerbaren Energien saisonal zu speichern – ein entscheidender Vorteil gegenüber Batteriespeichern.

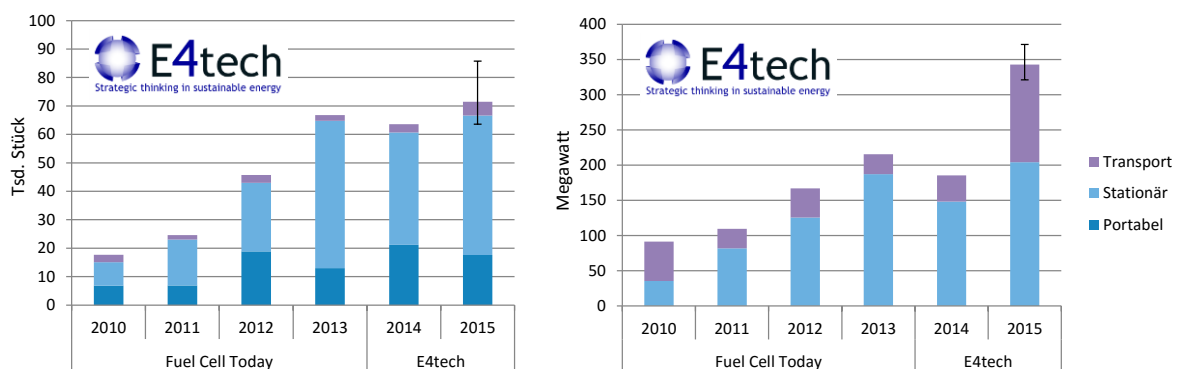
Je nach Anwendung eignen sich unterschiedliche Brennstoffzellentechnologien, wobei die -effizientesten derzeit einen Wirkungsgrad von bis zu 60% erreichen, wohlgerneht auch bei kleinen Leistungen im kW Bereich. Mittel- bis langfristig bieten Brennstoffzellen das Potenzial, konventionelle Stromerzeuger (Verbrennungskraftmaschinen) in einer Vielzahl von Anwendungen zu ersetzen. Dies reicht von stationären und mobilen Lösungen zur Dauer- und Notstromversorgung, bis hin zu Transportanwendungen wie PKW, Schwerlastverkehr, Eisenbahnen, Wasserfahrzeuge, und in einem gewissen Maße auch bis hin zu Flugzeugen.

Brennstoffzellenindustrie und gegenwärtige Märkte

Obwohl Brennstoffzellen bereits in den 1960er Jahren im Raumfahrtbereich zum Einsatz kamen, dauerte es einige Zeit, bis die Kosten und Lebensdauern der Technologie auch für kommerzielle Anwendungen interessant wurden. Ähnlich wie in der Photovoltaikindustrie kann aber auch bei Brennstoffzellen erwartet werden, dass die Kosten sehr schnell sinken, sobald größere Produktionskapazitäten geschaffen werden. Dies lässt sich bereits bei einzelnen Herstellern beobachten, deren wachsender Brennstoffzellenabsatz dank Fördermechanismen für Brennstoffzellen, wie sie in Asien und Nordamerika vorzufinden sind, bereits Investitionen in größere Produktionskapazitäten erlaubt hat.

Mehrere hundert Firmen arbeiten weltweit direkt an Brennstoffzellensystemen oder Brennstoffzellenspezifischen Komponenten. Der Absatz von Brennstoffzellensystemen ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Der Markt für stationäre Brennstoffzellensysteme dominierte bis vor kurzem die Absatzstatistik für Brennstoffzellensysteme. Bis heute wurden über 160.000 Klein-KWK (hauptsächlich in Japan) sowie etwa ein halbes Gigawatt an mittleren und größeren dezentralen Stromerzeugern weltweit installiert. Die größeren Systeme finden sich fast ausschließlich in Südkorea und den USA, wo entsprechende Rahmenbedingungen oder Förderinstrumente bestehen, welche die noch verbleibende Lücke hin zur Wettbewerbsfähigkeit schließen. Weltweit wurde bislang eine vierstellige Zahl an stationären Notstromversorgungen auf Brennstoffzellenbasis installiert, in vielen Fällen jedoch noch gestützt auf gezielte Förderinstrumente.

Weltweiter Absatz an Brennstoffzellensystemen nach Anwendungart (in tsd. Stück und MW)



Quelle: E4tech Fuel Cell Industry Review 2015

Im Segment der portablen Brennstoffzellenprodukte wurden bisher hauptsächlich Ladegeräte für mobile Endgeräte (z.B. Smartphone) mit wenigen Watt Ausgangsleistung abgesetzt. Daneben werden, unter anderem durch eine deutsche Brennstoffzellenfirma tragbare Brennstoffzellen im Leistungsbereich bis 100 W für den Freizeit- und professionellen Bereich verkauft. Diese Systeme werden im vierstelligen Stückzahlbereich abgesetzt. Im Transportsegment dominierten bis zuletzt mit Brennstoffzellen ausgestatte Flurförderfahrzeuge (z.B. Gabelstapler) für Logistikzentren in Nordamerika. Seit 2015 machen sich nun vermehrt die ersten Brennstoffzellen-PKW von Herstellern aus Japan und Südkorea in der Brennstoffzellenabsatzstatistik bemerkbar. In den kommenden Jahren wird mit mehreren tausend Fahrzeugen jährlich gerechnet, welche hauptsächlich in Erstanwendermärkte in Regionen, die bereits über Wasserstofftankstelleninfrastruktur verfügen, gelangen (Japan, Kalifornien, Deutschland und weitere europäische Länder).

Brennstoffzellenindustrie in Europa und Deutschland

Europa nimmt eine gewisse Sonderstellung im Brennstoffzellenbereich ein. Zwar gibt es führende Hersteller und Technologieentwickler, jedoch ist der Absatzmarkt für Brennstoffzellen im Vergleich zu Asien und Nordamerika vergleichsweise klein. In Deutschland ist dank des ambitionierten und derzeit laufenden Aufbaus an Wasserstofftankstellen mit mehr und mehr Brennstoffzellenfahrzeugen in den nächsten Jahren zu rechnen. Auch steht ein Technologieeinführungsprogramm für Klein-KWK Anlagen auf Brennstoffzellenbasis kurz bevor.

Innerhalb der noch recht überschaubaren globalen Brennstoffzellenindustrie für Netzersatzanlagen haben sich deutsche Akteure bislang gut positioniert: Mehr als zehn Systemintegratoren sowie eine Vielzahl von global agierenden Firmen entlang der Lieferkette unterstreichen die Führungsposition Deutschlands in dieser zukunftsorientierten Branche. Unter Koordination der Nationalen Organisation für Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH), sowie weiterer Einrichtungen, wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Demonstrationsprojekte unterstützt, die international Beachtung fanden. Dabei konnte die Tauglichkeit von Brennstoffzellen in Netzersatzanlagen (NEA) für unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) in einer Vielzahl von Anwendungsfällen erprobt und unter Beweis gestellt werden: Umspannwerke im Stromverteilnetz, Bahnstellwerke, Festnetztelekommunikation, u.a. zur Absicherung von Basisstationen im neuen digitalen Behördenfunknetz (BOS-Funk) setzen einige Bundesländer bereits bevorzugt auf Brennstoffzellenlösungen.

Einen detaillierten Überblick über Akteure liefert der aktuelle „Brennstoffzellen Branchenführer Deutschland 2016“ der Arbeitsgemeinschaft Brennstoffzellen im VDMA.
(Online: <http://bit.ly/1NCminm>)

Besondere Eignung von Brennstoffzellen in Netzersatzanlagen

Brennstoffzellen zur stationären Notstromversorgung werden bereits in mehreren Weltregionen eingesetzt. Dabei ist im Wesentlichen zwischen Märkten mit vergleichsweise hoher Netzverfügbarkeit (z.B. USA und Europa) einerseits, und aufstrebenden Märkten (insbesondere Südostasien, Indien) andererseits, zu unterscheiden.

In USA und Europa sind Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen vergleichsweise einfach zu realisieren. Zum einen ist die Wasserstoffanlieferung aufgrund der geringen Einsatzzeiten der Brennstoffzelle (wegen hoher Netzverfügbarkeit) nur selten notwendig, zum anderen erleichtert die hier bereits vorhandene Wasserstofflogistik die Versorgung. Dank spezieller Steuererleichterungen für Brennstoffzellensysteme in den USA, konnten sich hier Brennstoffzellenlösungen in den vergangenen Jahren bereits als attraktive Alternative zu Dieselgeneratoren etablieren.

In aufstrebenden Märkten mit (noch) schlechter Netzverfügbarkeit stellt sich die Situation dagegen anders dar. Zum einen muss Kraftstoff häufiger nachgeliefert werden, da Netzersatzanlagen aufgrund häufigerer und längerer Netzausfälle generell zu längeren Betriebszeiten führen. Zum anderen ist eine Wasserstofflogistik, insbesondere in entlegenen Gegenden häufig nicht gegeben. Unter diesen Umständen eignen sich Brennstoffzellensysteme auf Basis Kraftstoffen betrieben werden können, für welche bereits eine Logistik vorhanden ist (z.B. Propan). Alternativ können autarke Systeme, bestehend aus Brennstoffzelle und solar betreibender Elektrolyse eingesetzt werden, oder eine Wasserstoff- oder Methanollogistik wird eigens aufgebaut.

Allgemein ist festzuhalten, dass sich Brennstoffzellen heute besonders dort für Notstromversorgungen eignen, wo hohe Verfügbarkeitsanforderungen (Brennstoffzellen erreichen dies ohne hohen Wartungsaufwand) mit seltener Einsatzhäufigkeit zusammentreffen, denn im Gegensatz zu Diesel altert bevorrateter Wasserstoff nicht. Ebenso altert die Brennstoffzelle im Standby-Betrieb praktisch nicht). Eine Wasserstofflogistik muss aber auch bei geringem Bedarf vorhanden sein.

Neben den derzeit noch höheren Anschaffungskosten, müssen auch noch weitere Hindernisse hin zu einer selbstlaufenden Marktdurchdringung überwunden werden. Ein Überblick über Vor- und Nachteile zwischen Brennstoffzellensystemen und Dieselgeneratoren ist im Folgenden dargestellt:

Vorteile Brennstoffzelle

- Geringe Wartungskosten durch programmierbare automatische Selbsttests ohne Servicekosten
- Platzsparend und Innenraumaufstellung möglich
- Modulare Konstruktionen verfügbar – einfache Erweiterung bei Bedarf
- Diversität bei Kraftstoffen
- Temperaturresistent
- Geräuscharmer Betrieb
- Hoher Gesamtwirkungsgrad
- Keine Emission von Luftschadstoffen und CO₂ vor Ort

Nachteile Brennstoffzelle

- Neue Technik mit noch geringer Langzeiterfahrung in der Praxis
- Anwender abhängig von wenigen Anbietern mit jeweils spezifischen Designs
- Langfristige Verfügbarkeit von Service und Ersatzteilen wird teilweise noch als Unsicherheit wahrgenommen
- Tausch von Wasserstoffflaschen erfordert geschultes Personal oder Servicevertrag mit Gase-Lieferanten
- Bei kleinen Abnahmemengen sind hohe Preise für Wasserstoff nicht unüblich

Nachteile Dieselgeneratoren

- Hoher Wartungsaufwand falls hohe Verfügbarkeit erreicht werden muss
- Bauliche Anforderungen an Aufstellort (Abgasanlage, Tanksicherheit)
- Hoher Aufwand bei Versetzung einer Anlage an anderen Standort
- Kapazität kann nicht angepasst werden
- Kälteanfälligkeit
- Eingeschränkte Lagerfähigkeit von Diesel erfordert zusätzliche Maßnahmen
- Geräuschemissionen
- Niedriger elektrischer Wirkungsgrad
- Ausstoß von Luftschadstoffen und CO₂

Vorteile Dieselgeneratoren

- Bekannte und etablierte Technik
- Wettbewerb und hohe Qualität am Markt
- Hohe Verfügbarkeit von Ersatzteilen
- Wartung und Instandhaltung durch viele, auch herstellerunabhängige Firmen möglich
- Einfache Kraftstofflogistik- und Handhabung

Vergleich der Vor- und Nachteile von Brennstoffzelle und Dieselgenerator. Basierend auf Vortrag W. Baltruschat, "Einsatz von Wasserstoff-Brennstoffzellen als Netzersatzanlage für Basisstationen des Digitalfunks". 03.11.2013, ergänzt durch E4tech.

Wettbewerbsfähigkeit von Brennstoffzellensystemen in ausgewählten Anwendungen für NEA

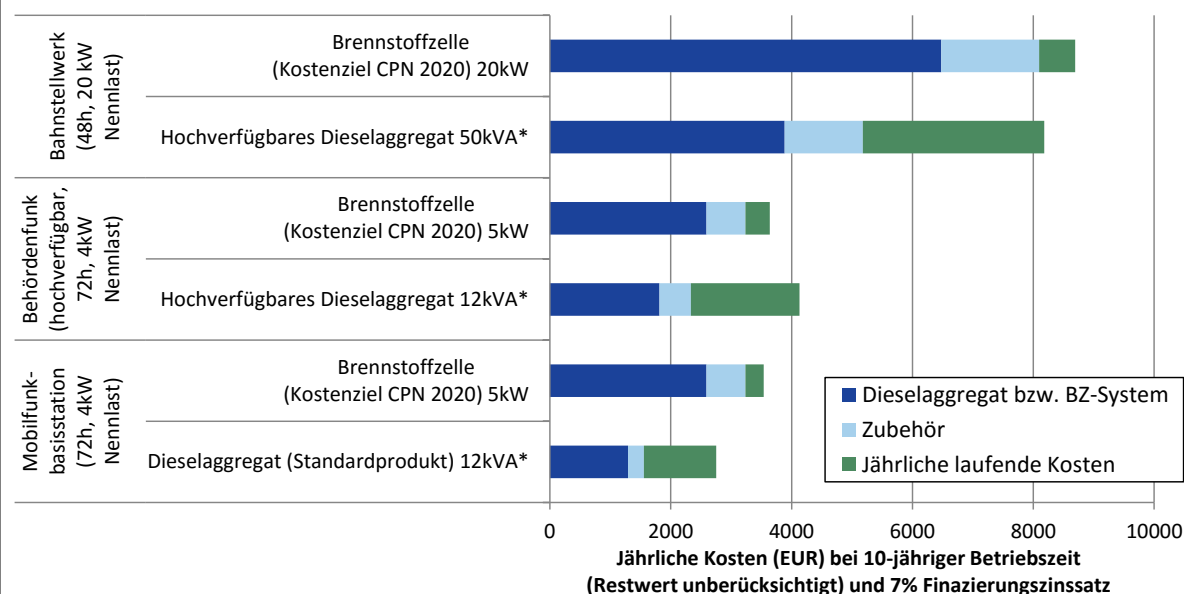
Brennstoffzellensysteme als Gesamtlösung werden im unteren Leistungsbereich bis etwa 10 kW im derzeitigen Marktumfeld die besten Chancen eingeräumt, mit konventionellen Anlagen zu konkurrieren. Dies liegt zum einen an der Preisstruktur von konventionellen Dieselgeneratoren, bei denen im unteren Leistungsbereich bis etwa 10 kW die Systemkomponenten und Zubehör (Kraftstoffbevorratung, Steuerung, Notstromautomatik, etc.) den Preis des Dieselgenerators allein nochmals verdoppelt können. Zum anderen kommen Dieselaggregate im Leistungsbereich von wenigen kW für manche Anwender kaum in Frage, da Platzbedarf, Umbauten und Genehmigungen eine Anschaffung erschweren. Beispielsweise für kleine IT-Anwendungen im Bereich der kommunalen Verwaltung könnten Brennstoffzellen eine attraktive Lösung darstellen, und somit noch neue Märkte für NEA erschließen. Auch für Anwendungen im Leistungsbereich bis zu einigen hundert Watt, wie zum

Beispiel bei Baustellenbeleuchtung oder netzfern betriebenen Sicherheitskameras, sind Brennstoffzellen als flexibel einsetzbare Lösung etablieren. Üblich sind hier bislang verschiedene Alternativen zu Dieselgeneratoren, die in diesem Leistungsbereich nicht verfügbar sind: Batterien die regelmäßig zu tauschen sind (sozusagen Batterielogistik notwendig), Verlegung von Anschlussleitungen zum nächsten Anschlusspunkt im Stromnetz (wird nur bei langfristigem Bedarf erwogen), oder autarke Systeme bei denen Batterien mit Photovoltaikmodulen oder Kleinwindkraft kombiniert werden.

Unabhängig von der Systemleistung erweisen sich Brennstoffzellenlösungen bei jenen Anwendungen als besonders attraktiv, bei denen höchst mögliche Verfügbarkeit gefordert ist (z.B. Absicherung des Behördenfunknetzes). Um Dieselgeneratoren in solchen Anwendungen verlässlich genug zu machen sind häufige Testläufe mit Personal vor Ort notwendig (je nach Anforderung 4-12 Vor-Ort-Besuche pro Jahr). Brennstoffzellensysteme können dagegen fern-getestet werden, und kommen typischerweise mit einem Vor-Ort-Termin pro Jahr aus. Dies kann ein entscheidender Kostenvorteil sein, insbesondere bei vielen dezentralen Systemen, wie dies bei der Absicherung von Funknetzen der Fall ist.

Unter der Annahme, dass die im Bereich Netzersatzanlagen aktive Brennstoffzellenindustrie in Deutschland ihre anvisierten Kostenziele¹ bis 2020 realisiert, wird die Wettbewerbsfähigkeit der Brennstoffzelle in Hochverfügbarkeitsanwendungen bis dahin erreicht (inklusive Herstellermarge). In weniger kritischen Anwendungen (z.B. kommerzielle Mobilfunkbasisstationen) sowie im höheren Leistungsbereich (z.B. Bahnstellwerke) sind konventionelle Dieselaggregate jedoch auch dann noch leicht im Vorteil, wie folgender Vergleich zeigt:

Vergleich jährlicher Gesamtkosten in ausgewählten Anwendungen (Diesel vs. Brennstoffzelle)



Quelle: E4tech Analyse basierend auf öffentlich zugänglichen Preisinformationen, Diskussionen mit Systemanbietern, Kostenzielen¹ der Industrie, sowie Annahmen zu üblichen Herstellermargen.

¹ Quelle: Maßnahmenkatalog zur Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Stand 21.09.2015) – Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung unveröffentlicht.

Für diesen Kostenvergleich wurde zur Umrechnung von kVA in kW der übliche $\cos-p$ von 0.8 verwendet. Darüber hinaus sind Dieselaggregate mit Drehstromgeneratoren in NSV Anwendungen zur Notstromversorgung typischerweise um den Faktor 2 überdimensioniert, um im Umschaltmoment den geforderten Strom unmittelbar liefern zu können. Ein 50 kVA Dieselgenerator kann in diesen Fällen also durch eine 20 kW Brennstoffzelle ersetzt werden.

Der hohe Wartungsaufwand für Dieselaggregate wird von Anwendern zum Teil auch mangels Alternativen in Kauf genommen. Vorausgesetzt, die betrieblichen Vorteile (siehe Tabelle Seite 5) der Brennstoffzelle werden am Markt ausreichend wahrgenommen, bestehen gute Chancen, dass sich Brennstoffzellenlösungen selbst bei leicht höheren Gesamtkosten gegen Dieselaggregate durchsetzen. Dies könnte beispielsweise im Bahnbereich und gegebenenfalls auch bei Umspannwerken zu neuen Märkten für Brennstoffzellensysteme führen. Für den Markteinstieg in solche eher konservative Anwendergruppen ist es essentiell, dass Brennstoffzellenhersteller proaktiv auf Vorbehalte von neuen Kundengruppen bezüglich Zuverlässigkeit und langfristiger Verfügbarkeit von Service und Ersatzteilen eingehen, und somit Zurückhaltung und Hemmnisse des Technologiewechsels abbauen.

Dort wo NEA erstmals angeschafft werden, fällt es in der Regel leichter, Anwender von den Vorteilen von Brennstoffzellen zu überzeugen. So sind Brennstoffzellensysteme insbesondere im Leistungsbereich bis etwa 5 kW kompakter als Dieselaggregate, und als Komplettsystem in Schaltschränken vormontiert verfügbar. Dies bedeutet einen sehr geringen Installationsaufwand, gegenüber erstmaliger Anschaffung von Dieselaggregaten, bei denen Planung, Genehmigung und Ausführung (z.B. für Abgasanlage und Dieseltankauffangwanne) zu Buche schlagen. Daher ist es für Brennstoffzellenanbieter derzeit strategisch sinnvoll, sich auf Neuausstattungsmärkte für NEA zu fokussieren, anstatt zu versuchen im Massenmarkt für zu erneuernde Dieselgeneratoren zu konkurrieren. Interessante Neuausstattungsmärkte sind derzeit in Deutschland zum Beispiel Umspannwerke im Transportnetz, kleine Rechenzentren und Basisstationen des BOS-Funknetzes.

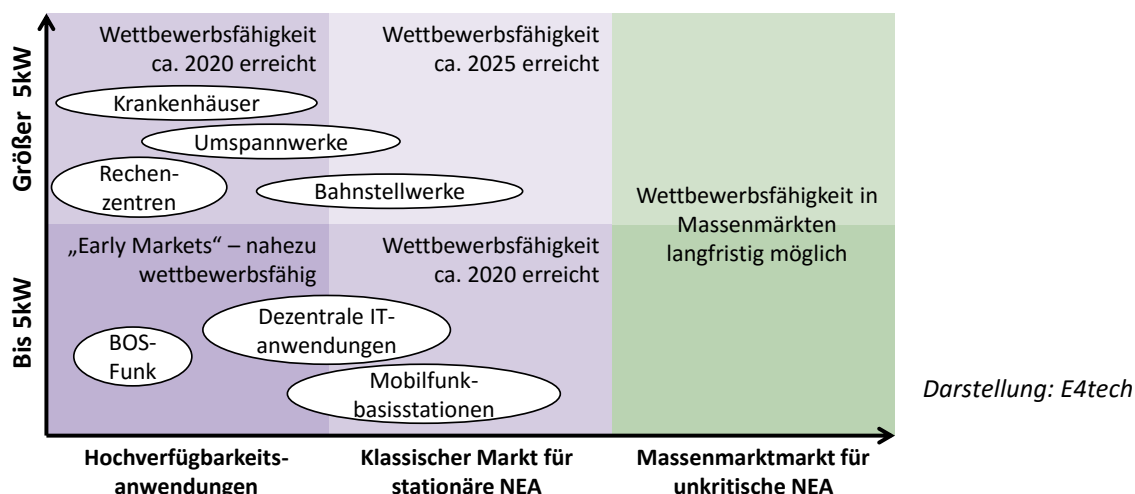
Kostenreduktionen eröffnen schrittweise neue Marktsegmente

Haupthindernis zu einer selbstlaufenden Marktdurchdringung sind derzeit noch die hohen Anschaffungskosten für Brennstoffzellen-NEA. Mit den angestrebten Kostenreduktionen und je nach Herstellermarge, sollten Brennstoffzellen-NEA bis 2020 bzw. 2025 in einer Vielzahl von Anwendungen mit konventionellen Lösungen konkurrieren können – dies wohlgernekt ohne zusätzliche Förderung. Zwei wesentliche Entwicklungen sind hierfür allerdings notwendig:

- Fokus auf Anwendungen bei denen die Brennstoffzelle am ehesten Kostenvorteile erzielen kann (d.h. hochkritische Anwendungen, Neuausstattungen), um dann durch wachsende Stückzahlen sukzessive die Kostenziele zu erreichen. Hierfür ist bis 2020 eine gezielte und degressive gestaltete Förderung notwendig, wie im Maßnahmenkatalog der Industrie zur Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie vorgeschlagen wurde.
- Darüber hinaus ist es besonders wichtig, potenzielle Anwendergruppen für die betrieblichen Vorteile von Brennstoffzellensystemen gegenüber Dieselaggregaten zu sensibilisieren, um Barrieren zur Marktdurchdringung abzubauen.

Um den Bedarf an Fördermechanismen gering zu halten, und Kostenreduktionen schnell zu erreichen, sollte der Fokus bis 2020 auf Anwendungen liegen, die besonders kritisch sind und zugleich einen neuen Markt für NEA darstellen, also nicht lediglich ein bestehendes Dieselaggregat ersetzen. Dies ist beispielsweise bei der Netzhärtung des BOS-Funks der Fall. Ein weiteres attraktives Marktsegment könnten zudem Umspannwerke auf der Übertragungsnetzebene darstellen, da hier derzeit und in den kommenden Jahren die bestehenden Batteriesysteme mit NEA ergänzt werden, um längere Ausfallzeiten überbrücken zu können. Installationen in diesen besonders attraktiven Märkten bzw. Marktnischen werden den Herstellern ermöglichen sukzessive Kosten zu reduzieren und somit Stück für Stück auch bei weniger kritischen Anwendungen und in höheren Leistungsbereichen mit konventionellen Anlagen zu konkurrieren. Langfristig sind weitere Kostenreduktionen denkbar, die dann auch ein Vordringen der Brennstoffzellentechnologie in niedrigpreisige Anwendungen im Massenmarkt ermöglichen (z.B. tragbare NEA, anhängermontierte NEA für Baustellen, etc.).

Parallel zum Absatz von Brennstoffzellen in „Early Markets“ können durch damit einhergehende Kostenreduktionen schrittweise weitere Marktpotenziale erschlossen werden

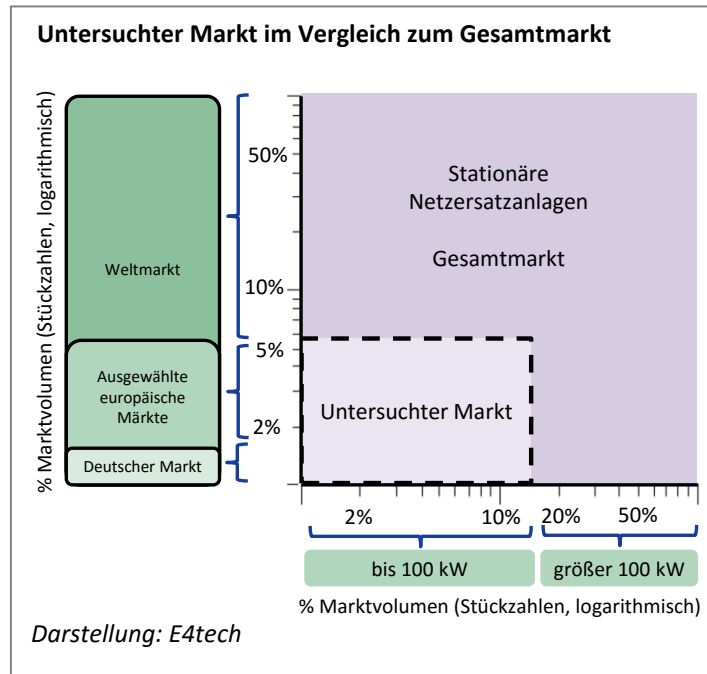


Untersuchungsrahmen der NEA-Marktstudie für die NOW GmbH

In der Marktstudie für die NOW GmbH wurden Absatzpotenziale konventioneller stationärer Netzersatzanlagen (NEA) bis 100 kW in neun ausgewählten europäischen Ländern sowie in Kapverden betrachtet. Der geographische Fokus wurde gewählt, um für Hersteller von Brennstoffzellenlösungen das Marktpotenzial in Europa aufzuzeigen. Der Leistungsbereich bis 100 kW stellt das für Brennstoffzellen besonders attraktive Anwendungsgebiet dar, da Dieselaggregate bei kleinen Leistungen hohe spezifische Anschaffungskosten aufweisen (€/kW). Aufgrund der bei Dieselaggregaten meist notwendigen Überdimensionierung, kann ein 100 kW Dieselgenerator typischerweise durch eine 50 kW Brennstoffzelle ersetzt werden.

Darüber hinaus sind die Ergebnisse zu Absatzpotenzialen dieser Marktanalyse im Kontext zu weiteren globalen Märkten für Netzersatzanlagen zu sehen, welche ein deutlich höheres Potenzial bieten als der europäische „Heimatmarkt“. Da in Europa generell eine sehr hohe Netzverfügbarkeit vorzufinden ist, beschränkt sich der Markt für stationäre NEA hier auf eine überschaubare Anzahl kritischer Anwendungen (Behördenkommunikation, Krankenhäuser, Banken, IT, usw.). Weltweit betrachtet

finden sich dagegen Märkte, die ein deutlich höheres Absatzvolumen aufweisen, denn bei weniger zuverlässiger Netzversorgung werden auch weniger kritische Anwendungen abgesichert. So müssen beispielsweise kommerzielle Mobilfunknetze in den USA bereits mit NEA ausgestattet werden, um für Katastrophenfälle vorzusorgen. In Regionen mit besonders schwachen Netzen (z.B. Indien, Süd-Ost-Asien, etc.) ist eine Absicherung von Mobilfunkbasisstationen dagegen generell notwendig, um den üblichen Betrieb aufrecht zu erhalten. Dies betrifft bereits heute mehr als eine Million Mobilfunkbasisstationen, die an ein schwaches Stromnetz angeschlossen sind, oder komplett netzfern betrieben werden. Bis 2020 wird ein Wachstum dieser Standorte um mehr als 15% erwartet². Dieser Massenmarkt ist auch für Brennstoffzellensysteme aus deutscher Produktion relevant, und sollte mit Blick auf die im Folgenden zusammen gefassten europäischen Absatzpotenziale nicht außer Acht gelassen werden.



Marktgröße für stationäre NEA in Europa

Marktdaten für neun ausgewählte Länder³ wurden ausgewertet, welche zusammen etwa 75% des europäischen Marktes ausmachen. Für diese Länder zusammen belief sich der Markt für stationäre NEA mit industriellen Stromerzeugern bis 100 kW im Jahr 2014 auf etwa 3.600 Anlagen (jährlicher Absatz), welche in Summe etwa 200 MW jährlich ausmachen. Ein leichtes Wachstum auf knapp 4.000 Anlagen jährlich wird bis 2020 erwartet. Es sei erwähnt, dass das hier betrachtete Leistungssegment bis 100 kW weniger als 20% des Gesamtmarkts in Europa für stationäre NEA ausmacht (gemessen an den Stückzahlen). Die spezifischen Kosten (€/kW) von Brennstoffzellensystemen werden mit steigender Systemleistung günstiger. Aufgrund der Linearität zwischen Zellenfläche und Gesamtleistung ist dieser Skaleneffekt allerdings etwas geringer als der thermodynamische Skaleneffekt bei Verbrennungskraftmaschinen. Bei weiteren Kostenreduktionen können Brennstoffzellen längerfristig aber auch im Leistungsbereich von NEA größer 100 kW Marktanteile erlangen.

Neben dem Markt für stationäre Netzersatzanlagen wurden zudem Marktdaten zu weiteren Produktklassen ausgewertet (Portable Stromgeneratoren, Stromaggregate für Wohngebäude, anhängermontierte Stromaggregate, Stromgeneratoren für Wohnmobile und Hilfsstromaggregate). Mit über 95% Anteil an den Stückzahlen und etwa 70% gemessen an der jährlich abgesetzten Leistung dominiert hier die Produktkategorie der portablen Stromaggregate. Da in dieser Kategorie die spezifischen Anschaffungskosten (€/kW) in der Regel besonders niedrig sind, und diese Produkte nicht für kritische Anwendungen eingesetzt werden (d.h. im Falle von Diesel- und Benzingeneratoren

² GSMA, Green Power for Mobile – The Global Telecom Tower ESCO Market, Dezember 2014

³ Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich, Polen, Portugal, Schweiz, Spanien, Vereinigtes Königreich;

keine besonders hohen Wartungskosten auftreten), ist dieser Massenmarkt für portable Stromgeneratoren für Brennstoffzellen vorerst noch ungeeignet. Dieses Segment stand daher nicht im Fokus der Marktstudie für die NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.

Detailbetrachtung ausgewählter Anwendungen für Brennstoffzellen

Für die Marktstudie für die NOW GmbH wurde für sechs konkrete NEA-Anwendungen der Anlagenbestand, Anforderungen und absehbare Entwicklungen – in unterschiedlichem Detailgrad – näher betrachtet. Diese Anwendungen waren: BOS-Funk Basisstationen, Telekommunikationsinfrastruktur, Bahninfrastruktur, Stromnetzbetrieb, Rechenzentren und Straßenwetterstationen. Ein besonderes Augenmerk galt hier Chancen und Hindernissen für Brennstoffzellen, sich in diesen Anwendungen zu etablieren.

In allen betrachteten Anwendungen werden Brennstoffzellen zumindest bereits vereinzelt eingesetzt. Für die Notstromversorgung (NSV) von BOS-Funk Basisstationen hat sich die Brennstoffzelle bei einigen Netzbetreibern (z.B. Dänemark, Bundesland Brandenburg) sogar schon fest etabliert. Von Vorteil ist in diesem Segment, dass es sich um eine neu aufgebaute Infrastruktur handelt, die erstmals mit NEA ausgestattet wird. In den übrigen untersuchten Anwendungen muss sich eine neue Technologie wie die Brennstoffzelle gegen bereits etablierte konventionelle Lösungen erst noch am Markt behaupten. Ein besonders stark wachsender Bedarf an NEA konnte in den betrachteten Anwendungen nicht beobachtet werden. Allerdings gibt es in vielen Fällen einen Trend zu längeren Vorhaltezeiten, so derzeit zum Beispiel bei Umspannwerken im Übertragungsnetz. Hier werden in den kommenden Jahren die bereits vorhandenen Batteriebanken um Stromgeneratoren ergänzt.

Marktchancen für Brennstoffzellen im betrachteten Segment (stationär bis 100 kW, Europa)

Sofern die von der Industrie angestrebten Kostensenkungen erreicht werden, und damit die derzeit oft noch zu hohe Differenz in den Anschaffungskosten im Vergleich zu konventionellen Anlagen reduziert werden kann, können Brennstoffzellensysteme im betrachteten Leistungssegment konkurrenzfähig mit konventionellen Lösungen werden. In Europa werden jährlich etwa 4.000 konventionelle, stationäre NEA bis jeweils 100 kW verkauft, die zusammen etwa 200MW Leistung darstellen. Unter Annahme eines mittleren Verkaufspreises auf von 2.000 €/kW je Gesamtsystem, ergibt dieses Segment ein Marktvolumen von etwa 400 Millionen Euro. Mittelfristig, d.h. ab etwa 2020, hat die Brennstoffzelle das Potenzial sich nennenswerte Anteile in diesem Segment zu erschließen, hierbei insbesondere im Leistungsbereich bis etwa 20 kW und in erster Linie für NSV-Anwendungen. Darüber hinaus bieten sich für Brennstoffzellensysteme bereits heute dort Marktchancen, wo Anwendungen erstmalig mit NEA ausgestattet werden (z.B. im Rahmen der Netzhärtung des BOS-Funknetzes, bei der Verlängerung von NSV-Vorhaltezeiten in Umspannwerken). Außerhalb Europas stellen Mobilfunkbasisstationen in Ländern mit schwachen oder wenig ausgebauten Stromnetzen (bereits über eine Million solcher Standorte) einen potenziellen Massenmarkt für Brennstoffzellen-NEA dar. Dieser Markt birgt auch für die deutsche Brennstoffzellenindustrie erhebliche Wachstumschancen.

1 Hintergrund

Der Bestand stationärer Netzersatzanlagen (NEA) mit Dieselaggregaten in Deutschland wird auf ca. 9.000 Stück geschätzt [1]. Im Markt für NEA können Brennstoffzellen Kostenvorteile im Vergleich zu konventionellen Stromerzeugern und Batteriesystemen möglicherweise eher erzielen als in anderen Anwendungen, wie zum Beispiel der Wasserstoffmobilität. Außerhalb Europas wurden in den vergangenen Jahren bereits mehrere tausend Brennstoffzellen, insbesondere zur Absicherung von Mobilfunknetzen installiert. Innerhalb Europas werden bereits die Basisstationen einiger BOS-Funknetze mittels Brennstoffzelle abgesichert. Darüber hinaus wurde die Tauglichkeit der Brennstoffzelle als Stromgenerator in einer USV in einer Vielzahl von Anwendungen erprobt und unter Beweis gestellt (z.B. Umspannwerke im Stromverteilnetz, Stellwerke im Bahnnetz).

Aus dem Blickwinkel der Brennstoffzelle wurde der gegenwärtige und zukünftige Markt für NEA in Europa bislang noch nicht gesamthaft untersucht. Vor diesem Hintergrund hat die NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie die vorliegende Studie in Auftrag gegeben, die sowohl den Markt für konventionelle NEA insgesamt betrachtet, als auch auf einige Anwendungen, die in Absprache mit der NOW GmbH ausgewählt wurden, vertieft eingeht, um Marktchancen für Brennstoffzellensysteme in diesen Märkten zu identifizieren.

2 Vorgehensweise

Marktdatengrundlage

Jährliche Verkaufszahlen zu konventionellen Netzersatzanlagen (NEA) mit Verbrennungsmotoren von 2010 bis 2014, sowie Absatzprojektionen bis 2020, wurden für diese Studie vom Marktforschungsunternehmen Power Systems Research (PSR) erworben. Dabei wurde zwischen verschiedenen Produktsegmenten, Kraftstoffarten, ausgewählten Leistungsbereichen, sowie ausgewählten europäischen Märkten unterschieden, und auch die kumulierte Leistung je Kategorie abgefragt.

Diese zugelieferten Marktdaten stammen aus einer großen Datenbank zu Produktionszahlen, die jährlich direkt bei den Herstellern von NEA abgefragt werden. Die Hersteller sind dabei einem bestimmten Produktionsland zugewiesen, wobei auch der Exportanteil für die Produkte abgefragt wird. Daraus, und unter Zuhilfenahme von Import-Export Statistiken, werden Verkaufszahlen je Land errechnet. Diese errechneten Zahlen werden auf Stichhaltigkeit getestet, indem ihre Plausibilität in fortlaufendem Austausch mit Herstellern überprüft wird. Die Produktionszahlen selbst sind also ‚bottom-up‘ gesammelte Daten, während die Zuordnung zu länderspezifischen Verkaufszahlen aus einem makroökonomischen Modell stammt, das seitens des Marktforschungsunternehmens PSR basierend auf Marktbeobachtungen und Erfahrungswerten fortlaufend angepasst wird.

Daten bis einschließlich 2014 beruhen auf den gesammelten Produktionsdaten. Die Daten für 2015 sind Schätzwerte basierend auf Herstellerangaben, wohingegen die Daten von 2016 bis 2020 basierend auf einem Algorithmus prognostiziert wurden.

Kostenbetrachtung und Anbieterstruktur

Daten zu Kosten- und Kostenkomponenten wurden aus öffentlich zugänglichen Studien und Preisinformationen gesammelt, sowie in verschiedenen Interviews mit Marktteilnehmern

besprochen. Aufgrund des breiten Spektrums von Anwendungen und der jeweiligen Anforderungen kann natürlicherweise nur eine Spanne für die verschiedenen Kosten angegeben werden.

Um die Anbieterstruktur zu bewerten, wurden für Europa (mit Fokus auf Deutschland) mittels Internetrecherche Informationen zur Zahl der Hersteller, Dienstleister, Händler und Großhändler gesammelt. Zudem wurden zwei Branchenexperten unabhängig voneinander zur Anbieterstruktur in Europa im Allgemeinen und in Deutschland im Speziellen befragt. Zwar deckten sich die verschiedenen Expertenmeinungen, jedoch sei hier erwähnt, dass im Rahmen dieser Studie keine originäre Sammlung von Daten zur Charakterisierung der Anbieterstruktur erfolgen konnte. Somit konnte die Expertenmeinung von den Autoren dieser Studie nicht unabhängig verifiziert werden.

Marktpotenzial und Rahmenbedingungen in ausgewählten Anwendungen

In Absprache mit der NOW GmbH wurden bestimmte Anwendungen für eine genauere Betrachtung ausgewählt, um das Marktpotenzial anhand von konkreten Beispielen zu betrachten. Bei den Recherchen hat sich herausgestellt, dass öffentlich zugängliche Informationen zu NEA in diesen Anwendungen in Form von Studien, Datenbanken oder Fachartikeln, kaum vorhanden sind. Daher wurden im Rahmen dieser Studie eine Serie von Interviews mit verschiedenen Akteuren (Anwender, Hersteller, Experten) durchgeführt, um zusätzliche Kenntnisse zu den ausgewählten Anwendungen zu erhalten.

3 Rahmen und Fokus der Studie

Gesamthafte Marktdaten

Im Rahmen dieser Studie wurden Daten zu jährlich abgesetzten Netzersatzanlagen (NEA) und kumulierter Leistung in den Jahren 2010 bis 2014, sowie Prognosen bis 2020 ausgewertet. Die Stückzahlen und kumulierten Leistungen sind dabei entsprechend Lastenheft, bzw. Abstimmung mit der NOW GmbH, heruntergebrochen in

- Leistungsbänder⁴: <8 kW, 8-19 kW, 19-37 kW, 37-56 kW, 56-100 kW
- Kraftstoffart: Diesel, Benzin, Erdgas und LPG (Flüssiggas)
- Abnahmeländer
 - Deutschland
 - Vereinigtes Königreich
 - Italien
 - Polen
 - Frankreich
 - Österreich
 - Schweiz
 - Spanien
 - Portugal
 - Kapverden

Die länderspezifischen Marktdaten wurden auch mit Blick auf die Netzverfügbarkeit in den jeweiligen Ländern hin verglichen um mögliche Zusammenhänge aufzuzeigen.

⁴ Als Obergrenze wurden im Studienrahmen Leistungen bis 100kW gesetzt. Die Leistungsbänder wurden entsprechend den Leistungsbändern der EU Regularien für mobile Maschinen und Geräte aufgeteilt. Bei einer möglichen zukünftigen Einbeziehung stationärer NEA in diese Regelwerke ist wahrscheinlich, dass für diese Leistungsbänder jeweils unterschiedliche Anforderungen gelten werden.

Ausgewählte Anwendungen

In Abstimmung mit der NOW GmbH wurden während der Projektdurchführung bestimmte Anwendungen für eine detaillierte Betrachtung ausgewählt. Dabei wurde insbesondere versucht die Anzahl der installierten, sowie jährlich neu errichteten NEA in Deutschland, und nach Möglichkeit auch im weiteren europäischen Kontext abzuschätzen.

4 Marktdatenanalyse zu Stromgeneratoren

4.1 Verkaufszahlen nach Produktklassen

Als Datengrundlage für dieses Projekt wurden Verkaufszahlen von verbrennungsmotorbetriebenen Stromgeneratoren bis 100 kW in ausgewählten europäischen Märkten ausgewertet. Dabei wird nach folgenden Produktgruppen unterschieden:

Industrielle Stromerzeuger

In diesen Bereich fallen die professionellen, festinstallierten Aggregate in einem sehr weiten Anwendungsspektrum, hauptsächlich jedoch NEA in Kombination mit unterbruchfreier Stromversorgung (USV). Im betrachteten Leistungsbereich bis 100 kW werden in Deutschland etwa 700 Anlagen jährlich abgesetzt. Etwa die Hälfte davon im oberen Leistungsbereich 56 bis 100 kW. Überwiegend werden diese Anlagen mit Diesel betrieben.

Portable Stromaggregate

Portabel ist hier so zu verstehen, dass die Anlagen gerade noch tragbar sind (gegebenenfalls von mehreren Personen), also im Gegensatz zu anhängermontierten Systemen. Diese Produktkategorie umfasst den klassischen Massenmarkt (etwa 75.000 Stück jährlich allein in Deutschland) im kleinen Leistungsbereich – fast ausschließlich kleiner 8 kW. Typisches Beispiel sind hier sehr günstige benzinbetriebene Systeme die von Endverbrauchern in Baumärkten erworben werden können. Je nach Anwendung fallen in diesen Bereich aber auch höherpreisige, professionellere Systeme, beispielsweise in der Vermietung von Stromgeneratoren. Zum Teil werden die eigentlich tragbaren Anlagen letztlich auch ortsfest eingesetzt (insbesondere im Privatbereich), oder auch nachträglich fest auf einem Anhänger montiert.

Anhängermontierte Stromaggregate

Dieses Segment ist die logische Fortsetzung von tragbaren Aggregaten, in der Regel mit entsprechend höherer Leistung, oder der Anforderung sehr mobil zu sein. Generell werden diese Produkte von professionellen Nutzern nachgefragt (z.B. Baustellenbereich). Private Endnutzer spielen höchstens zeitweise als Nutzer von angemieteten Systemen eine Rolle. Als mobile Notstromversorgung in Verbindung mit vor Ort installierten Batterien zur Überbrückung der ersten Stunden, konkurrieren anhängermontierte Stromaggregate auch mit stationären Netzersatzanlagen. Die Mehrheit der Systeme in diesem Segment dient aber zur mobilen Versorgung von beispielsweise Baustellen oder Freiluftveranstaltungen. Innerhalb der hier betrachteten Leistungsklassen findet sich die Mehrzahl der Anlagen im Bereich größer 56 kW. Die große Mehrheit der Produkte ist dabei dieselbetrieben.

Stromaggregate für Wohngebäude

Dieses Marktsegment umfasst Anlagen, die in Wohngebäuden eingesetzt werden und typischerweise nicht primär eine Notstromversorgung sondern eine netzparallele Stromversorgung darstellen. Überwiegend werden diese mit Erdgas betrieben, häufig auch als Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ausgeführt. Der Markt von etwa 1.500 Stück jährlich in Deutschland ist hauptsächlich im Leistungsbereich bis 37 kW zu finden. Die durchschnittliche Leistung je verkauftes System ist in etwa 20 kW. Obwohl viele dieser Anlagen wohl prinzipiell auch als Netzersatzanlage eingesetzt werden könnten, sind sie in der Regel nicht zur Absicherung von kritischen Anwendungen oder Verbrauchern gedacht.

Stromgeneratoren für Wohnmobile

Ein spezielles Marktsegment stellen Stromgeneratoren für Wohnwägen dar. Insgesamt ist dies allerdings eine Nischenanwendung mit wenigen hundert verkauften Anlagen pro Jahr (in Deutschland) im Leistungsbereich bis 19 kW. Hauptsächlich werden in diesem Segment günstige benzinbetriebene Generatoren verkauft, zu einem geringen Anteil auch LPG und Dieselsysteme.

Hilfsstromaggregate

Kleinere Hilfsstromaggregate finden sich in Schwerlastkraftwagen zur Deckung des Strombedarfs von Bordverbrauchern bei abgestelltem Antriebsaggregat. Größere fahrbare Stromversorgungsaggregate, sog. Ground Power Units werden an Flughäfen eingesetzt. Für Deutschland bewegen sich die verkauften Anlagen in der Leistungsklasse bis 100 kW etwa 600 Stück pro Jahr. Der überwiegende Anteil ist dieselbetrieben, wobei der Bereich bis 19 kW etwa 80% der Stückzahlen in diesem Segment ausmacht.

4.2 Marktdatenanalyse

4.2.1 Gesamtmarkt 2010 bis 2020

Der gesamte Absatz von Stromerzeugern bis 100 kW Ausgangsleistung in den betrachteten Ländern lag 2014 bei etwa 305.000 Einheiten (kumuliert 1.650 MW). Die Prognosen von Power Systems Research für den konventionellen Generatormarkt ergeben, dass sich dieses Volumen im Zeitraum bis 2020 nicht deutlich verändern wird (siehe Stückzahlen in Abbildung 1 und Leistung in Abbildung 2). Deutschland ist mit rund 80.000 Einheiten (kumuliert 420 MW) der größte betrachtete Absatzmarkt. In Frankreich beträgt der Markt pro Jahr ungefähr 55.000 Einheiten (kumuliert 250 MW). Italien, Spanien und das Vereinigte Königreich stellen Märkte von je ca. 40.000 Einheiten (kumuliert 220 bis 280 MW) dar. Polen folgt mit ca. 30.000 Einheiten auf diese Gruppe während Österreich, Portugal und die Schweiz mit jeweils unter 10.000 verkauften Einheiten pro Jahr eher kleine Märkte darstellen. Die Kapverden sind, als Markt von wenigen hundert Einheiten pro Jahr, auf den hier betrachteten Gesamtmarkt bezogen eher unbedeutend, durch ihre Position als kleiner Inselstaat aber durchaus interessant zu betrachten.

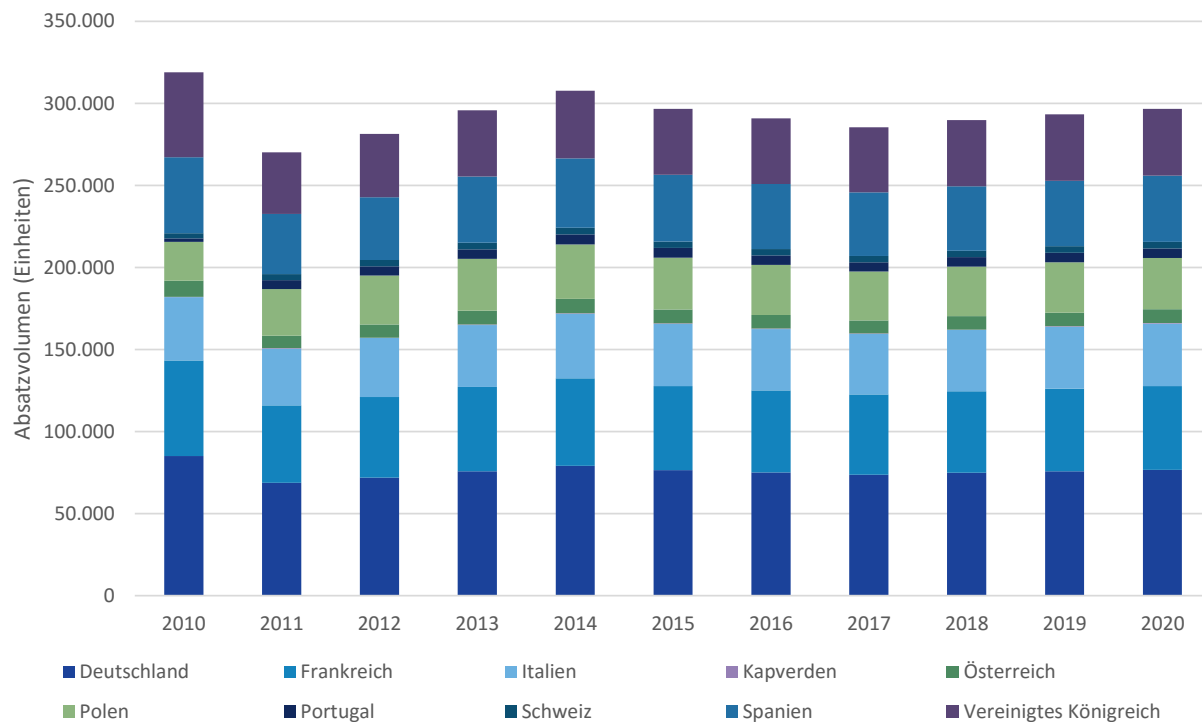


Abbildung 1: Absatzvolumen für Stromerzeuger bis 100 kW in den betrachteten Ländern
(Datengrundlage: Power Systems Research)

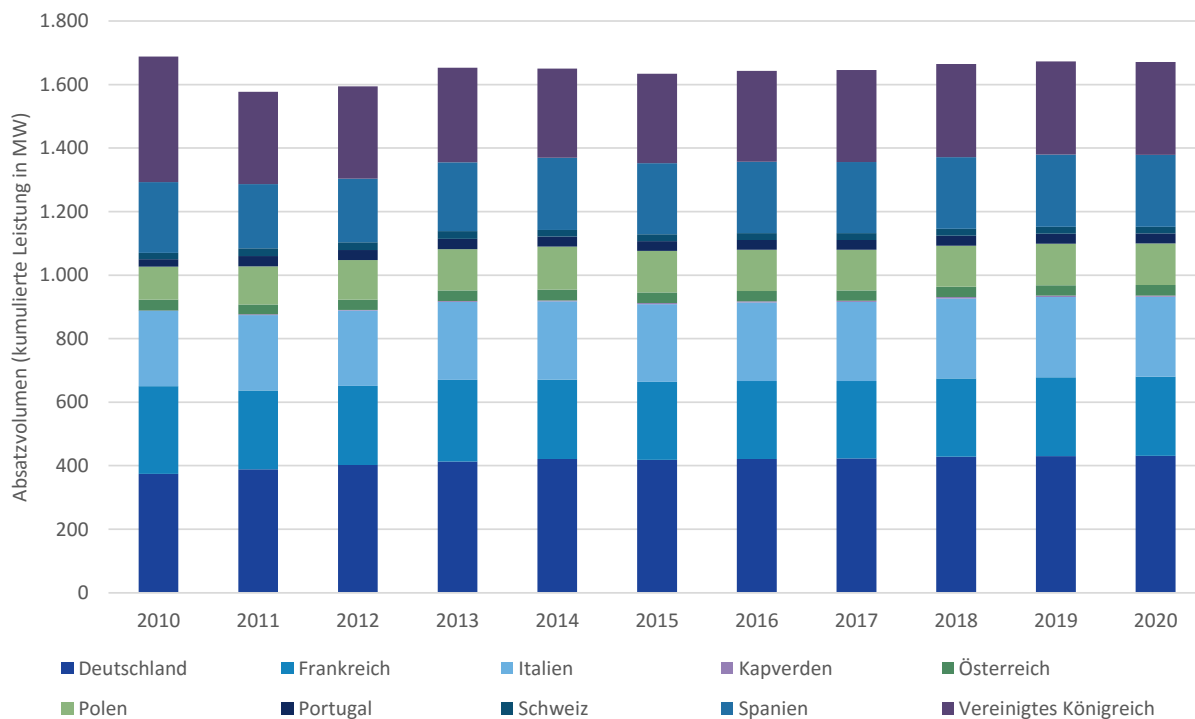


Abbildung 2: Absatzvolumen (Leistung) für Stromerzeuger bis 100 kW in den betrachteten Ländern
(Datengrundlage: Power Systems Research)

4.2.2 Marktdaten nach Produktklasse und Land

Die Marktdaten wurden entsprechend der in 4.1 genannten Produktklassen erfasst. Hierbei wird in Abbildung 3 deutlich, dass die portablen Anlagen den überwiegenden Anteil der verkauften Stromgeneratoren darstellen. Durch den hohen Standardisierungsgrad und das breite Anwendungsgebiet von Stromgeneratoren ist eine Zuordnung der Produktklassen zum tatsächlichen Einsatzzweck mit einer gewissen Unschärfe verbunden.

Insbesondere bei den portablen Stromgeneratoren ist dies dadurch zu erklären, dass diese Aggregate im Allgemeinen als Massenware im Einzelhandel erhältlich sind, und im niedrigen Preissegment anzutreffen sind. Obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, dass solche Aggregate punktuell auch im professionellen Bereich eingesetzt werden, wird dieses Produktsegment im Rahmen dieser Marktstudie als weniger relevant angesehen.

Anteil der Produktklassen am Gesamtumsatz

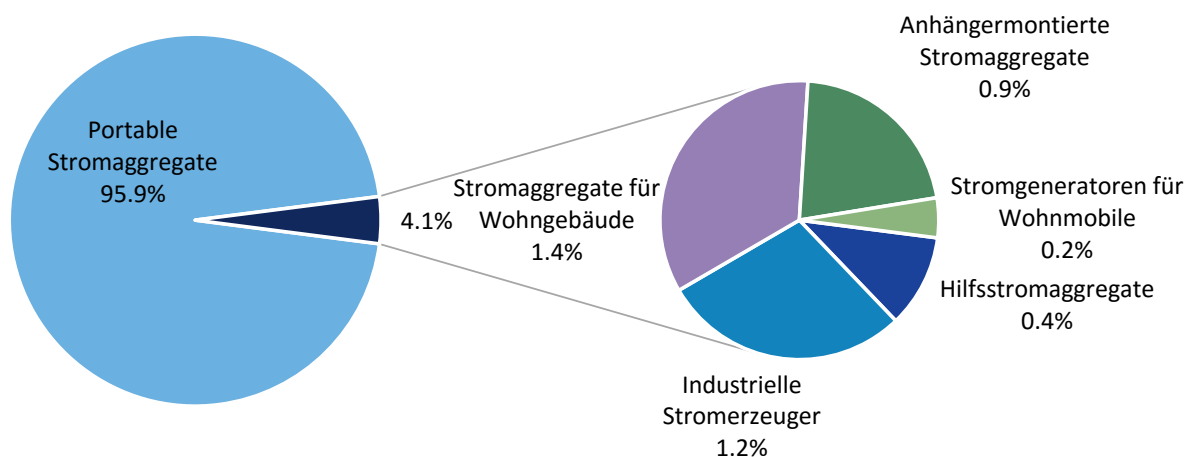


Abbildung 3: Anteil der verschiedenen Produktklassen an der Gesamtstückzahl in 2014, kumuliert über die betrachteten zehn Länder (Datengrundlage: Power Systems Research)

Die Produktklasse, die im Kontext dieser Studie von besonderem Interesse ist, ist die Klasse der industriellen Stromerzeuger, welche häufig als NEA im gewerblichen Bereich eingesetzt werden. Daneben sind die anhängermontierten Stromerzeuger ebenfalls interessant, auch wenn diese nicht nur als (zeitweise) stationäre NEA, sondern auch als Baustellenaggregate Verwendung finden. Die in diesen Segmenten verkauften Einheiten sind in Abbildung 4 und deren kumulierte Leistung in Abbildung 5 dargestellt.

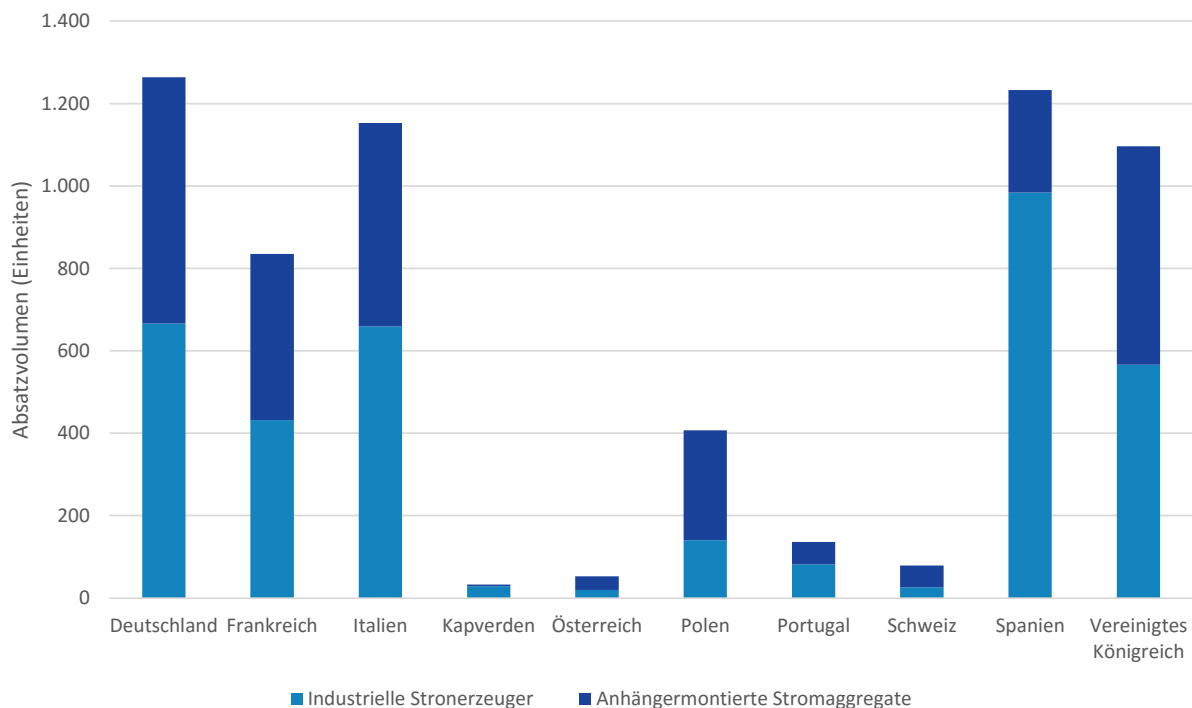


Abbildung 4: Absatzvolumen in 2014 in ausgewählten Produktklassen (Datengrundlage: Power Systems Research)

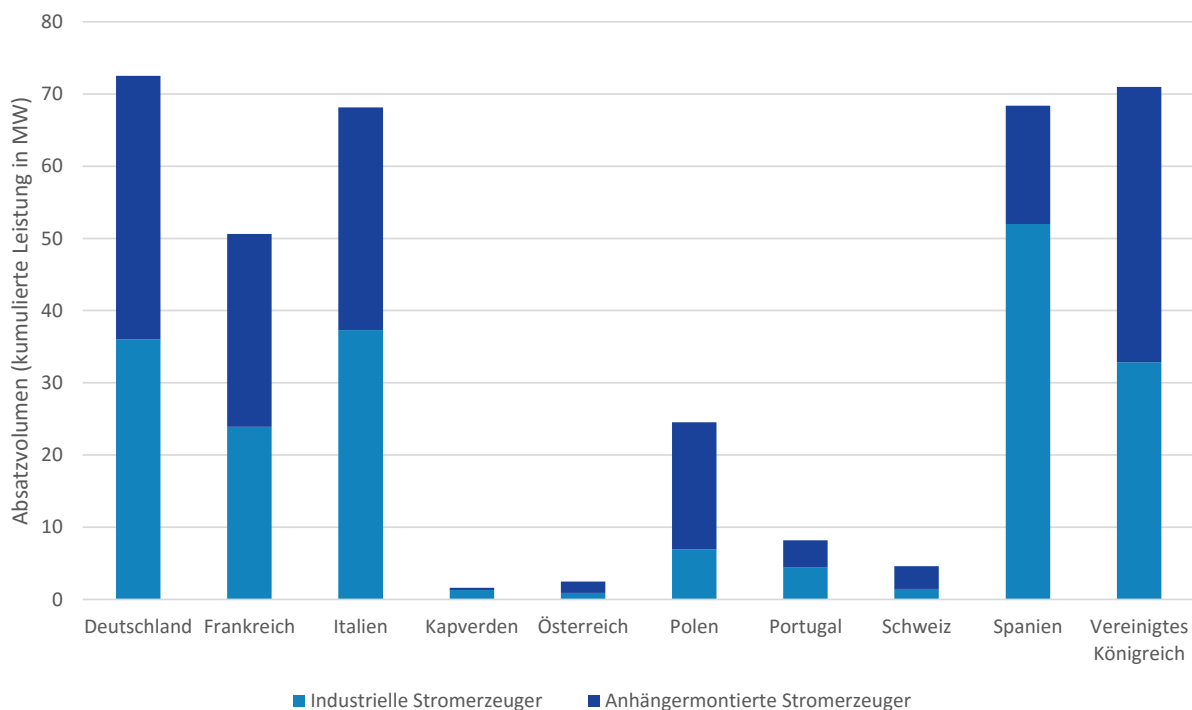


Abbildung 5: Absatzvolumen als kumulierte Leistung in 2014 für ausgewählte Produktklassen (Datengrundlage: Power Systems Research)

Die Zahlen auf Abbildung 4 zeigen allerdings, dass diese Produktklassen nur einen kleinen Anteil am Gesamtmarkt für Generatoren bis 100 kW ausmachen (etwa 4%). Ausnahme sind hierbei die Kapverden, wo industrielle und anhängermontierte Stromerzeuger zusammen über 10% der verkauften Einheiten ausmachen. Gemessen an der abgesetzten Leistung, machen industrielle und anhängermontierte Anlagen zusammen allerdings einen beträchtlichen Anteil von 15-30%, auf den Kapverden sogar von über 45% aus.

4.2.3 Zusammenhang zwischen Netzverfügbarkeit und Marktdaten

Im Folgenden soll untersucht werden, ob ein Bezug zwischen der Netzverfügbarkeit und dem Absatz an Netzersatzanlagen besteht. Wie aus Abbildung 6 ersichtlich wird, besteht ein gewisser Zusammenhang zwischen Bruttoinlandsprodukt pro Kopf und der Netzverfügbarkeit. Die Netzausfallrate- und Dauer⁵ ist in der Schweiz und Deutschland besonders gering, das BIP pro Kopf hoch. In Österreich, dem Vereinigten Königreich und Frankreich ist das Stromnetz mit durchschnittlich weniger als einem Ausfall pro Jahr auch als sehr zuverlässig einzuschätzen. Spanien und Italien, und insbesondere Polen und Portugal haben deutlich höhere Ausfallraten. Dies könnte ein Anzeichen für einen höheren Bedarf an Netzersatzanlagen darstellen.

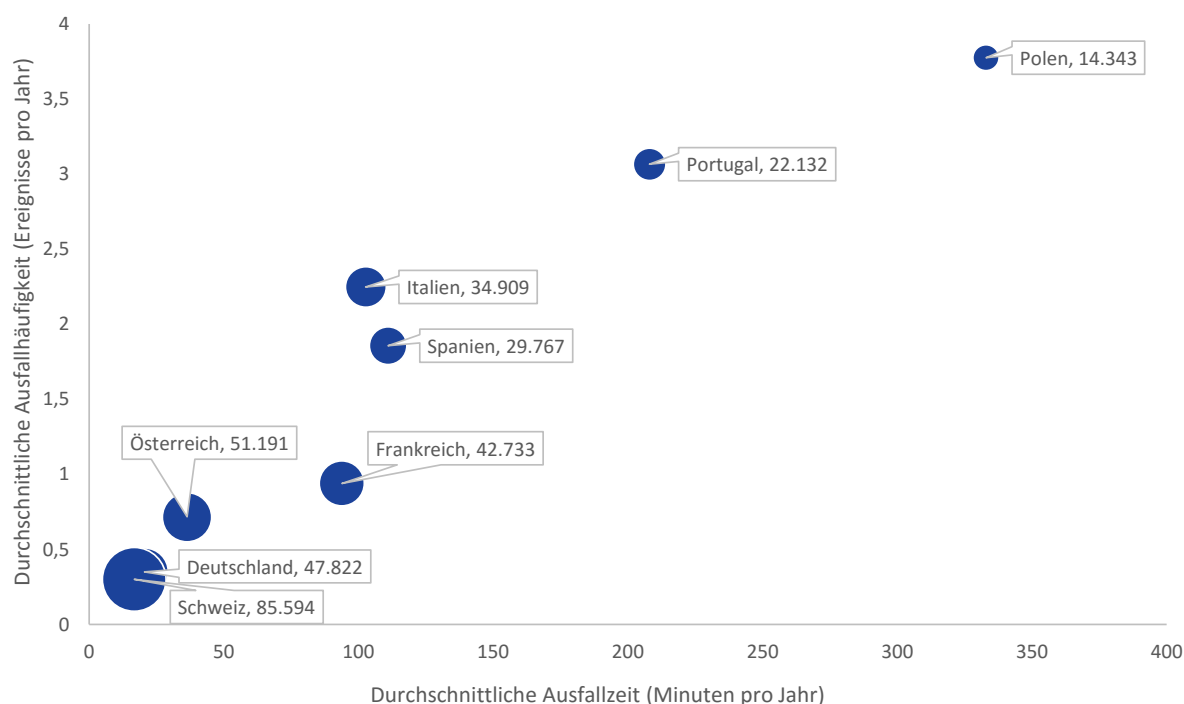


Abbildung 6: Durchschnittliche ungeplante Ausfallzeit und -häufigkeit inkl. außergewöhnlicher Ereignisse, gemittelt 2009 bis 2013. Betrachtete Länder, ohne Kapverden. Kreisfläche stellt das nominale Bruttoinlandsprodukt pro Einwohner in USD in 2014 dar (Quelle: E4tech basierend auf Daten des CEER Benchmarking Report [1] und der Weltbank [2]).

⁵ entsprechend SAIDI (System Average Interruption Duration Index) und SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Die Berechnungsmethoden können je Land leicht unterschiedlich sein, sind aber insgesamt vergleichbar. Tendenziell erzielen Länder mit höherem Anteil an in der Erde verlegten Kabeln eine bessere Netzverfügbarkeit. Länder mit hohem Anteil an Freileitungen sind tendenziell anfälliger für Stromausfälle aufgrund von witterungsbedingten Ereignissen (z.B. umgeknickte Strommasten).

Für die kapverdischen Inseln konnten keine direkt vergleichbaren Indikatoren zur Netzverfügbarkeit gefunden werden. Daten aus den Jahren 2008 und 2009 legen allerdings nahe, dass die Netzausfallhäufigkeit über hundertmal höher liegt als in Deutschland. Je nach Insel war die jährliche Ausfalldauer auf den Kapverden sehr unterschiedlich, und erreichte Werte zwischen 200 Minuten bis zu mehreren hundert Stunden [3].

Um die Verkaufszahlen zwischen den Ländern vergleichen zu können, und somit möglicherweise einen Zusammenhang mit der Netzverfügbarkeit herzustellen, wurden die Marktdaten auf verschiedene Bezugsgrößen umgerechnet: Bevölkerung, Wirtschaftsleistung und Stromverbrauch. Dabei hat sich die Bevölkerungszahl als am besten geeignete Größe herausgestellt (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8). Pro Million Einwohner werden pro Jahr in den betrachteten Ländern zwischen 500 und 1.100 Stromerzeugungsanlagen (bis 100 kW) verkauft. Für Österreich ist der pro Kopf Wert am höchsten, in der Schweiz am geringsten.

Letztlich konnte aber kein signifikanter Zusammenhang zwischen den auf den Gesamtmarkt bezogenen Verkaufszahlen und der Netzverfügbarkeit hergestellt werden.

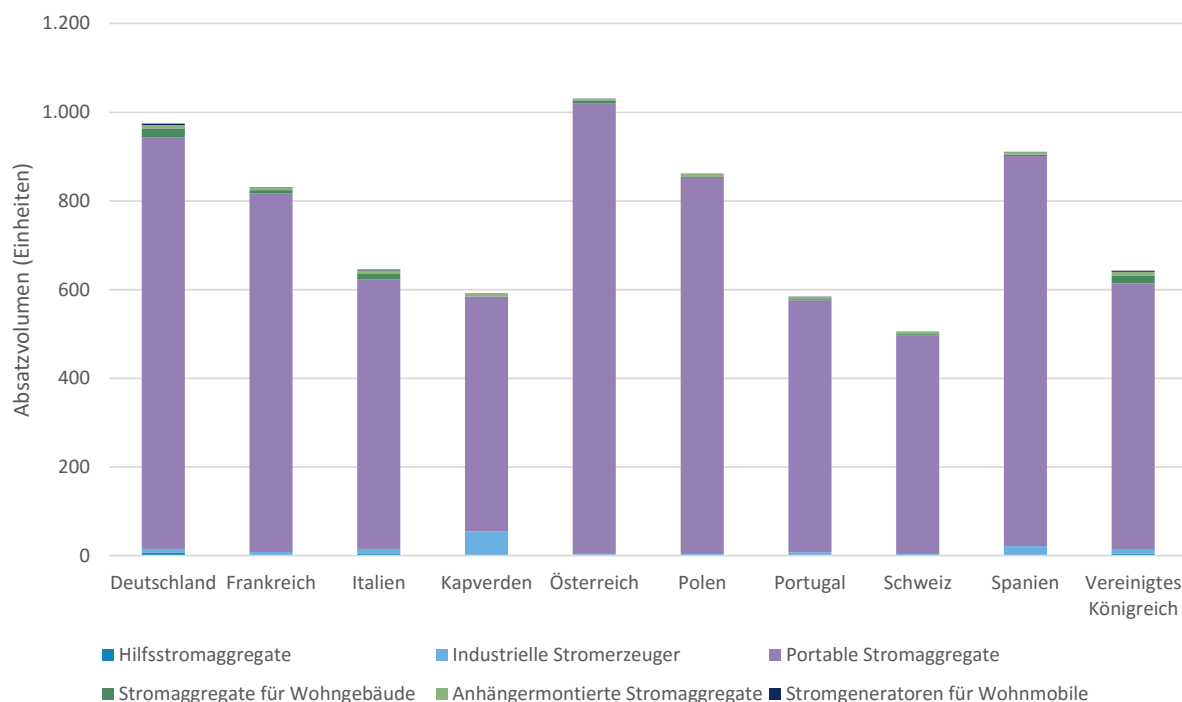


Abbildung 7: Absatzvolumen bis 100 kW pro Million Einwohner über alle Produktklassen in 2014 (Datengrundlage: Power Systems Research)

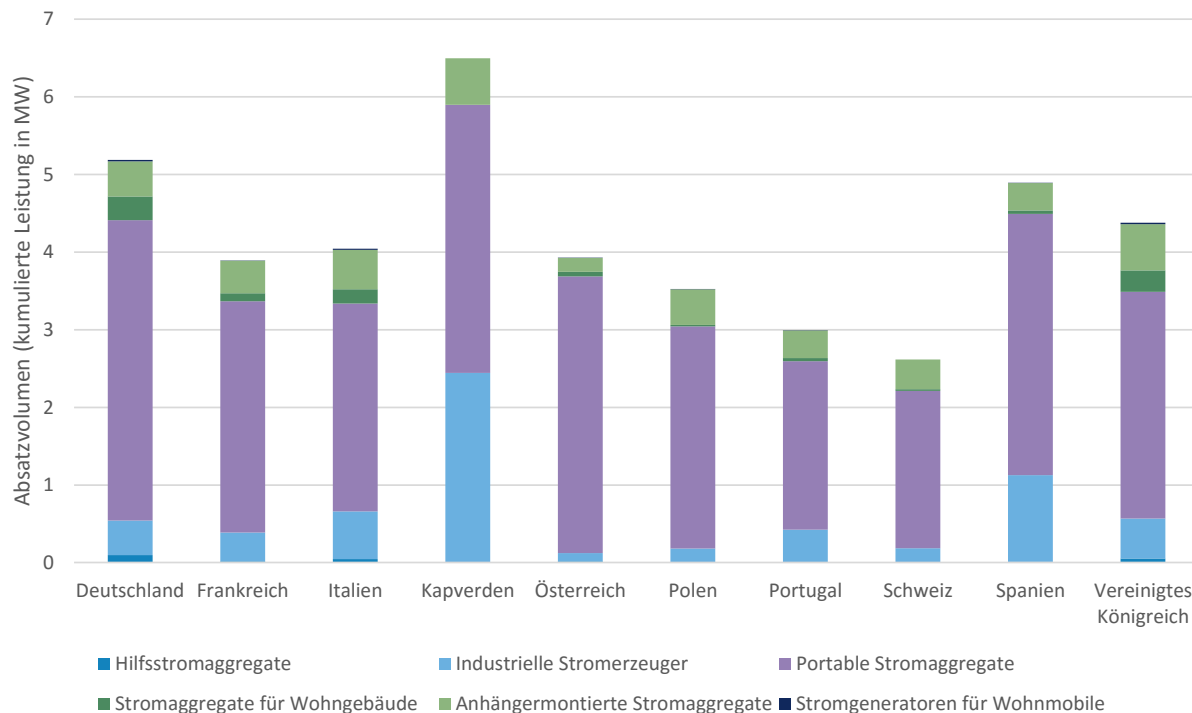


Abbildung 8: Absatzvolumen bis 100 kW pro Million Einwohner als kumulierte Leistung (in MW) über alle Produktklassen in 2014 (Datengrundlage: Power Systems Research)

Betrachtet man nur industrielle und anhängermontierte Anlagen (Abbildung 9 und Abbildung 10) zeichnet sich ein etwas anderes Bild ab. Auf den Kapverden ist der Markt für Aggregate dieser Produktklassen bezogen auf die Einwohnerzahl besonders groß. Auch Spanien und Italien zeigen einen etwas höheren Anteil dieser Produktklassen als Länder mit höherer Netzverfügbarkeit. Polen und Portugal, allerdings zeigen, relativ zur Einwohnerzahl, keine auffällig hohen Verkaufszahlen für diese Produktklassen. Allerdings werden in Polen besonders viele kleine tragbare Aggregate verkauft.

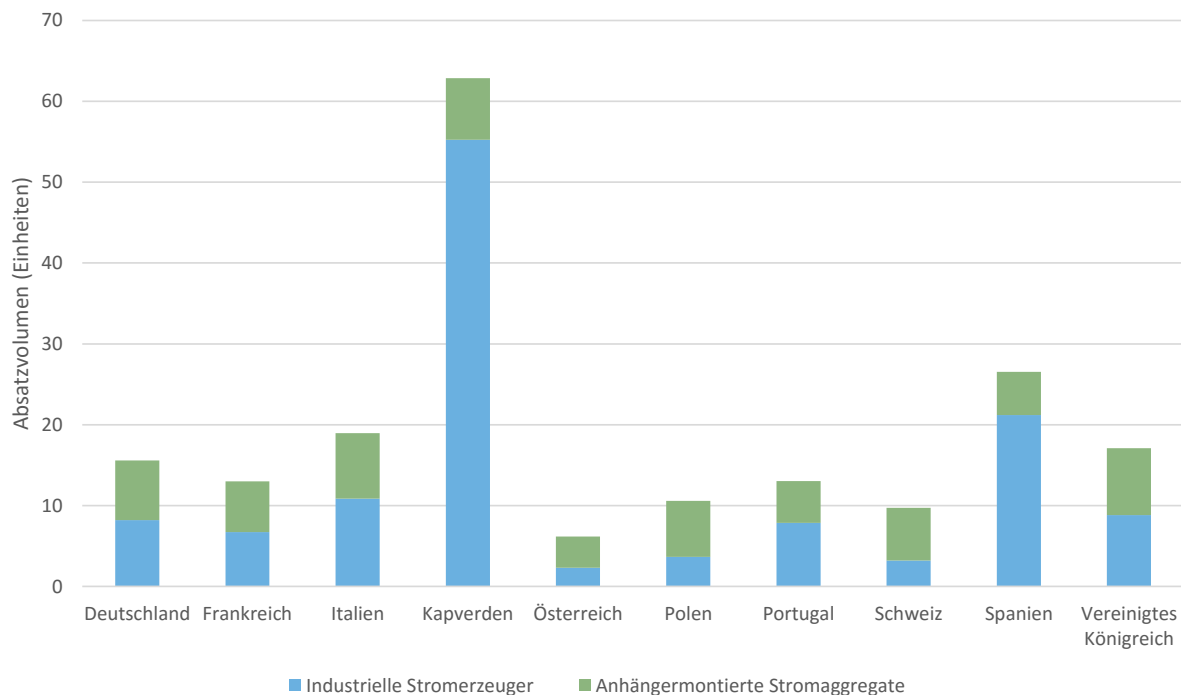


Abbildung 9: Absatzvolumen bis 100 kW pro Million Einwohner für ausgewählte Produktklassen in 2014 (Datengrundlage: Power Systems Research)

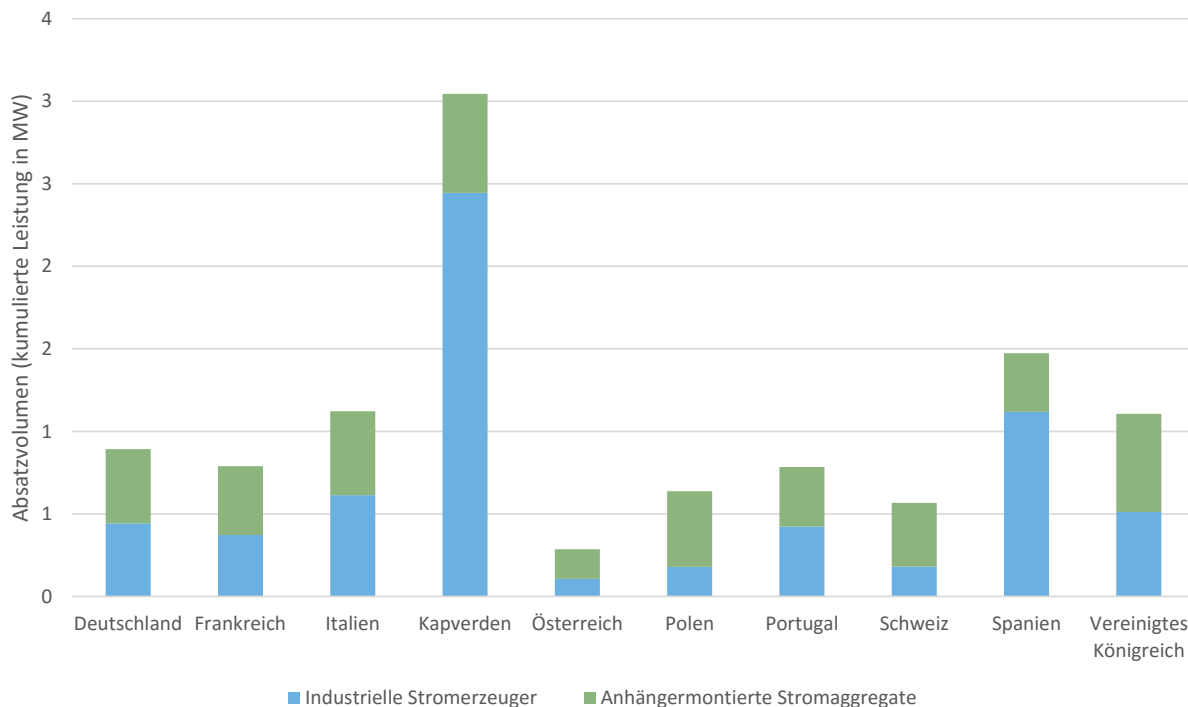


Abbildung 10: Absatzvolumen bis 100 kW pro Million Einwohner als kumulierte Leistung (in MW) für ausgewählte Produktklassen in 2014 (Datengrundlage: Power Systems Research)

Setzt man die Absatzzahlen in den Produktklassen industrielle und anhängermontierte Stromerzeugungsanlagen in Kontext zur Netzverfügbarkeit, so würde man erwarten, dass die Länder mit schwä-

chernen Netzen mehr NEA nachfragen, um Vorsorge gegen Netzausfälle zu treffen. Ein solcher Trend lässt sich allerdings nicht erkennen (siehe Abbildung 11). In den betrachteten kontinentaleuropäischen Ländern lässt sich insgesamt also kein klarer Zusammenhang zwischen der Netzverfügbarkeit und der Nachfrage nach NEA herstellen.

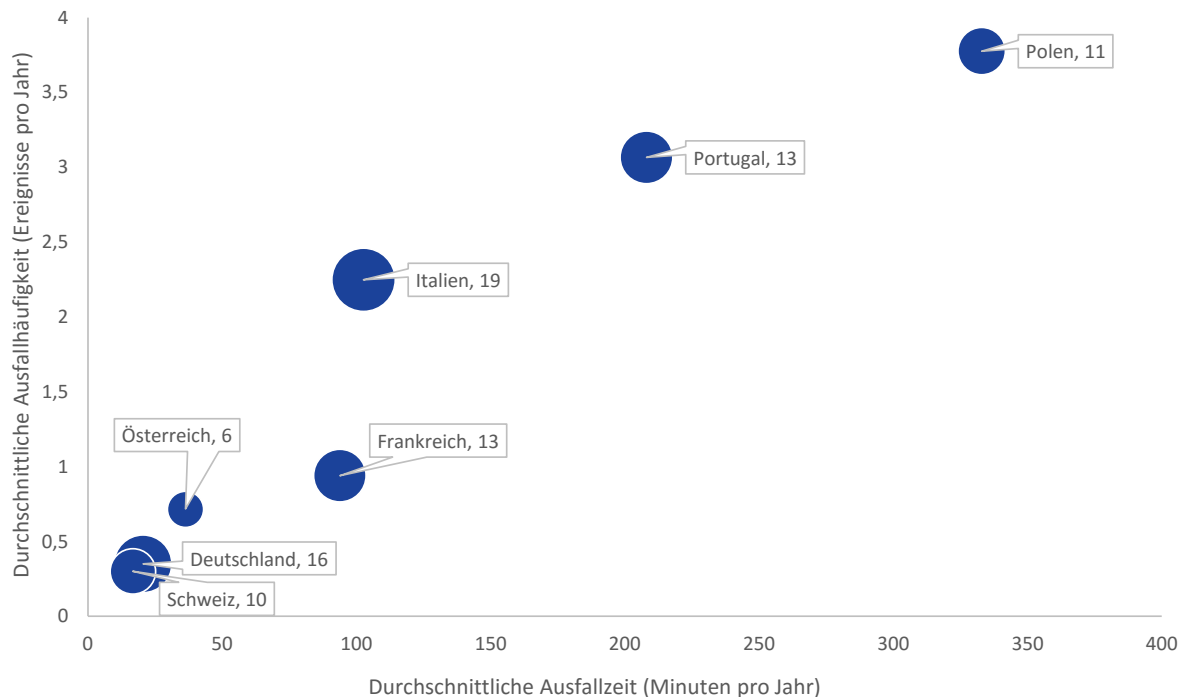
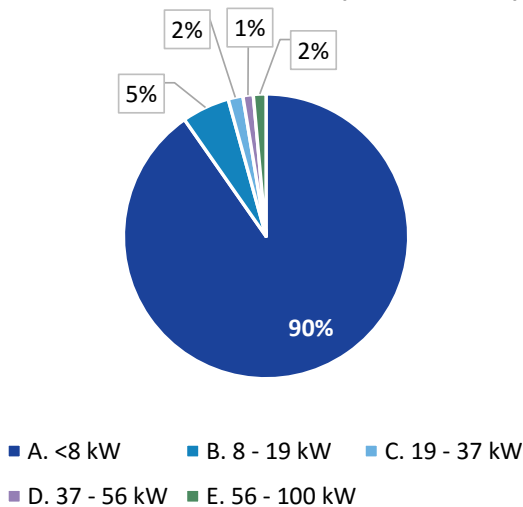
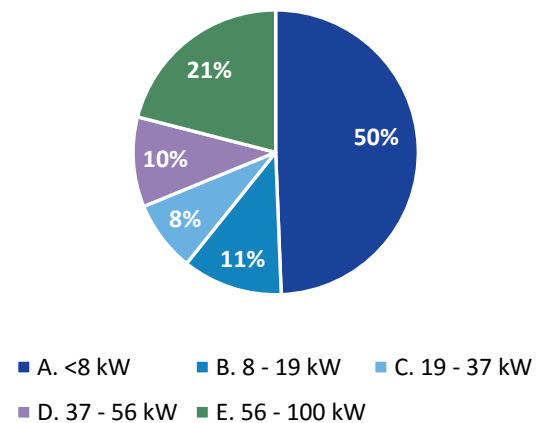


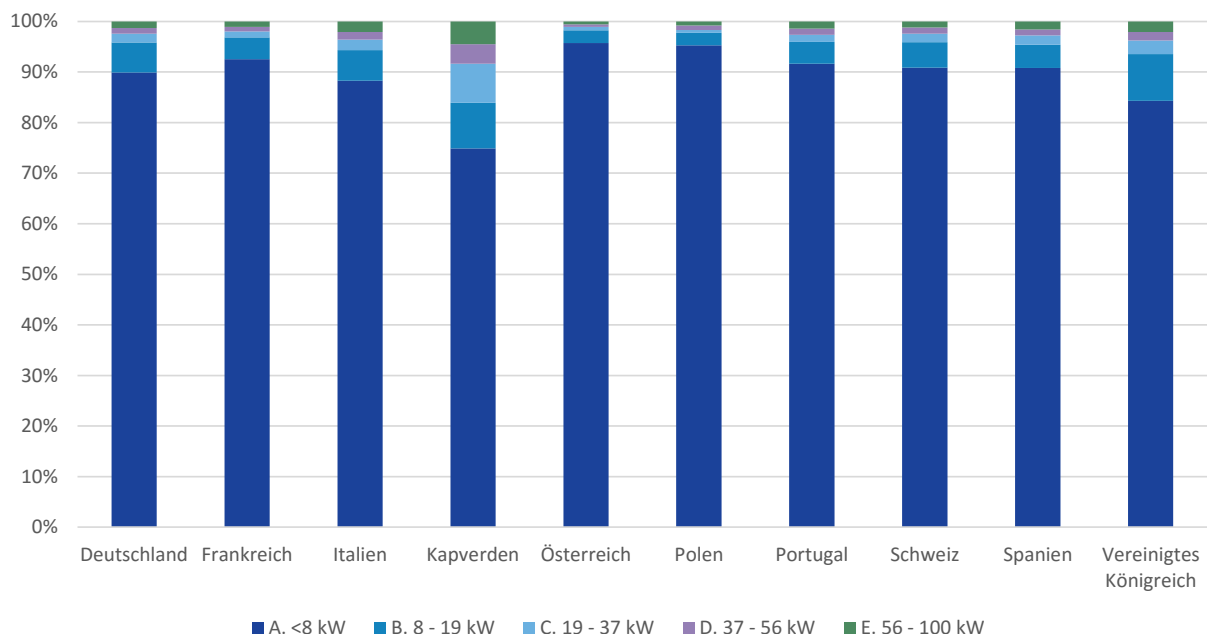
Abbildung 11: Netzverfügbarkeit und Absatz in 2014 von industriellen- und anhängermontierten NEA bis 100 kW pro Million Einwohner (E4tech basierend auf Daten von Power Systems Research und des CEER Benchmarking Report [4])

4.2.4 Marktdaten nach Anlagenleistung

Eine Einteilung von Anlagen nach Leistung ergibt ein ähnliches Bild, wie die Einteilung nach Produktklassen zeigt (siehe Abbildung 12). Die Mehrzahl der Anlagen wird im Bereich 0.75 – 8 kW verkauft, was zum Großteil portablen Anlagen entspricht. Nach Leistung aufgeschlüsselt zeigt sich erwartungsgemäß ein anderes Bild. Nur ungefähr 50% der verkauften Leistung geht auf Anlagen der Kategorie 0.75 – 8 kW zurück. Abbildung 12 zeigt die Aufteilung des Marktes auf die verschiedenen Leistungsklassen in 2014 über alle betrachteten Länder gesehen.

Relatives Absatzvolumen (als Einheiten)

Relatives Absatzvolumen (als kumulierte Leistung)

Abbildung 12: Anteil der verschiedenen Leistungsklassen (bis 100 kW) am Gesamtabsatz in allen betrachteten Ländern in 2014 (Datengrundlage: Power Systems Research)

Aus Abbildung 13 und Abbildung 14 wird ersichtlich, dass diese Anteile zwischen Ländern nicht stark variieren. Auffällig ist, dass auf den Kapverden, einem Inselgruppenstaat mit relativ schwacher Wirtschaftsleistung und besonders anfälligem Stromnetz, der Anteil an großen Anlagen recht hoch ist, wohingegen relativ wenige kleine Anlagen verkauft werden. In Österreich und Polen hingegen ist der Anteil an kleinen, oft portablen Anlagen relativ gesehen sehr hoch.


Abbildung 13: Anteil der verschiedenen Größenklassen am Gesamtabsatz in einzelnen Ländern gemessen an der Stückzahl in 2014 (Datengrundlage: Power Systems Research)

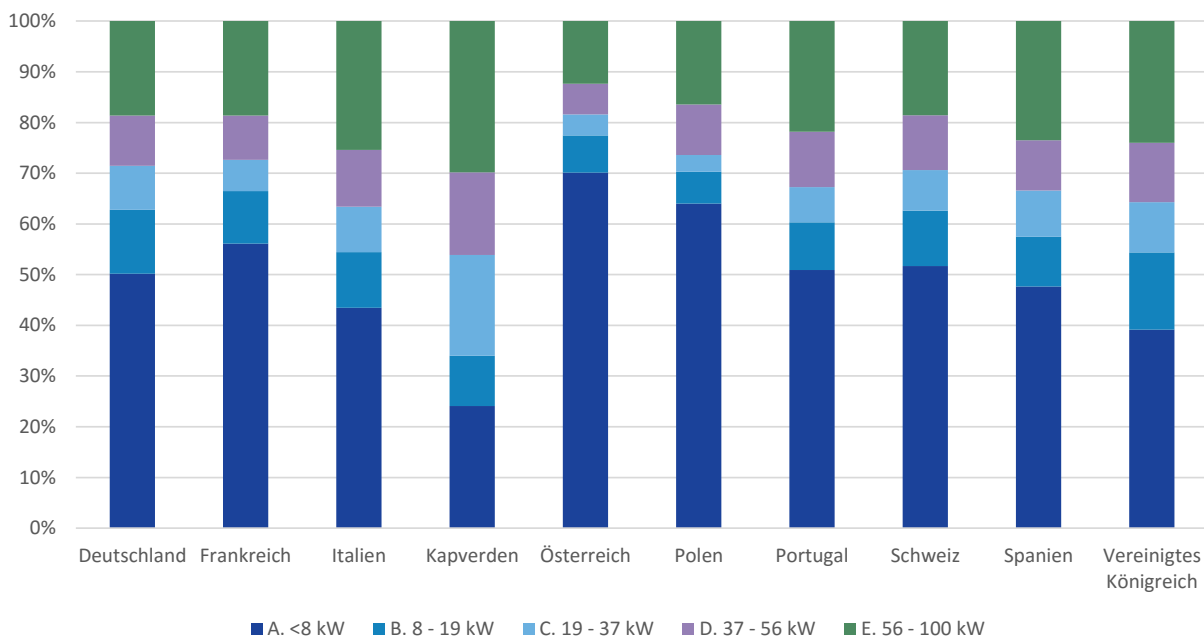


Abbildung 14: Anteil der verschiedenen Größenklassen am Gesamtabsatz in einzelnen Ländern gemessen in MW Leistung (Datengrundlage: Power Systems Research)

4.2.5 Marktdaten nach Kraftstoffart

Die Auswertung der Marktdaten nach Kraftstoffart (Abbildung 15) ergibt ein ähnliches Bild wie die Auswertung nach Leistungsklassen. Kleine Anlagen (<8 kW) sind fast ausschließlich mit Benzin betrieben. Bei größeren Anlagen (>19 kW) dominieren Diesellaggregate. In der Klasse der Anlagen von 8 bis 19 kW zeigt sich ein geteiltes Bild, wobei Benzin- und Diesellaggregate ähnliche Anteile einnehmen. Erdgas und Flüssiggas (LPG) spielt insgesamt keine sehr große Rolle, wobei aber immerhin fast 10% der mittleren und großen Anlagen mit Erd- oder Flüssiggas betrieben werden. Dabei handelt es sich vornehmlich um stationäre Anlagen für Wohngebäude.

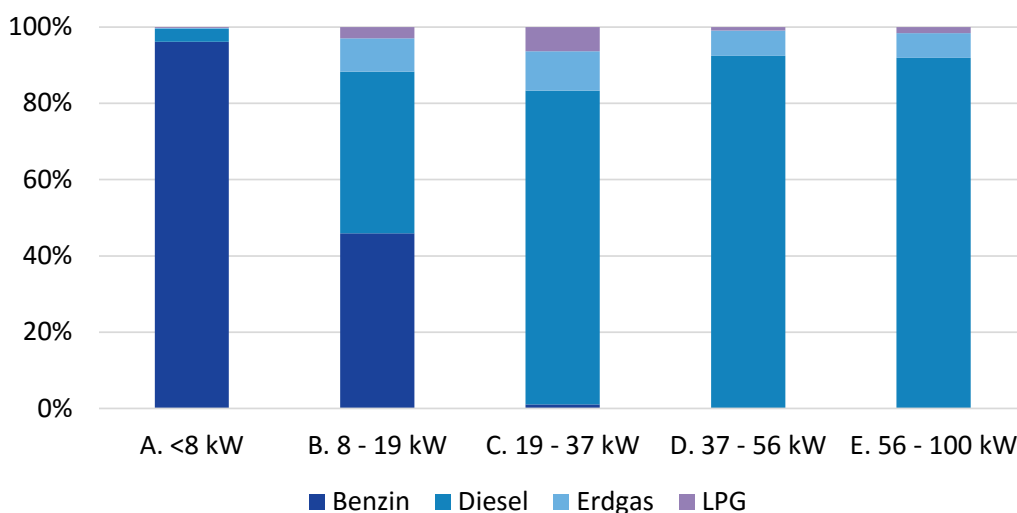


Abbildung 15: Anteil verschiedener Kraftstoffe in den einzelnen Leistungsklassen an den Verkaufszahlen aller betrachteten Länder in 2014 (Datengrundlage: Power Systems Research)

4.2.6 Marktdaten nach Produktklasse und Anlagenleistung

Betrachtet man das Marktvolumen je Produktklasse in den einzelnen Leistungsbereichen, so erkennt man, dass bei kleinen Anlagen (unter 8 kW) fast ausschließlich portable Einheiten verkauft werden. Diese dominieren in allen Klassen, außer bei den Anlagen über 56 kW. In dieser Kategorie sind sowohl anhängermontierte Anlagen als auch industrielle Stromerzeuger in großen Anteilen vertreten. Stromerzeuger für Wohngebäude, die nicht im Fokus dieser Studie stehen, spielen vor allem im mittleren Bereich (8-37 kW) eine messbare Rolle.

Betrachtet man die gleiche Problematik vom entgegengesetzten Blickwinkel, erkennt man, dass die hohe Anzahl an portablen Anlagen verschiedene Effekte in Abbildung 15 verdeckt. So zeigt Abbildung 16, dass Anlagen unter 8 kW bei Hilfsstromaggregaten einen Marktanteil von 56% und bei Stromgeneratoren für Wohnmobile einen Marktanteil von 42% haben.

In den Anwendungsklassen, welche für die vorliegende Studie am relevantesten sind, namentlich die industriellen Stromerzeuger und die anhängermontierten Stromaggregate, sind Aggregate der Kategorie 56 bis 100 kW mit 51% respektive 69% der verkauften Einheiten dominierend.

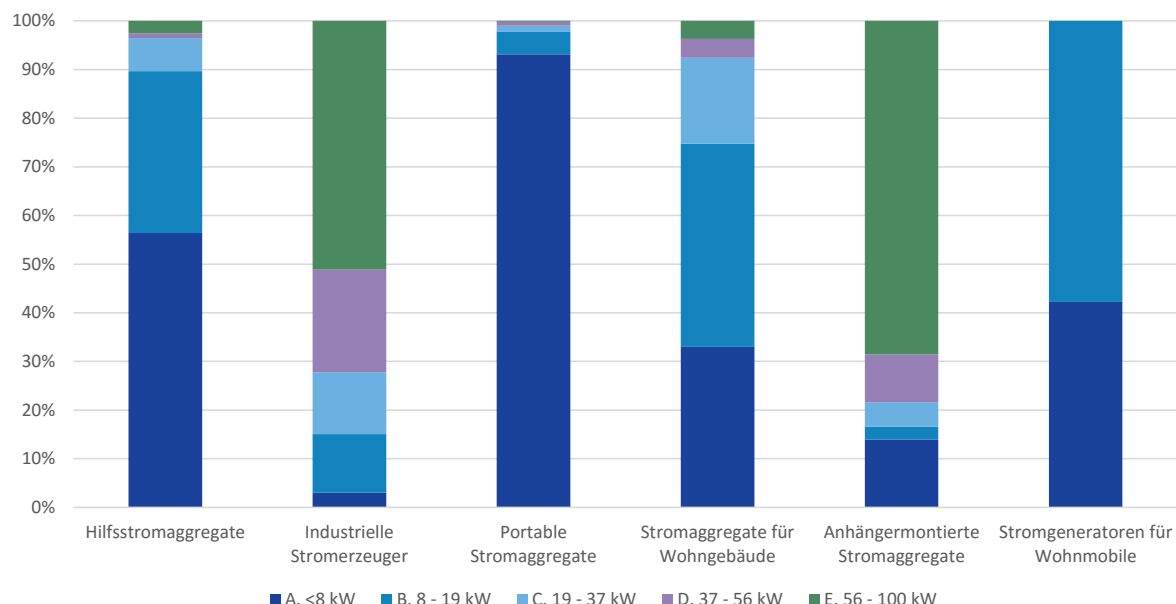


Abbildung 16: Anteile der verschiedenen Leistungsklassen in den jeweiligen Produktklassen bezogen auf Absatz in allen betrachteten Ländern in 2014 (Datengrundlage: Power Systems Research)

5 Anbieterstruktur im konventionellen NEA Bereich

Auf den ersten Blick erscheint die Anbieterstruktur sehr breit gefächert und fragmentiert. Allein für Deutschland finden sich in Onlinedatenbanken um die 100 Hersteller für Notstrom- bzw. Ersatzstromanlagen. Branchenkenner schätzen für Europa eine Herstellerzahl von mehreren hundert Akteuren. Entgegen dieser Vielfalt wird über die letzten Jahre ein stark ausgeprägter Konzentrationsprozess durch Fusionierungen und Übernahmen beobachtet, der dazu geführt hat, dass weniger als 10 große Technologieanbieter den Markt dominieren, wobei deren Marktanteil auf deutlich über 70% geschätzt wird.

Gegenüber den mittleren und kleineren Mitbewerbern haben die großen Systemanbieter durch ihre stärkere Kaufkraft bzw. Preisverhandlungsmacht gegenüber den Komponentenzulieferern einen klaren Vorteil. Das erklärt auch den Trend warum sich kleinere Anbieter Marktnischen und Anwendungen mit höherem planerischem Aufwand suchen. Die im Massenmarkt erzielbaren Margen sind zu gering, um ohne große Stückzahl attraktiv bzw. kostendeckend zu sein. Üblicherweise kaufen diese kleinen und mittelgroßen Anbieter Baugruppen zu und passen diese auf konkrete Anwendungsanforderungen an. Dies bedeutet aber nicht im Umkehrschluss, dass die großen Hersteller von NEA ihre Kernkomponenten notwendigerweise immer selbst produzieren. Generell ist ein Großteil der verbauten Technik (Motoren, Generatoren, Steuertechnik, Leistungselektronik) global gehandelte Ware, und jeder Hersteller verfolgt eigene Strategien entlang der Lieferkette (Abbildung 17). Auf Seiten der Motorenzulieferer teilt sich ebenfalls eine geringe Zahl von Akteuren den globalen Massenmarkt.

In Diskussionen im Rahmen dieser Studie wurde seitens Branchenkenner berichtet, dass Markenbewusstsein, bzw. die Bevorzugung von etablierten großen Anbietern insbesondere bei Großhändlern und Installateuren stark ausgeprägt ist. Endkunden wären demnach weniger auf bestimmte Marken fokussiert, sondern würden sich stattdessen mehr am Kundenservice, der Ihnen vor Ort geboten wird, orientieren. So überrascht es nicht, dass die marktdominierenden Hersteller in den einzelnen nationalen Märkten vor Ort über ein sehr gut ausgebautes Vertriebsnetz, bzw. Vertriebspartner verfügen, das ihnen letztlich auch die entsprechende Marktmacht sichert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die großen nationalen Märkte in Mittel- und Westeuropa typischerweise von über viele Jahre gewachsenen Vertriebsnetzen der etablierten Hersteller geprägt sind. Dies macht es für neu auftretende Akteure schwierig in den Markt zu kommen.

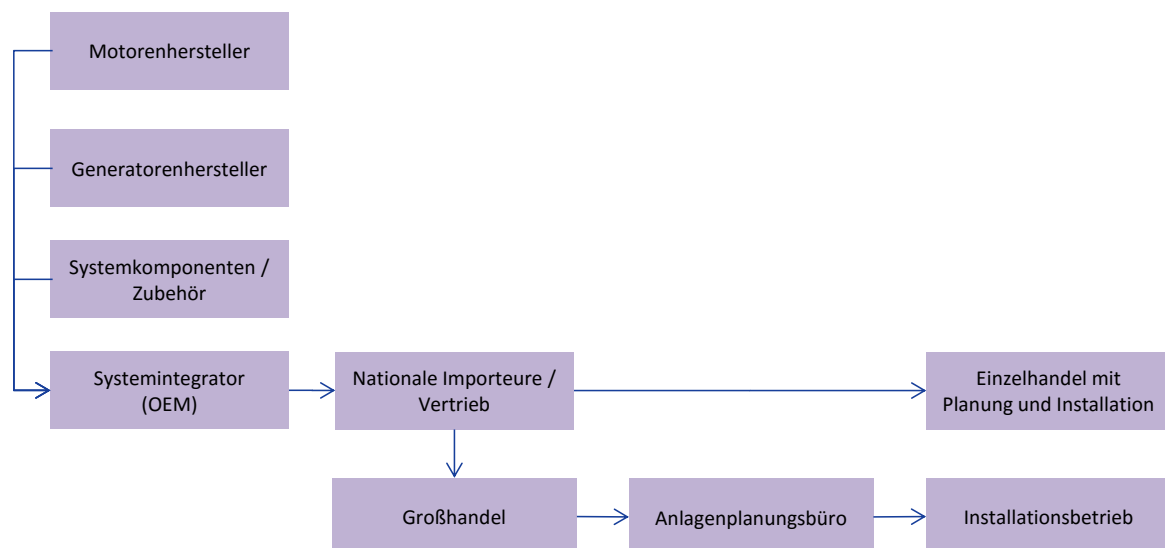


Abbildung 17: Vereinfachte Darstellung der Wertschöpfungskette im NEA Bereich (Quelle: E4tech)

6 Gesetzliche Beschränkungen und Leitfäden für NEA

Emissionen von stationären NEA sind auf europäischer Ebene bislang nicht reguliert. Von den gängigen EU Richtlinien⁶ zu sogenannten „mobile Maschinen und Geräte“ sind stationäre NEA (egal ob für NSV oder Dauerbetrieb) ausgenommen. Insofern sind stationäre Anlagen auch nicht von der momentan laufenden Verschärfung dieser Richtlinien betroffen. Allerdings gehen Branchenbeobachter davon aus, dass mittelfristig auch für stationäre Stromerzeugungsanlagen ähnliche Standards eingeführt werden [5].

Grenzwerte für Luftschadstoffe von stationären NEA sind aber durch verschiedene nationale Regelwerke vorgegeben. Die Regelungen in vielen europäischen Märkten orientieren sich an den Vorgaben der deutschen Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) [6].

Schallemissionen von NEA sind im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm) geregelt. Für Sondergebiete sind weitergehende behördliche Forderungen zu beachten. Vom Errichter einer Anlage ist der Schallleistungspegel bei Nennleistung des Aggregates in dB (A) anzugeben [7].

Neben diesen Vorgaben, die für Produkte gelten, gibt je Branche verschiedene Leitfäden zur Planung und Auslegung von NEA. Beispiele sind der Europäische Leitfaden zu unterbrechungsfreien Stromversorgungen, herausgegeben vom Zentralverband der Elektroindustrie [8], der Leitfaden für NEA in öffentlichen Gebäuden [7], der Leitfaden [9] und die Planungshilfe [10] des BITKOM-Verbands für NEA in Rechenzentren, sowie der Leitfaden der Stromnetzbetreiber [11].

⁶ Richtlinie 97/68/EC, Novelle der Richtlinie 2002/88/EC, Richtlinie 2004/26/EC, Richtlinie 2006/105/EC, Richtlinie 2011/88/EU und die Anpassungen der Richtlinie 2012/46/EU

7 Kostenbetrachtungen

7.1 Technische Lösungen je Einsatzmuster

Zwar weisen konkrete Anwendungen immer spezielle Anforderungen auf, dennoch lässt sich im Allgemeinen eine Einteilung treffen in der bestimmte technische Lösungen je nach Leistungsklasse und Überbrückungsdauer typischerweise eingesetzt werden (Abbildung 18).

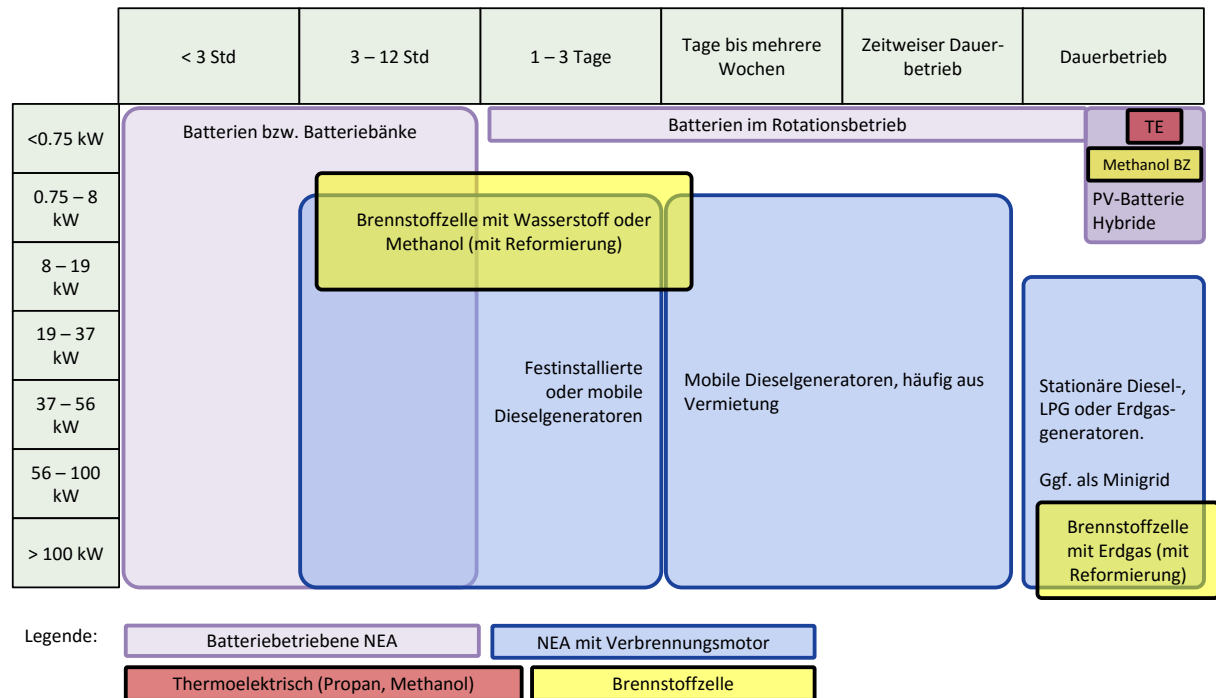


Abbildung 18: Typische technische Lösungen für unterschiedliche Leistungsklassen und Überbrückungsdauern (Quelle: E4tech Recherchen)

Batterien sind grundsätzlich in allen betrachteten Leistungsklassen (bis 100 kW) erhältlich. Da Batterien üblicherweise modular aufgebaut sind, skalieren Kosten und Platzbedarf mehr oder minder direkt mit der Leistung und dem Energiegehalt. Innerhalb der verschiedenen Batterietechnologien (siehe auch 8.1) sind zwar verschiedene Verhältnisse von Energie zu Leistung erhältlich, allerdings bewegt sich dieses Verhältnis immer innerhalb eines gewissen Rahmens, und beide Eigenschaften bleiben für einen spezifischen Batterietypen immer eng verknüpft. Daher sind bei hohen Leistungen, und insbesondere bei langen Überbrückungszeiten Batterien weniger interessant als Lösungen, welche Leistung und Energie abkoppeln können (z.B. Dieselgeneratoren, Brennstoffzellen, grundsätzlich auch Flow-Batterien). Anwendungen im kleinen Leistungsbereich (insbesondere Mess- und Regeltechnik, Warnbeleuchtung, u.a.) werden oftmals auch dauerhaft mit Batterien betrieben, wobei diese dann regelmäßig mit wieder aufgeladenen Batterien ausgetauscht werden. Der Aufwand des Batterietausches (Entfernung bzw. Anfahrtsweg, Arbeitszeit) steht dabei in Konkurrenz zu größeren Batterien (höhere Anschaffungskosten), oder zu alternativen Lösungen, die eine lange Unabhängigkeit ermöglichen (z.B. Brennstoffzelle).

Dieselgeneratoren sind im Bereich 20 kW aufwärts und für Überbrückungsdauern von mehr als 3 Stunden üblicherweise die Standardlösung für NEA. Aufgrund ihrer Anlaufdauer übernimmt zuerst

eine USV-Batterie, die zumindest für eine halbe Stunde ausgelegt ist – oft auch für mehrere Stunden, bevor das Dieselaggregat übernimmt.

Dieselaggregate sind zwar grundsätzlich auch im Leistungsbereich unter 20 kW erhältlich, werden in der Praxis dann aber häufig überdimensioniert. Dies hat verschiedene Gründe:

- Je nach angeschlossenem Verbraucher muss das Aggregat für hohe Anlaufströme ausgelegt werden. Bei Verbrauchern mit elektromechanischem Antrieb wie zum Beispiel Kälteanlagen kann dies zu einer notwendigen Überdimensionierung von etwa dreimal der Nennlast führen. Werden Dieselaggregate für die Absicherung von USV Anlagen eingesetzt, ist wegen dem hohen Oberschwingungsanteil der USV ebenfalls eine mehrfache Überdimensionierung notwendig. Mittlerweile wird jedoch eine Optimierung der USV selbst anstelle einer Überdimensionierung der NEA als kostengünstigere Alternative empfohlen.
- Begrenzte Verfügbarkeit von Produkten im <20 kW Bereich, die alle anwendungsspezifischen Anforderungen erfüllen
- Aggregate im Bereich <20 kW weisen höhere spezifische Anschaffungskosten auf, wodurch ein größeres Aggregat oftmals zu kaum höheren Anschaffungskosten erhältlich ist. Im Sinne eines Sicherheitszuschlags werden bei weitgehender Kostenneutralität dann größere Anlagen bevorzugt.

Zwar bedeutet die Überdimensionierung der Dieselaggregate auch, oftmals in suboptimalen Betriebspunkten mit geringem Wirkungsgrad Strom zu erzeugen. Aufgrund der üblicherweise sehr kurzen Laufzeiten pro Jahr (typischerweise wenige hundert Betriebsstunden, in erster Linie wegen Prüf- und Testläufen), ist der Kraftstoffverbrauch allerdings meist nur von sehr nachgeordneter Bedeutung.

Brennstoffzellen werden im NEA Bereich (militärische und Freizeitanwendungen nicht eingeschlossen) heute vor allem in drei Auslegungsarten eingesetzt:

- Netzferne dauerhafte Versorgung von Verbrauchern in kleinen Leistungsbereichen alleine mittels Brennstoffzelle (typischerweise unter 100 W). Anwendungen sind Mess- und Regeltechnik sowie Überwachungstechnik im Öl- und Gasbereich, Straßenwetterstationen, kathodischer Korrosionsschutz, u.a.
- Netzer ergänzende oder dauerhafte Versorgung von Verbrauchern bis einige kW Leistung, oftmals in Kombination mit Photovoltaik oder Windgeneratoren. Typische Anwendungen sind Mobilfunkbasisstationen in entlegenen stromnetzfernen Gebieten oder in Ländern mit sehr unzuverlässigen Stromnetzen.
- Notstromversorgung für netzversorgte Verbraucher verschiedener Leistungsklassen, vor allem aber im Bereich bis ca. 5 kW; typischerweise für Basisstationen im BOS-Funk sowie für Mobilfunkbasisstationen in entlegenen Regionen.

Mit Ausnahme des Einsatzes einer größeren Zahl von Brennstoffzellen in BOS-Funknetzen, stellen Brennstoffzellen in Europa derzeit noch einen Nischenmarkt für NEA dar. Ihre technische Eignung und betriebliche Vorteile (Wartung, Verfügbarkeit) wurden allerdings bereits in einer Vielzahl von Anwendungen durch Pilotprojekte unter Beweis gestellt. In anderen Weltregionen, mit anderen Anforderungen als in Europa wo sehr hohe Stromnetzverfügbarkeit vorherrscht, konnte sich die Technologie dagegen bereits in kommerziellen Anwendungen Marktanteile erarbeiten.

Insbesondere in Entwicklungsländern mit schwachem Stromnetz und vielen entlegenen Standorten werden Brennstoffzellen für ihre lange Autarkiezeit und geringer Diebstahlproblematik geschätzt (Diebstahl von Dieselaggregaten und/oder Dieseldieselloststoff ist in wirtschaftlich schwächeren Weltregionen oftmals ein Problem). Daneben wurden in den USA über viele Jahre Brennstoffzellen über Steuerrabatte gefördert, und konnten dadurch ein Marktpotenzial in der Netzhärtung des Mobilfunks heben.

Thermoelektrische Generatoren (Thermoelement)

In thermoelektrischen Generatoren wird Wärme direkt in elektrische Energie gewandelt. Diese Generatoren werden als NEA für kleine Leistungsbereiche (typisch bis 50 W), insbesondere in der Mess- und Regeltechnik, an netzfernen Standorten (z.B. Öl- und Gaspipeline) eingesetzt. Als Brennstoff dient in der Regel Propan oder Methanol, das vor Ort bevorratet werden muss. In einigen Fällen kann auch direkt vor Ort gefördertes Erdgas als Brennstoff eingesetzt werden, sofern die Gasqualität dies zulässt.

7.2 Anwendungsbezogenheit der Gesamtkosten

Verschiedene Studien und Projekte haben die Kosten über die Lebensdauer von unterschiedlichen NEA-Technologien miteinander verglichen [12, 13, 14]. Neben den Anschaffungskosten wie Anlagentechnik, Projektierung, Installation, bauliche Voraussetzungen und Genehmigungen, fließen weitere Parameter in die Gesamtkosten ein: Die Lebensdauer der eingesetzten Technik, der Finanzierungszinssatz, sowie die Betriebs- und Wartungskosten, welche wiederum von lokalen Gegebenheiten wie Anfahrtsweg, Lohnkostenniveau und Kraftstoffpreisen abhängen. Ob die erwarteten bzw. von Herstellerseite angegebenen Lebensdauern dann tatsächlich erreicht werden hängt wiederum von Wartung, Betriebsweise und Aufstellort der NEA ab.

Die Gesamtkosten über die Lebensdauer sind also immer mit Blick auf spezifische Anforderungen und Rahmenbedingen zu bestimmen. Beispiele sind:

- Redundante oder modulare Ausführung kritischer Komponenten wie der Stromerzeuger, sowie häufige Tests und engmaschige Wartungsintervalle, um besonders hohe Verfügbarkeit zu erzielen.
- Je nach Art der zu versorgenden Verbraucher müssen NEA gegebenenfalls auf hohe Anlaufströme ausgelegt werden, wodurch Dieselaggregate gegenüber der benötigten Nennleistung oft deutlich überdimensioniert sind. Dies kann beispielsweise durch eine Hybridisierung mit einer Batterie vermieden werden, bedeutet aber höhere Systemkosten, die der eingesparten Überdimensionierung gegenüber zu stellen sind.
- Bauliche Voraussetzungen, wie beispielsweise ein klimatisierter Batterieraum können notwendig sein, sind aber vielleicht auch schon vorhanden. Eine scharfe Unterscheidung welche baulichen Kosten der NEA zuzuschreiben sind ist nicht immer möglich. Dies erschwert den Gesamtkostenvergleich mit alternativen Technologien, die womöglich andere bauliche Voraussetzungen haben.

Letztlich hat jeder Anwendungsfall seine eigene wirtschaftlich optimale Lösung. Werden allerdings viele Standorte zugleich betrieben, kann es wiederum besser sein bei der Technologiewahl auf eine einheitliche Konfiguration oder zumindest einheitliche Technologiewahl für alle Standorte zurück-

zugreifen, betriebliche Kosten zu minimisieren (z.B. Schulung von Personal für mehrere Technologien, Serviceverträge mit unterschiedlichen Anbietern, etc.).

7.3 Kostenbereich Diesel-NEA

Stationäre Diesel-NEA zur Notstromversorgung basieren üblicherweise auf handelsüblichen Dieselaggregaten, für welche Preisinformationen einfach zugänglich sind. Weniger offensichtlich sind die Kosten für eine Reihe notwendiger Systemkomponenten und Zubehör, die letztlich anwendungsspezifisch zusammengestellt werden (siehe Abbildung 19). Insbesondere bei kleinen Leistungen (unter 20 kW) können solche Komponenten einen erheblichen Anteil (bis zu ca. 50%) an den Systemkosten darstellen.

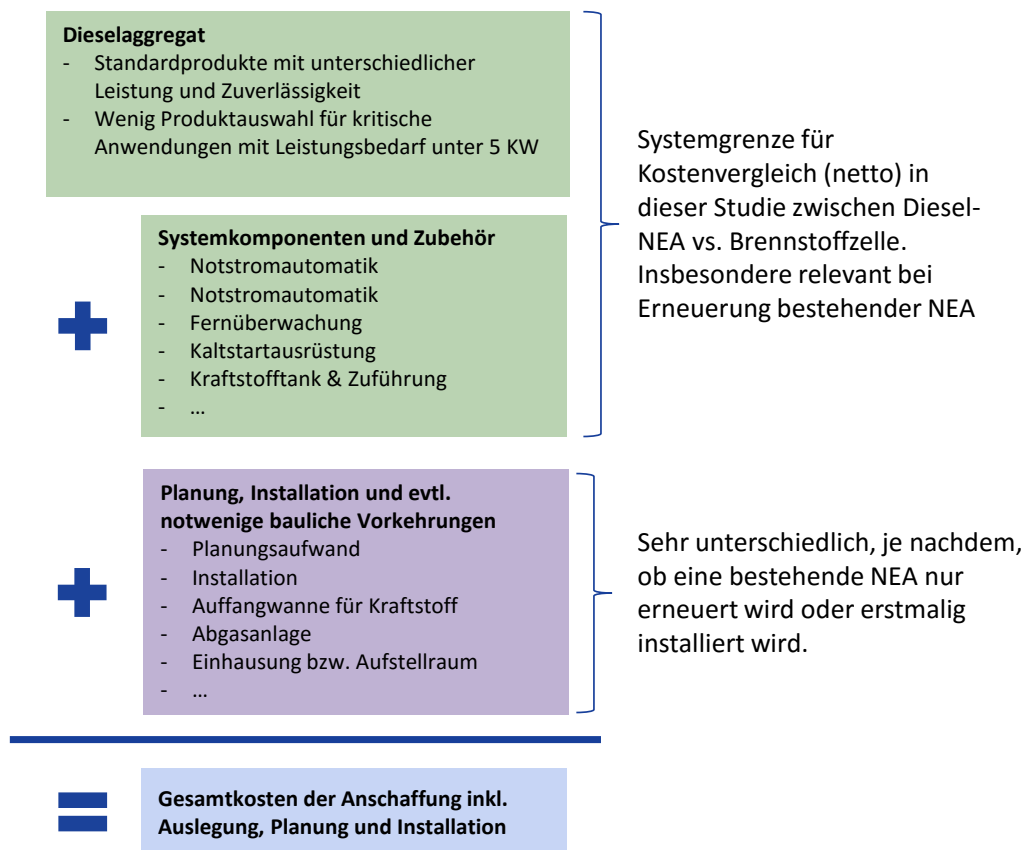


Abbildung 19: Zusammensetzung der Gesamtanschaffungskosten einer NEA (überblickshaft)

Planung, Installation und je nach Aufstellort notwendige bauliche Vorkehrungen sind nur sehr schwer generell vergleichbar, da sehr anwendungs- und projektspezifisch. Bei kritischen Anwendungen, die eine besonders hohe Zuverlässigkeit erfordern, sind diese Kosten ein nicht unerheblicher Kostenfaktor innerhalb der Anschaffungskosten.

Generell lässt sich sagen, dass dort wo bereits heute ein Dieselaggregat eingesetzt wird, bei einer Erneuerung kaum ins Gewicht fallen. Sofern ein bestehendes Dieselaggregat nur durch ein neues ersetzt wird, entstehen kaum Kosten für Planung, Installation und bauliche Vorkehrungen. Eine gegebenenfalls notwendige Erneuerung bestehender Genehmigungen für die Altanlage (z.B. TA-Luft, TA-Lärm) erzeugt gegebenenfalls entsprechenden administrativen Aufwand.

Bei Neuinstallationen entstehen dagegen Kosten für Einhausung bzw. Aufstellraum, Abgasanlage, Kraftstoffauffangwanne und andere Vorkehrungen. Insbesondere bei kleinen und mittleren Leistungen kann die Brennstoffzelle aufgrund ihrer Kompaktheit eine sehr attraktive Alternative zum Dieselaggregat sein. Beispielsweise sind aufstellfertige Brennstoffzellensysteme in Outdoorcabinets erhältlich.

Dieselbetriebene Stromgeneratoren im Leistungsbereich bis 20 kW werden typischerweise für 800 bis 1.000 €/kW angeboten (netto, exklusive Zubehör, Installation und bauliche Vorkehrungen am Aufstellungsort)⁷. Zusammen mit Zubehör und Systemtechnik ist je nach Anwendung und Ausführung mit einem Systempreis (netto) von 1.500 bis 3.000 €/kW zu rechnen, Planung, Installation und bauliche Vorkehrungen noch nicht eingeschlossen. Rechnet man diese mit ein, sind Gesamtanschaffungskosten für eine Diesel-NEA bis 5 kW von etwa 20.000 € nicht unüblich.

Im Leistungsbereich von 20 bis 100 kW verringert sich mit wachsender Systemleistung der Kostenanteil von Zubehör und Systemtechnik. Der leistungsspezifische Preis sinkt typischerweise auf etwa 500 bis 1.500 €/kW (Systempreis netto, exklusive Planung, Installation und bauliche Vorkehrungen am Aufstellungsort).

Konventionelle NEA im innereuropäischen Vergleich

Die wenigen großen Hersteller bieten ihre Produkte in den meisten europäischen Märkten an, und veröffentlichen zum Teil auch Listenpreise. Generell sollten die Anlagenpreise in den verschiedenen Märkten vergleichbar sein, allerdings bestehen unterschiedliche Vertriebsnetze und somit sind auch gewisse Preisunterschiede bei Standardprodukten zu erwarten. Von Branchenkennern wurde auf traditionell höheren Preisdruck in osteuropäischen Märkten hingewiesen. Exemplarisch wurden daher für den polnischen Markt Preise recherchiert, welche in der Tat zum Teil bis etwa 10% unter den Preisen im deutschen Markt für identische Produkte lagen. Inwieweit dies auf Wechselkurschwankungen, geringere Margen seitens der Hersteller oder des örtlichen Vertriebsnetzes zurückzuführen ist, konnte im Rahmen dieser Studie nicht näher untersucht werden. Für die Gesamtanschaffungskosten, in denen die Preise für die Dieselaggregate allein nur einen Teil ausmachen, kann erwartet werden, dass sich lokale Unterschiede bei Installations- und Projektierungskosten aufgrund unterschiedlicher Lohnkosten noch spürbarer auswirken als Unterschiede bei den Listenpreisen der Aggregate.

7.4 Wettbewerbsfähigkeit Brennstoffzelle

Für wasserstoffbetriebene Brennstoffzellensysteme der 5 kW Klasse wird seitens der Industrie bis 2020 ein Kostenziel⁸ angestrebt, das an das Preisniveau für konventionelle Dieselaggregate herankommt. In vielen Anwendungsfällen werden Dieselaggregate allerdings um den Faktor 2 bis 3 überdimensioniert, um die benötigten Anlaufströme im Umschaltmoment liefern zu können. Ein Brennstoffzellensystem kann dagegen in der Regel auf die benötigte Nennlast der Verbraucher ausgelegt werden. In vielen Anwendungsfällen kann also auf eine Überdimensionierung verzichtet werden, und, sofern die angestrebten Kostenziele realisiert werden, können Brennstoffzellen-

⁷ Quelle zu Preisinformationen: E4tech Recherchen, online verfügbare Preisinformationen

⁸ Quelle: Maßnahmenkatalog zur Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Stand 21.09.2015) – Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung unveröffentlicht.

systeme dann nicht nur auf Kostenbasis, sondern auch preislich (also inkl. Herstellermarge) mit Diesel-NEA konkurrieren.

Neben den Anschaffungskosten sind eine Reihe von betrieblichen Eigenschaften und Kosten ebenfalls in einen Vergleich zwischen Brennstoffzellen und Dieselaggregaten einzubeziehen, was je nach Anwendung zu unterschiedlicher Eignung der Technologien führen kann. Ein qualitativer Vergleich der Vor- und Nachteile der jeweiligen Lösung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Vorteile Brennstoffzelle • Geringe Wartungskosten durch programmierbare automatische Selbsttests ohne Servicekosten • Platzsparend und Innenraumaufstellung möglich • Modulare Konstruktionen verfügbar – einfache Erweiterung bei Bedarf • Diversität bei Kraftstoffen • Temperaturresistent • Geräuscharmer Betrieb • Hoher Gesamtwirkungsgrad • Keine Emission von Luftschadstoffen und CO₂ vor Ort	Nachteile Dieselgeneratoren • Hoher Wartungsaufwand falls hohe Verfügbarkeit erreicht werden muss • Bauliche Anforderungen an Aufstellort (Abgasanlage, Tanksicherheit) • Hoher Aufwand bei Versetzung einer Anlage an anderen Standort • Kapazität kann nicht angepasst werden • Kälteanfälligkeit • Eingeschränkte Lagerfähigkeit von Diesel erfordert zusätzliche Maßnahmen • Geräuschemissionen • Niedriger elektrischer Wirkungsgrad • Ausstoß von Luftschadstoffen und CO₂
Nachteile Brennstoffzelle • Neue Technik mit noch geringer Langzeiterfahrung in der Praxis • Anwender abhängig von wenigen Anbietern mit jeweils spezifischen Designs • Langfristige Verfügbarkeit von Service und Ersatzteilen wird teilweise noch als Unsicherheit wahrgenommen • Tausch von Wasserstoffflaschen erfordert geschultes Personal oder Servicevertrag mit Gase-Lieferanten • Bei kleinen Abnahmemengen sind hohe Preise für Wasserstoff nicht unüblich	Vorteile Dieselgeneratoren • Bekannte und etablierte Technik • Wettbewerb und hohe Qualität am Markt • Hohe Verfügbarkeit von Ersatzteilen • Wartung und Instandhaltung durch viele, auch herstellerunabhängige Firmen möglich • Einfache Kraftstofflogistik- und Handhabung

Tabelle 1: Vergleich der Vor- und Nachteile von Brennstoffzelle und Dieselgenerator. Basierend auf [14], ergänzt durch E4tech.

8 Status und Trends bei Batterietechnologien

Angetrieben durch die steigenden Bedürfnisse der Elektronik- und Fahrzeugbranche kennt die Batterieindustrie derzeit eine Welle an Entwicklungen, die auch die Wettbewerbsfähigkeit von Batterien in stationären Anwendungen verbessern könnte.

In Anwendungen, bei denen Reaktivität wichtig ist (USV), und die Überbrückungszeit relativ gering ist (<8 h), sind Batterien aktuell Stand der Technik für NEA. Die Rolle von Batterien in Umspannwerken, Rechenzentren und Telekommunikationsanwendungen werden in den jeweiligen Unterkapiteln in Kapitel 0 näher beleuchtet.

8.1 Batterietypen

Da verschiedene Batterietypen und Untertypen sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, ist es im Rahmen einer Diskussion über die Wettbewerbsfähigkeit von Batterien unabdinglich auf die einzelnen Batterietypen einzugehen. Tabelle 2 gibt einen Überblick der wesentlichen Eigenschaften.

	Bleibatterien	NiCd	NiMH	Li-Ion
Energiedichte (Wh/kg)	30-50	50-75	40-80	75-200
Energiedichte (Wh/l)	30-80	60-150	80-350	200-400
Leistungsdichte (W/kg)	75-300	150-300	200-1.400	150-315
Lebensdauer (Zyklen, 80% Entladung)	100-2.000	800-3.500	500-2.000	1.000-10.000
Wirkungsgrad (%)	70-90	60-80	70-80	85-98

Tabelle 2: Übersicht über die Eigenschaften verschiedener Batterietechnologien (Quelle [15])

8.1.1 Bleibatterien

Bleibatterien sind heute immer noch einer der am weitesten verbreiteten Batterietypen. Diese Technologie ist seit vielen Jahren in den verschiedensten Bereichen im Einsatz und gilt als sehr erprobt. Bleibatterien gelten als günstig und relativ langlebig, haben aber den Nachteil einer im Vergleich zu anderen Technologie geringen Energiedichte, sowohl auf Masse als auch auf Volumenbasis bezogen.

Man unterscheidet im Allgemeinen zwischen geschlossenen und verschlossenen Bleibatterien. Geschlossene Batterien erfordern etwas mehr Wartung, da sie einen wasserbasierten Elektrolyten, der regelmäßig nachgefüllt werden muss, besitzen. Diese Bauweise erlaubt es allerdings auch sehr leicht Rückschlüsse über den Ladungszustand und den Alterungszustand der Batterie zu ziehen.

Verschlossene Batterien müssen nicht nachgefüllt werden, und sind entsprechend weniger wartungsintensiv, sind aber im Allgemeinen etwas weniger langlebig. Die Lebensdauer von Bleiakkus ist wie folgt spezifiziert [9]:

- 3-5 Jahre: Standard Commercial
- 6-9 Jahre: General Purpose
- 10-12 Jahre: High Performance
- 12 Jahr und länger: Longlife

Obwohl andere Batterietechnologien den Bleibatterien in vielerlei Hinsicht leistungsmäßig überlegen sind, werden diese, vor allem wegen ihres Kostenvorteils, nach wie vor weitläufig verbaut. Pro Kilowattstunde schlagen Bleibatterien inklusive Montage und Elektronik je nach Leistungsfähigkeit und Lebensdauer mit etwa 150 bis 300 Euro zu Buche. Diese Kosten können allerdings bei hohen Anforderungen auch deutlich höher liegen.

Ein weiterer Vorteil ist, dass diese Technologie bereits seit vielen Jahren im Einsatz ist, und somit zufriedenstellend viele Erfahrungswerte verfügbar sind. Dies ist vor allem bei Anwendungen relevant, bei denen die Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen die Betreiber dazu drängen eher konservative Technologieentscheidungen zu treffen.

Neben der Temperaturempfindlichkeit und geringer Zyklenfestigkeit (häufiges Be- und Entladen), sind die wichtigsten Nachteile von Bleibatterien ihre geringe Energiedichte (ca. 30–50 Wh/kg), und somit der hohe Platzbedarf von Batteriebänken. Dadurch, dass Leistung und Energie bei Bleibatterien, wie bei den meisten Batterien, nicht voneinander abgekoppelt werden können, sind Bleibatterien für Überbrückungszeiten von mehr als einigen Stunden eher ungeeignet, da dies zu einer starken leistungsmäßigen und damit auch kostenmäßigen Überdimensionierung führen würde. Ein weiterer einschränkender Faktor bei Bleibatterien ist, dass sie in der Regel nicht tiefentladen werden können. Eine maximale Entladetiefe von ca. 50% führt dazu, dass Batterieanlagen in der Regel sehr groß dimensioniert werden müssen.

8.1.2 Nickel Cadmium (NiCd) und Nickel Metall Hydrid (NiMH) Batterien

Alternativ zu Bleibatterien werden für NEA Anwendungen zum Teil auch Nickel basierte Batterien eingebaut. Neben ihrer Eignung für einen weiten Temperaturbereich, haben diese den Vorteil einer im Vergleich höheren Leistungs- und Energiedichte, sowie einer langen Lebensdauer. NiCd Batterien haben eine spezifische Energiedichte von 50-75 Wh/kg und können eine Lebensdauer von über 20 Jahren erreichen.

Wegen der Giftigkeit von Cadmium wurde die Nutzung von NiCd Batterien durch das Batteriegesetz (BattG), welches die EU Richtlinie 2006/66/EG umsetzt, jedoch stark eingeschränkt. Batterien mit einem Cadmiumgehalt von mehr als 0.002 Gewichtsprozenten dürfen nur noch für Not- und Alarmsysteme einschließlich Notbeleuchtung und für medizinische Geräte eingesetzt werden.

Nickel Batterien sind in der Regel etwas teurer in der Anschaffung als Bleibatterien. Die Wartungskosten sind tendenziell geringer (kein Nachfüllvorgang notwendig) und die Lebensdauer ist etwas höher.

8.1.3 Lithium-Ionen Batterien

Lithium-Ionen Batterien sind sicherlich die Kategorie, die das derzeitige Interesse an Batterietechnologien am stärksten antreibt. Sie gelten als leistungsfähiger als Blei- oder Nickelbatterien, aber auch als teurer.

Lithium-Ionen Batterien stellen eine breit aufgestellte Technologiefamilie dar, die eine große Palette an Eigenschaften abdeckt. So sind Lithium-Eisen-Phosphat Batterien für hohe Leistungsdichten geeignet, haben aber eine relativ zu anderen Li-Ionen Batterien geringe Energiedichte von 75-200 Wh/kg. Lithium-Kobalt Batterien sind mit ihrer Energiedichte von bis zu 220 Wh/kg für Anwendungen mit hohen Leistungsanforderungen gut geeignet, haben aber nur eine Lebensdauer von 500–1.000 Zyklen. Lithium-Titanat Batterien wiederum haben eine sehr lange Lebensdauer von bis zu 7.000 Zyklen, aber nur eine Energiedichte von ca. 70–80 kWh/kg.

Für eine Mehrzahl der NEA Anwendungen, wo die Energiedichte als sonst üblicher Hauptvorteil von Li-Ionen Batterien weniger wichtig ist, ist der Kostennachteil dieser Technologie derzeit noch zu groß, um eine zentrale Rolle zu spielen. Mit weiter sinkenden Kosten könnten Li-Ionen Batterien allerdings ausgehend von Nischenanwendungen, bei denen viel Energie auf wenig Raum untergebracht werden muss (z.B. Rechenzentren) als NEA-Komponenten Einzug halten.

Von Branchenkennern war im Laufe der Recherche zu erfahren, dass Li-Ionen Batterien zum Teil bereits zu Preisen von ca. 300 €/kWh (Systemkosten) angeboten werden. Damit wären solche Batterien bereits heute im Vergleich zu Bleibatterien auch auf Kostenbasis fast konkurrenzfähig, und würden für stationäre NEA Anwendungen zu einer interessanten Alternative.

Neben dem technischen Fortschritt der letzten Jahre führt aber wahrscheinlich auch eine derzeitige deutliche Überkapazität für die Produktion von Li-Ionen Batterien zu solchen Marktpreisen. Weltweit wurde in Erwartung eines Nachfragesprungs durch die Einführung von Elektrofahrzeugen Kapazität für die Produktion von Li-Ionen Batterien aufgebaut, welche derzeit nicht ausgelastet ist (in der EU z.B. nur zu 20%) [16].

8.1.4 Weitere Technologien

Im Zusammenhang mit dem aktuellen allgemeinen Interesse an Batterietechnologien ist die Forschung auf diesem Gebiet zurzeit besonders aktiv, und zahlreiche Durchbrüche zu neuen Konzepten werden medienwirksam angekündigt. Oft werden Verbesserungen um ganze Größenordnungen bei Schlüsseleigenschaften, wie Energiedichte, Lebensdauer oder Kosten in Aussicht gestellt. Diese Forschungsergebnisse sind aber in den meisten Fällen im frühen Entwicklungsstadium einzuordnen und die genannten Kennzahlen beziehen sich auf theoretische Werte. Es wird erwartet, dass die Umsetzung dieser Ergebnisse auf praktisch umsetzbare kommerzielle Produkte über 10 Jahre in Anspruch nehmen wird, und dass die Kennwertverbesserungen in einem praktisch umsetzbaren Produkt viel geringer ausfallen werden, als die im Labor erzielten, oder modellierten Werte.

Selbst Konzepte wie Lithium-Schwefel Batterien, welche bereits seit Jahren erforscht werden, und näher an einer praktischen Umsetzung sind, werden in aller Wahrscheinlichkeit zuerst für Nischenanwendungen eingesetzt werden, und vorläufig wenig Vorteile für Anwendungen in Massenmärkten bieten.

Batterien für NEA haben in den meisten Fällen keine besonders hohen Leistungsanforderungen, beispielsweise im Vergleich zu Hochleistungsanwendungen in Hybridfahrzeugen. Demnach profitieren sie vergleichsweise wenig von Erhöhungen der Leistungsfähigkeit von Batterien im Vergleich zum aktuellen Stand der Technik. Ausschlaggebend sind bei NEA Batterien vor allem die Kosten. Hierbei wird erwartet, dass die Kosten, vor allem für Li-Ionen Batterien in den kommenden Jahren vor allem durch Skaleneffekt gesenkt werden können. Allem voran ein möglicher starker Anstieg der Anzahl an Elektrofahrzeugen könnte hier zu einer signifikanten Erhöhung der weltweiten Batterieproduktion führen. Experten erwarten, dass die Effizienzgewinne entlang der gesamten Wertschöpfungskette, sowie stetige Fortschritte in der Batterietechnologie die Kosten für Li-Ionen Zellen von heute ungefähr 300–1.000 €/kWh in den nächsten 10 Jahren auf etwa 150–200 €/kWh senken werden.

8.2 Ausblick zu Batterietechnologien

Angetrieben durch neue Bedürfnisse des Automobil- und Elektroniksektors durchläuft die Batterieindustrie derzeit eine sehr aktive Entwicklungsphase. Vor allem im Bereich der Lithium-Ionen Batterien führen technische Entwicklungen, aber auch eine deutliche Erhöhung der Produktionszahlen zu deutlichen Kostensenkungen und Leistungssteigerungen. Experten erwarten, dass die

Kosten für Li-Ionen Zellen auf ca. 150–200 €/kWh fallen können. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass dieser Wert sich auf relativ leistungsschwache günstige Li-Ionen Zellen bezieht.

Es ist zu erwarten, dass diese Werte vor allem durch stetige Verbesserungen und Skaleneffekte erreicht werden und weniger durch technologische Durchbrüche. Die Entwicklung im Batteriebereich wird vor allen Dingen durch die Bedürfnisse des Automobilsektors vorangetrieben, so dass die Auswirkungen auf stationäre Anwendungen eher als Nebenprodukt anzusehen sind.

Fundamental neue Technologie, wie Li-Sauerstoff Batterien haben das theoretische Potenzial deutliche Leistungs- und Kostenverbesserungen hervorzurufen, jedoch ist die Kommerzialisierung solch neuer Konzepte, die sich in einem sehr frühen Entwicklungsstadium befinden, nicht in den kommenden 10 bis 15 Jahren zu erwarten.

Li-Ionen Batterien hingegen haben das Potenzial Bleibatterien in verschiedenen Anwendungen zu verdrängen. Dadurch, dass Li-Ionen Batterien in zahlreichen Anwendungen im Einsatz sind, gibt es im Vergleich zu Brennstoffzellen mehr Erfahrungswerte, die es erleichtern werden Zuverlässigkeits- und Sicherheitsaspekte nachzuweisen.

Gebrauchte Li-Ionen Batterien, welche nicht mehr leistungsfähig genug sind um in Fahrzeugen eingesetzt zu werden, aber noch genügend Leistung besitzen um in stationären Anwendungen sinnvoll genutzt zu werden, könnten für NEA Anwendungen auch eine interessante Alternative zu Bleibatterien darstellen. Diese sogenannten „Second-Life Batterien“ werden derzeit in Pilotprojekten erprobt und könnten sich als kostengünstige Alternative im Batteriesegment etablieren. Die Kosten für solche Batterien sind derzeit schwer abzuschätzen, aber eine Studie des amerikanischen National Renewable Energy Laboratory (NREL) nennt je nach Zustand und Neupreis eine Spanne von 44–180 USD/kWh für Second Life Batterien [17].

Diese Trends weisen darauf hin, dass Batterien in Zukunft wahrscheinlich eine größere Rolle im Markt für NEA spielen werden als heute. Li-Ionen Batterien können über ein weiteres Leistungsspektrum als Bleibatterien betrieben werden, und können auf gleichem Raum etwa zwei bis drei Mal so viel Energie speichern. Der Kostennachteil auf Kilowattstundenbasis sollte sich in den nächsten 10 Jahren stark verringern, und die höhere mögliche Zahl an Ladungszyklen sowie die höhere mögliche Entladungstiefe können je nach Anwendungsfall die Balance der Gesamtkosten weiter Richtung Li-Ionen Batterien verschieben.

Diese Entwicklung könnte die potenzielle Nische von Brennstoffzellen zwischen Batterien einerseits, sowie Dieselaggregaten andererseits weiter verringern, da Batterien für längere Überbrückungszeit genutzt werden könnten. Dazu ist aber anzumerken, dass es aus wirtschaftlichen Gründen auch in Zukunft unwahrscheinlich ist, dass Batterien für Überbrückungszeiten von mehr als 1 bis 3 Tagen genutzt werden (siehe auch Kapitel 7).

9 Ausgewählte Anwendungen im Detail

Im Folgenden werden konkrete Anwendungen näher betrachtet, die in Absprache mit der NOW GmbH (Projektauftraggeber) ausgewählt wurden. Ein Überblick über die wesentlichen Ergebnisse ist in Tabelle 3 zusammengefasst.

Anwendung	NEA Anforderungen an Betreiber	Marktpotenzial NEA bis 2020 (Deutschland)	Eignung Brennstoffzellensysteme	Markchancen für Brennstoffzellen
Notstrom für BOS-Funk Basisstationen	Netzbetreiber müssen ausreichend NEA vorsehen um Kernnetz abzusichern (mindestens ca. 1.300 Basisstationen)	Bis zu tausend Anlagen (bis 5 kW)	Sehr gut, da Neuinstallations geschäft	Gut sofern Brennstoffzellensysteme ausgeschrieben werden
Telekommunikationsinfrastruktur	Betreiber müssen geeignete Absicherung gegen Stromausfall vorsehen (TKG)	Derzeit etwa 300 NEA bis 100 kW, Anzahl eher rückläufig	Sehr gut bei neuen Standorten	In Deutschland vorerst gering, da derzeit kaum neue NEA errichtet werden
Bahninfrastruktur, speziell Stellwerke	Anforderungen an NEA im Streckennetz werden durch die Bahn definiert	Maximal 2.000 NEA, jeweils 10-100 kW	Gegenüber Diesel NEA gute Eignung	Marktzugang aufgrund sektorenspezifischer Strukturen und technischer Alternativen (Fahrleitung als Back-up) schwierig
Stromnetzbetrieb	NEA in Verantwortung der Netzbetreiber, getrieben durch Zuverlässigkeitsanforderungen	Bis zu 1.000 neue NEA um Überbrückungsdauern im Transportnetz auszuweiten. Weitere Installationen in niedrigeren Netzebenen möglich	Gute Eignung um Vorhaltezeiten zu verlängern (meist in Ergänzung, nicht als Ersatz von Batteriebänken)	Brennstoffzelle kann von der Umstellung auf längere Überbrückungszeiten profitieren, muss sich aber in einem sehr konservativen Sektor durchsetzen
Rechenzentren	NEA Bedarf je nach Verfügbarkeitsklasse in der das Rechenzentrum arbeitet bzw. Services anbietet	ca. 500 Anlagen in Deutschland	Insbesondere bei kleinen Leistungen und späteren Nachrüstungen Vorteile gegenüber Diesel NEA	Gute Chancen, sofern IT Infrastruktur kleinerer Leistungen (<50 kW) vermehrt NEA anschaffen bzw. die Brennstoffzelle als Lösung für kleinere Leistungen bekannter wird
Straßen-Wetterstationen	Für netzferne Standorte wird NEA zwingend benötigt; netzgebundene Anlagen in der Regel ohne NEA.	Bis zu 1.000 neue Anlagen ~50 W	Gute Eignung sofern lange Autonomiezeiten realisiert werden können	Nur wenige Standorte müssen netzfern versorgt werden, wobei dann PV+Batterie starke Konkurrenz darstellen

Tabelle 3: Überblick zu Marktpotenzial für Deutschland in den betrachteten Anwendungen

9.1 BOS-Funk

Situation in Deutschland

In Deutschland wurde in den vergangenen Jahren ein TETRA⁹ basiertes Funknetz für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) aufgebaut. Es sind deutschlandweit ca. 4.300 Basisstationen in Betrieb, die ursprünglich mit jeweils 2-stündiger Notstromversorgung auf Batteriebasis ausgestattet wurden.

Zudem besteht das Netz aus 64 Kernnetzstandorten (Netzknoten), die bereits mit stationären Dieselaggregaten ausgestattet sind, und über 48 Stunden Kraftstoffbevorratung verfügen.

Der Spitzenleistungsbedarf der Basisstationen, inkl. angeschlossener Heizungs- und Klimatechnik bewegt sich im Bereich 3 bis 5,5 kW. Die tatsächliche Leistungsaufnahme ist abhängig vom Verkehrsvolumen und kann geringere Werte annehmen. Der durchschnittliche jährliche Stromverbrauch einer Basisstation beträgt allgemein zwischen 3.800 und 6.000 kWh [18]. Die Hauptstromverbraucher sind Funktechnik, Netzkomponenten, Klimatechnik, Alarmsysteme, und Beleuchtung [14].

Die Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) koordiniert die derzeitige Netzhärtung, die sich noch über einige Jahre hinziehen wird. Grundsätzlich liegt die Zuständigkeit für die aufzubauende Notstromversorgung allerdings bei den Ländern. Netzhärtung bezieht sich hier nicht nur auf die Energieversorgung, sondern schließt auch andere Aspekte, die das Netz zuverlässiger machen, ein, die aber im Kontext dieser Studie nicht relevant sind.

Das Marktpotenzial für NEA im Rahmen der Netzhärtung beträgt in etwa 30% der 4.300 Standorte. Ein Teil dieses Potenzials ist allerdings bereits ausgeschöpft: Brandenburg, Baden Württemberg, Nordrheinwestfalen und Bayern haben bereits NEA angeschafft oder schreiben diese derzeit aus. Die Beschaffung und Technologiewahl ist dabei den Länderbehörden überlassen.

Neben der Vorgabe zu 72 Stunden Überbrückungszeit werden den Länderbehörden derzeit keine detaillierten Vorgaben zur technischen Ausgestaltung gemacht. Die Überbrückungszeit, bzw. Bevorratungszeit für 72 Stunden hat sich auch aus praktischen Gründen als vorteilhaft erwiesen, um jeweils auch ein ganzes Wochenende bzw. Feiertage absichern zu können, und so mit Servicepartnern zu üblichen Werktagskonditionen und -preisen Ausfälle beheben zu können [19].

Ein Vorteil von stationären Lösungen gegenüber mobilen Aggregaten, wie sie zum Teil auch angeschafft werden, ist die sofortige Verfügbarkeit im Katastrophenfall bzw. bei witterungsbedingten Extremsituationen. Dabei müssen dann für das Heranschaffen der NEA keine Ressourcen in Anspruch genommen werden, die im Notfall anderweitig dringend gebraucht werden könnten.

⁹ Von engl. terrestrial trunked radio, ursprünglich Trans-European trunked radio. Ein Standard für digitalen Bündelfunk

Situation in Europa

Innerhalb Europas wurden in den vergangenen Jahren verschiedene BOS Funknetze errichtet oder ausgebaut. Abbildung 20 gibt einen Überblick über den Status in den meisten Ländern Anfang 2014. Zwischenzeitlich sind die auf der Karte als in Planung und im Aufbau dargestellten Projekte weiter fortgeschritten. In Deutschland ist das TETRA Netz weitgehend in Betrieb [20], Norwegen hat sein mehr als 2.100 Stationen umfassendes Netz im Dezember 2015 feierlich in Betrieb genommen [21]. Auch Luxembourg hat Mitte 2015 ein Netz von 75 Stationen in Betrieb genommen [22]. In Polen wurde Ende 2014, nach mehreren gescheiterten Anläufen in den Jahren zuvor, ein Auftrag zur Errichtung von 600 Basisstationen vergeben [23]. Dies ist als erste Phase zu sehen, nachdem ursprünglich etwa 1.700 Basisstationen geplant waren. Standardmäßig verfügt die eingesetzte Technik in Polen über eine Stunde Notstrom mittels integrierter Batterie [24]. Inwieweit zusätzliche Notstromversorgung an ausgewählten Standorten vorgesehen ist, konnte im Rahmen der Studie nicht ausfindig gemacht werden.

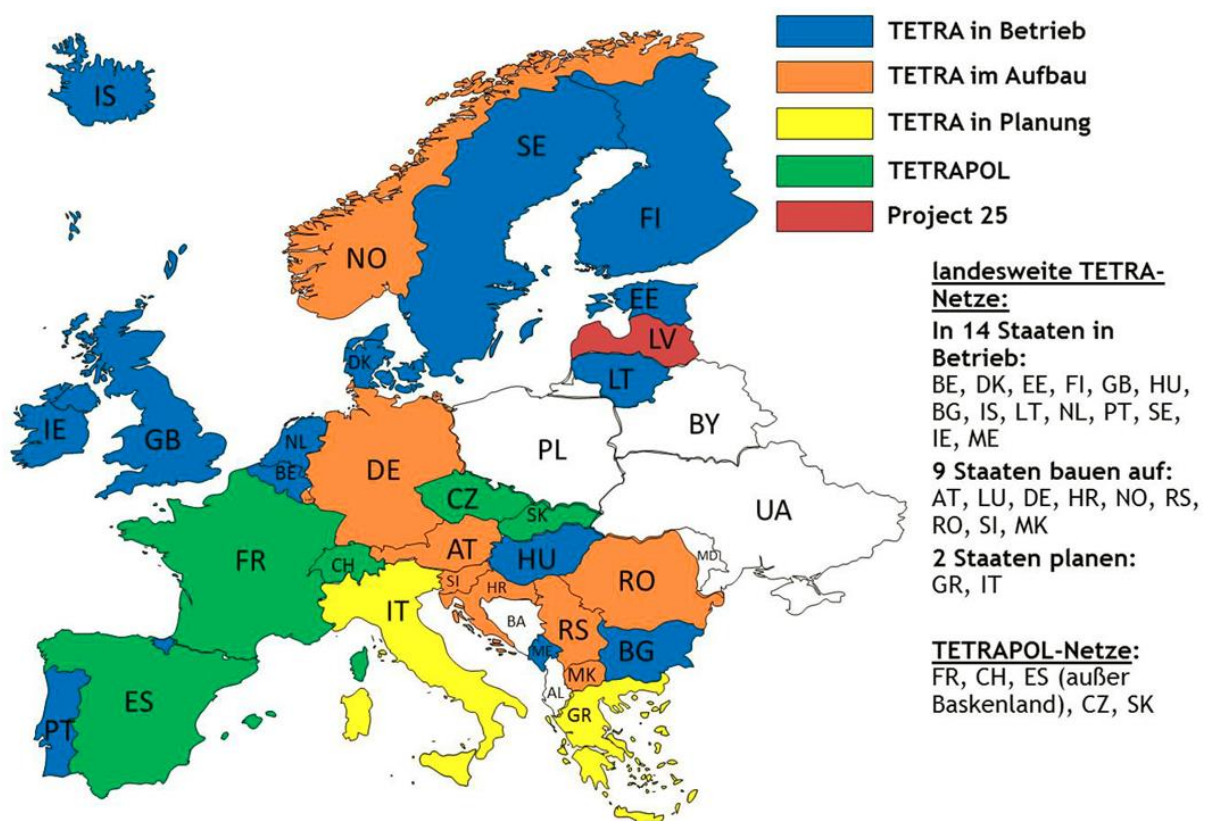


Abbildung 20: Status von BOS Funknetzen in Europa, Stand Februar 2014, Länderbezeichnung nach ISO 3136 (Quelle [25])

Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und TETRA-Netz

Vergleicht man die TETRA-Netze in den verschiedenen Ländern (Tabelle 4), so zeigt sich, dass weniger dicht besiedelte Regionen mit weniger Basisstationen pro Fläche auskommen (z.B. Finnland mit 250 km² pro Basisstation) als dicht besiedelte Länder (z.B. Niederlande mit 80 km² pro Basisstation). Zugleich haben die dünn besiedelten Flächenstaaten (Finnland, Schweden, Norwegen) deutlich weniger Einwohner pro Basisstation als wie beispielsweise Deutschland. Aufbau und Betrieb der

Netze ist in den nordeuropäischen Ländern aufgrund der größeren Fläche folglich tendenziell kostspieliger (pro Kopf bzw. relativ zur Wirtschaftsleistung) als in Zentral- und Westeuropa.

Land	Fläche (km ²)	Bevölkerung (Mio)	Bevölkerungs- dichte (Einw./km ²)	Anzahl Basis- station	Einwohner je Basis- station	Fläche pro Basisstation (km ²)
Deutschland	357.000	82	230	4.400	18.600	81
Niederlande	41.000	16,8	404	510	33.000	80
Dänemark	43.000	5,5	128	500	11.000	86
Belgien	31.000	10,4	335	580	18.000	53
Norwegen	324.000	5	15,6	2.100	2.400	154
Finnland	338.000	5,4	16	1.350	4.000	250
Schweden	449.000	9	20	1.800	5.000	249
Frankreich	549.000	65	118	1.900	34.200	289
Vereinigtes Königreich	244.000	61	250	3.500	17.400	70
Polen	313.000	38,5	123	600 (1.700)	64.200 (22.647)	522 (184)
Luxemburg	2.600	0,6	218	75	7.500	35

Tabelle 4: Vergleich zwischen Anzahl der TETRA Basisstationen und länderspezifischen Kriterien
(Quelle [26]; für Polen: Eigene Recherchen – Werte in Klammern für ursprüngliche Planung)

Notstromversorgung für Basisstationen in verschiedenen europäischen Ländern

Basisstationen für den BOS-Funk sind in der Regel standardmäßig mit einer Batterie als Notstromlösung für zumindest 30 Minuten, oft auch für mehrere Stunden, ausgestattet. Üblicherweise verfügt eine bestimmte Anzahl an Kernstandorten über zusätzliche Notstromversorgung für längere Zeiträume. Für fünf europäische Länder sind die Anteile und Überbrückungsdauern in Tabelle 5 aufgeführt. Zusammengefasst wurden in diesen Ländern etwa 3.000 Netzersatzanlagen mit Dieselaggregaten oder Brennstoffzellen installiert.

Üblicherweise werden für die erweiterte Notstromversorgung, über die Batteriepuffer hinaus, Dieselaggregate eingesetzt (stationär oder mobil). Eine Ausnahme stellt Dänemark dar, das eine Vorreiterrolle bei der Ausstattung von Basisstationen mit Brennstoffzellen eingenommen hat. Hier wurden nach 2009 etwas über 120 Basisstationen mit Brennstoffzellen ausgestattet, die seit über fünf Jahren in Betrieb sind [27].

Land	Anzahl Basisstationen (ca.)	Minimale Notstromversorgung	Erweiterte Notstromversorgung für Kernstandorte
Norwegen	2.100	8 Stunden an 85% der Basisstationen	48 Stunden an 15% der Basisstationen
Schweden	1.800	24 Stunden an 52% der Standorte	7 Tage an 48% der Standorte
Dänemark	800	4 Stunden an 72% der Standorte	28% der Standorte mit Brennstoffzellen und Wasserstoffbevorratung
Finnland	1.350	6 Stunden an allen Standorten	Zusätzlich Stromerzeuger an 200 Standorten
Vereinigtes Königreich	3.500	6 Stunden an 60% der Standorte	5-7 Tage an 40% der Standorte

Tabelle 5: Notstromversorgung in ausgewählten europäischen BOS Netzwerken. Quelle [26]

Ausblick zu Marktpotenzialen für Brennstoffzellen

Zum einen eröffnete der Aufbau der BOS-Funknetze ein neues Marktsegment für Netzersatzanlagen indem hier nicht bereits bestehende NEA erneuert wurden, sondern komplett neu geplant und gebaut wurde. Insbesondere für neue Technologien wie die Brennstoffzelle war bzw. ist es möglich hier gleich in größeren Stückzahlen Anlagen in den Markt zu bringen, indem Funknetzbetreiber ihre gesamte NEA Flotte als Brennstoffzellen ausführen (Beispiel Dänemark und Bundesland Brandenburg). Im Rahmen der Netzhärtung in Deutschland werden noch einige Bundesländer NEA ausschreiben, und in Europa insgesamt kann über die nächsten Jahre noch mit einigen tausend zusätzlichen NEA zur Absicherung des BOS-Funknetzes gerechnet werden (unter der Annahme, dass jeweils nur ein Kernnetz gegen längere Stromausfälle abgesichert wird, in der Regel rund ein Drittel der Basisstationen).

9.2 Telekommunikationsinfrastruktur

Öffentliches Telekommunikationsnetz in Deutschland

Das Telekommunikationsgesetz (TKG §109) verlangt von Betreibern und Dienstleistern öffentlicher Telekommunikationsnetze „angemessene technische Vorkehrungen und sonstige Maßnahmen [...] zum Schutz gegen Störungen, die zu erheblichen Beeinträchtigungen von Telekommunikationsnetzen und -diensten führen, auch soweit sie durch äußere Angriffe und Einwirkungen von Katastrophen bedingt sein können [...]“ vorzusehen. Im Detail ist jedoch nicht geregelt wie diese Absicherung konkret auszugestalten ist. In der Praxis werden die höheren Hierarchieebenen im Netz, d.h. Kernstandorte (ursprünglich Fernvermittlungsstellen genannt) für mindestens 48 Stunden Überbrückungszeit ausgestattet.

Im Bereich der Festnetztelekommunikation werden in Deutschland derzeit ca. 1.600 NEA betrieben [28], üblicherweise mit stationären Dieselaggregaten. In Deutschland ist derzeit die Umstellung auf ein reines IP-Telefonienetz im Gange. Im Zuge des damit einhergehenden Infrastrukturumbaus werden zum einen Standorte rückgebaut oder umfunktioniert werden, und zum anderen eine neue

Netzebene, die endkundennahen Übergabepunkte eingezogen werden (üblicherweise werden dafür bereits bestehende Outdoorcabinets genutzt). Insgesamt zeichnet sich ab, dass die Entwicklung zu vorläufig zu einem abnehmenden Bedarf an NEA führen wird. Die verschiedenen Netzebenen sind für Deutschland in Tabelle 6 vereinfacht dargestellt:

Hierarchieebene	Standorte	Notstromversorgung	Absehbare Entwicklungen
Fernvermittlungsstellen (Netzknotenpunkte, bzw. Kernstandorte)	1.000 bis 1.500 – davon einige für Mobilfunknetze; Leistung bis etwa 1,5 MW; etwa ein Drittel der Standorte unter 100 kW	48 Stunden bis zu mehrere Tage, in der Regel mit Dieselaggregaten	Anzahl Standorte gleichbleibend
Ortsvermittlungsstellen	Ca. 8.000 Standorte (zum Teil kombiniert mit Aggregationsstandorten)	5 Stunden, mit Bleibatterie. Zukünftig ggf. auch mit Li-Ion Batterien.	Anzahl Standorte tendenziell rückläufig
Übergabepunkte (neue Netzebene, nah am Endkunden)	Zukünftig über 100.000	Bislang keine NSV vorgesehen	Zubau, bzw. Umnutzung bestehender Standorte allerdings ohne NEA

Tabelle 6: Überblick über Netzersatzanlagen in der Festnetztelekommunikation in Deutschland

Brennstoffzellen werden bereits an einigen Netzknotenpunkten erfolgreich eingesetzt, und können laut Aussage von Anwendern in den Gesamtkosten (inkl. Wartung) über die Lebensdauer gesehen bereits mit konventionellen Diesellösungen konkurrieren. Aus Perspektive des Portfoliomanagements bedarf der Einsatz einer neuartigen Technologie jedoch noch Überzeugungsarbeit. Insbesondere da unterschiedliche Technik, Wartung, Schulung und Serviceverträge notwendig sind. Eine einheitliche Ausstattung aller Standorte ist in der Regel effizienter.

Mit Blick auf den zu erwartenden Rückgang der Anzahl der derzeit mit NEA ausgestatteten Standorte ist zudem kaum Wachstum bei den NEA in diesem Segment zu erwarten, sollten keine weiteren gesetzlichen Anforderungen dazu geschaffen werden.

Mobilfunkbereich

Für den Mobilfunkbereich werden in Deutschland geschätzt nicht mehr als 50 Aggregationsstandorte (Netzknotenpunkte zwischen den Basisstationen) betrieben, die auch eine NEA für üblicherweise 48 Stunden besitzen. Eine scharfe Unterscheidung hin zu den Netzknoten im Festnetzbereich ist dabei immer weniger möglich. Die knapp 75.000 Mobilfunkanlagenstandorte in Deutschland¹⁰ (Basisstationen) werden in der Regel nicht mit Netzersatzanlagen für längere Überbrückungszeiten ausgestattet. Aufgrund der hohen Dichte an Basisstationen ist aus Sicht der Netzbetreiber eine flächendeckende Notstromversorgung nicht notwendig, da bei Ausfall einiger Stationen, weiterhin

¹⁰ Die Bundesnetzagentur listet zum 1.11.2015 73,542 Funkstandorte (http://emf3.bundesnetzagentur.de/pdf/statistiken/12_Bundesland_%C3%9Cbersicht_Internet_20151101.pdf)

Netzabdeckung durch andere Standorte gegeben ist. An ausgewählten Standorten sind allerdings Batterielösungen für 20 Minuten bis wenige Stunden installiert um eine Grundverfügbarkeit des Funknetzes auch bei Stromausfall sicherzustellen – genaue Daten zur Anzahl und Überbrückungsdauer konnten im Rahmen der vorliegenden Studie nicht zusammengetragen werden. Bei einem großräumigen Stromausfall würde das Mobilfunknetz allerdings nach kurzer Zeit ausfallen [29]. Nachdem für den BOS-Funk ein eigenes Netz geschaffen wurde, steht aber im Katastrophenfall für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben eine separate Kommunikationsinfrastruktur zur Verfügung. Daher ist es eher unwahrscheinlich, dass der Gesetzgeber für den Mobilfunkbereich in naher Zukunft aus Vorsorgegründen konkretere Anforderungen an die Notstromversorgung stellen wird.

Nichtöffentliche Telekommunikationsnetze in Deutschland

Private, spezialisierte und nichtöffentliche Datennetze finden sich zum Beispiel im Bankenbereich (Zahlungsverkehrsnetze) oder im Forschungsbereich (Deutsches Forschungsnetz DFN). Auftraggeber, wie etwa der Bankenverband oder das Deutsche Forschungsnetz verlangen von ihren Dienstleistern, die das Netz zur Verfügung stellen bzw. betreiben, einen bestimmten Grad der Notstromversorgung.

Kommunikationsnetze des Bundes sind in der Regel für mindestens 48 Stunden mit Notstromversorgung bzw. NEA ausgestattet [29].

In diesen Bereichen sind derzeit keine Ausbaupläne der Notstromversorgung (NSV) bekannt, würden wohl aber auch nicht an die Öffentlichkeit dringen. Da eine NSV hier bereits besteht, ist der jährliche Markt für NEA in diesem Bereich auf kontinuierliche Anlagenerneuerung begrenzt. Obwohl keine konkreten Zahlen zu NEA in diesem Bereich vorliegen, ist für diese spezialisierten Netze nicht von einer Größenordnung an NEA wie im öffentlichen Netz auszugehen. Das jährliche Marktpotenzial ist somit als vernachlässigbar anzusehen.

Ausblick auf europäische Märkte

Die Telekommunikationsnetze sind innerhalb Europas insoweit vergleichbar, als dass sich die Infrastrukturanlagen grob mittels Bevölkerungszahl skalieren lassen. Unterschiede in Konzept und Notstromversorgung konnten im Rahmen dieser Studie nicht für einzelne Märkte in Erfahrung gebracht werden. Aus wirtschaftlichen Überlegungen ist aber naheliegend, dass die relative Anzahl der Standorte mit Notstromversorgungen in derselben Größenordnung jener in Deutschland liegt, zumal die Netzverfügbarkeit sich nicht dramatisch von der in Deutschland unterscheidet (siehe auch Kapitel 4.2.3) und im Katastrophenfall in den meisten europäischen Ländern ein separates BOS-Funknetz besteht.

9.3 Bahninfrastruktur

Eine Vielzahl von Anwendungen im Bereich der Bahninfrastruktur verfügt über NEA für kurze Zeiträume (bis einige Stunden), und zum Teil auch über NEA für längere Überbrückungszeiten. In Abbildung 21 sind Bereiche der Bahninfrastruktur herausgehoben, die generell (z.B. Stellwerke) und zum Teil (z.B. Personenbahnhöfe) mit NEA ausgestattet sind.

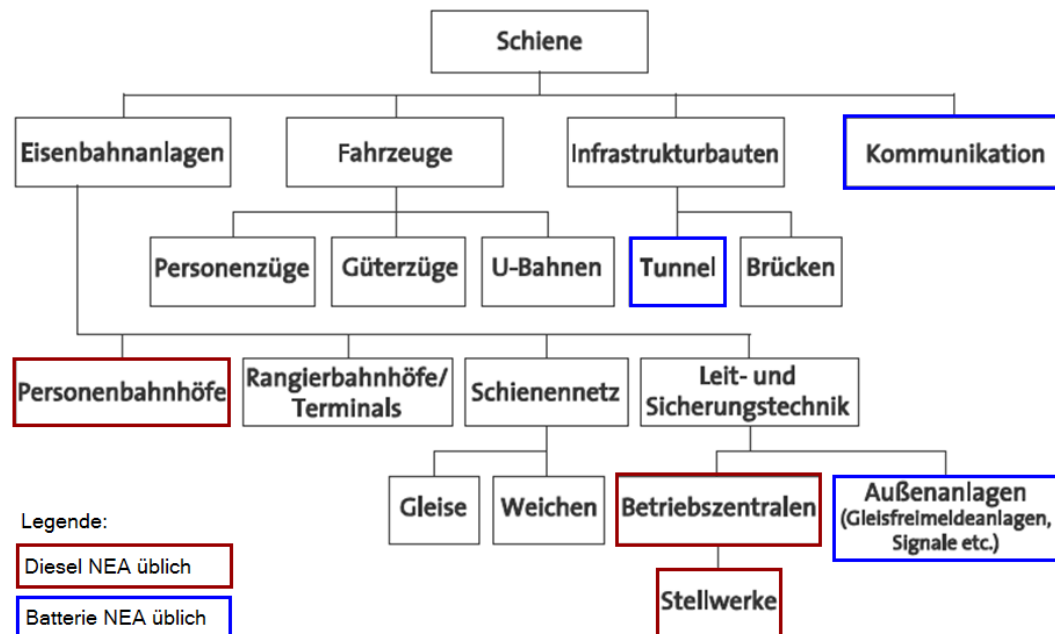


Abbildung 21: Struktur des Schienensektors, Bereiche mit NEA farblich hervorgehoben (E4tech Recherchen. Grafik basierend auf Quelle [29])

Zu Anzahl, Art und Leistung der eingesetzten NEA lagen keine zentral erfassten Informationen vor. Vielmehr wurden die folgenden Angaben durch Interviews mit Mitarbeitern der verschiedenen Teilbereiche der Bahn zusammengetragen. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Anzahl an NEA im Bahnbereich und deren übliche technische Ausführung.

Obwohl auch die Betriebszentralen, sowie einige Bahnhöfe, über NEA für längere Ausfallzeiten verfügen, sind rein zahlenmäßig die Stellwerke am interessantesten und werden im Folgenden näher betrachtet.

Anzahl und Leistung der NEA in Stellwerken

NEA für Stellwerke versorgen auch dazugehörige Signalanlagen, und manchmal auch Bahnhöfe mit Notstrom. Von den etwa 3.200 Stellwerken in Deutschland sind praktisch alle nicht-mechanischen Stellwerke (noch etwa 900 vorhanden) mit einer NEA ausgestattet. Je nach Größe des Stellwerks sind NEA Leistungen von 6 bis 100 kW typisch. Einige wenige Anlagen sind mit bis zu 2 MW starken NEA auch deutlich größer. Die Klimatisierung der Komponenten im Stellwerk nimmt einen gewichtigen Anteil am Leistungsbedarf ein.

Stellwerke werden in der Regel am öffentlichen 3-phasigen 50 Hz Netz betrieben, greifen also im Regelbetrieb nicht auf das 1-phasige 16²/₃ Hz Bahnstromnetz zurück. Stellwerke mit netzferner Stromversorgung im Regelbetrieb sind, wenn überhaupt, seltene Einzelfälle.

Teilbereich	Standorte	Notstromversorgung
Stellwerke	Ca. 3.200, davon ca. 900 mechanisch betrieben	Etwa 2.000 Standorte mit Diesel-NEA für 48 Stunden ausgestattet. Leistungsbereich bis 2 MW, typisch 10-100 kW. Der Trend geht bei Neu- und Umbauten zu NEA in Form von Einspeisung über Fahrleitung mittels Umrichter als Standardlösung.
Bahnübergänge	Ca. 18.500	Batterien für 3 Stunden
Tunnelbauwerke	Ca. 770 insgesamt.	Hiervon haben Tunnel über 500 m Länge eine Überwachungszentrale und NSV für 24 Stunden (Batteriegestützt)
Betriebszentralen	<10	Ja, Leistung allerdings über 100 kW
Personenbahnhöfe	Ca. 5.500	Stationäre NEA nur bei größeren Bahnhöfen (geschätzt < 100), wobei dann häufig größer 100 kW
Weichenheizung	Ca. 70.000	Keine NSV vorhanden
Bahnfunk (GSM-R) Basisstationen	Keine Daten abgefragt	Batteriegestützt. Typischerweise für wenige Stunden.

Tabelle 7: Einsatzbereiche und Anzahl von NEA im Bahnbereich (Quelle: E4tech Recherchen)

Bislang übliche technische Lösung für NEA in Stellwerken

Bisher sind die ersten 3 bis 12 Stunden üblicherweise mittels Batterien (Bleiakkubänke) abgesichert. Innerhalb dieses Zeitraums wird dann auf stationäre, und bei Nebenstrecken auch auf mobile Dieselgeneratoren umgeschaltet. Bei den stationären Dieselgeneratoren ist eine Kraftstoffbevorratung von 48 Stunden üblich.

Im Bahnbereich werden spezielle Dieselaggregate („Bahndiesel“) mit einer Betriebsdauer von 30 Jahren und zum Teil deutlich länger eingesetzt. Sie weisen etwa um ein Drittel größere Wicklungen als handelsübliche Aggregate auf, um die auftretenden hohen Anlaufströme bewerkstelligen zu können. In einem betriebseigenen Werk werden diese Dieselaggregate am Ende ihrer ursprünglichen Lebensdauer häufig wieder hergerichtet und dann weiter verwendet.

Für den Einsatz in Stellwerken müssen Zulieferer eine spezielle Zulassung für Bahnanlagen besitzen. Daher werden Stellwerke üblicherweise nur von einigen wenigen Systemlieferanten als Gesamtpaket angeboten.

Trend zu wartungsärmeren NEA in Stellwerken

Während Stellwerke üblicherweise halbjährlichen Wartungsintervallen unterliegen, müssen die Dieselaggregate alle 2 Monate überprüft und personalintensiv vor Ort getestet werden. Um von den wartungsintensiven Diesel NEA wegzukommen wird an elektrifizierten Bahntrassen bei Stellwerkmodernisierungen bzw. Neubauten mittlerweile auf Bahnstrom-Umformeranlagen gesetzt. Diese wandeln die 1-phasige $16\frac{2}{3}$ Hz Spannung aus der Fahrleitung in 3-phasige 50 Hz Spannung um, wie sie in den Stellwerken benötigt wird. Die Umformeranlagen können aus der Ferne getestet werden und sind auch generell wartungsärmer als die Dieselanlagen. Das Bahnstromnetz besitzt eine noch höhere Verfügbarkeit als das öffentliche Netz. Sollte aber auch der Bahnstrom ausfallen, so wäre zum

einen noch die Batteriepufferung gegeben, und zum anderen ist das Bahnsystem so konzipiert, dass bei Ausfall des Fahrleitungsstroms automatisch ein sicherer Betriebszustand eintritt.

Für Stellwerke an nichtelektrifizierten Trassen könnte zukünftig die Brennstoffzelle eine attraktive Alternative zu Dieselgeneratoren darstellen. Eine Fernwartung ähnlich wie bei den genannten Umformerlösungen ist bei Brennstoffzellenlösungen ebenfalls bereits Standard.

9.4 Stromversorgung (Netzbetreiber)

Durch die zentrale Rolle, welche die Stromversorgung in Industrienationen einnimmt, sind die Zuverlässigkeitsanforderungen an das Stromnetz sehr hoch. Netzersatzanlagen, die es erlauben bestimmte Elemente der Stromnetzinfrastruktur, wie Umspannungswerke (im Folgenden Netzanlagen), auch dann noch zu betreiben wenn der Netzstrom ausfällt, werden benötigt, um während und nach Störungen den Betrieb und Wiederanlauf von Netzanlagen sicher zu stellen. Dies ist vor allem an kritischen Netzknoten der Fall.

Bedarf an NEA

Die Versorgung des Eigenbedarfs von Netzanlagen, ist heute in den allermeisten Fällen durch eine Netzersatzanlage in Form von Batterieanlagen („Akkubänken“) sichergestellt. Diese versorgen Grundverbraucher wie Beleuchtung, Belüftung, Kommunikationssystem und Rechnersysteme mit dem nötigen Strom damit die Netzanlage auch bei einem Stromausfall betriebsfähig bleibt. Daneben wird auch die Anlagentechnik, insbesondere die Lastschalter durch die Batterieanlage mit Strom versorgt.

Die Batterieanlagen werden in Umspannwerken in erster Linie auf die benötigten Stromstärken (Leistungsschalter, Sicherungen) hin ausgelegt. Da Stromstärke und Kapazität bei der Batteriewahl in Verhältnis stehen, ist einer Dimensionierung für Ausfallzeiten von 7 bis 12 Stunden in der Regel bereits allein durch die benötigte Stromstärke gegeben.

Die Lebensdauer von Batterien, wie sie in Umspannwerken verbaut werden, liegt derzeit laut Aussagen von Anwendern zwischen 10 und 15 Jahren, vereinzelt wurden auch Lebensdauern bis zu 20 Jahren genannt. Sogenannte geschlossene Batterien, welche regelmäßig nachgefüllt werden müssen, haben demnach eine typische Lebensdauer von 12-17 Jahren, während wartungsärmere sogenannte verschlossene Batterien im Allgemeinen etwas weniger langlebig sind, obwohl auch hier Lebensdauern von bis zu 15 Jahren genannt wurden. Siehe dazu auch Kapitel 8.

Auf Transportnetzebene werden seitens der Betreiber derzeit Anforderungen an längere Überbrückungszeiten von 24 bis 72 Stunden eingeführt. Betreiber von Umspannwerken auf Übertragungsnetzebene werden daher in den nächsten Jahren NEA anschaffen oder Batteriebanken erweitern um den geänderten Anforderungen gerecht zu werden. Hier bieten sich generell gute Chancen für die Brennstoffzelle, da sie bestehende Batteriebanken einfach und platzsparend ergänzen kann.

In Deutschland gibt es in etwa 1.100 Umspannwerke zwischen Höchst- (220 bzw. 380 kV) und Hochspannungsnetz (meist 110 kV) [30], welche für ein solches Konzept in Frage kämen. Zum Vergleich: Es gibt in Frankreich im Höchst- und Hochspannungsnetz von RTE, welches das gesamte Land abdeckt, 2.700 Umspannwerke, wovon 22 in 2014 neu gebaut wurden [31]. In Großbritannien gibt es (Stand 2011) 6.180 Umspannwerke im Höchst-, Hoch- und Mittelspannungsnetz [32].

Für Umspannwerke auf niedrigeren Netzebenen, die weiterhin nur für etwa 10 Stunden abgesichert sind, ist derzeit nicht klar ob sich die Anforderungen ebenfalls verändern. Mit 24 bis 72 Stunden Überbrückungsdauer auf Übertragungsnetzebene würde es allerdings logisch erscheinen auch den untergeordneten Netzebenen die Überbrückungsdauer zu verlängern, um nach einem längeren Black-Out das Netz rasch wieder in Betrieb zu setzen.

Kostenbetrachtung

Laut Aussage von Anwendern kosten Batterieanlagen für Umspannwerke bei der Installation in etwa 2.500 €/kW. Der Wartungsaufwand beschränkt sich auf regelmäßige Batterietests und in der Regel eine jährliche Wartung, die bei geschlossenen Systemen auch ein Auffüllen der Batterie mit Wasser einschließt. Sogenannte verschlossene Systeme benötigen kein Auffüllen. Diese Wartung wird im Allgemeinen von den Netzbetreibern selbst durchgeführt. Da die Netzinfrastruktur mehr und mehr fernüberwacht wird um Personal vor Ort einzusparen, werden Lösungen mit weniger Wartungsaufwand (z.B. verschlossene Batteriesysteme) von Netzbetreibern bevorzugt.

Ein weiterer Betriebskostenfaktor ist der Wirkungsgrad der Batterie. Dieser liegt für Bleiakkus bei ca. 70-85%, und ist also relativ zur Ladeenergie nicht ganz unerheblich. Allerdings ist die Gesamtladeenergie bei diesen Anlagen an und für sich kein wesentlicher Kostentreiber, weswegen dieser Teil der Betriebskosten als nicht zentral angesehen wird.

Regulatorischer Rahmen

Aufgrund der hohen Kosten im Fall von Stromausfällen bzw. vertraglicher Verpflichtungen sind die Netzbetreiber natürlicherweise an einem Maximum an zuverlässiger Notstromversorgung interessiert. Eine gesetzliche Vorschrift zum Bau von NEA in Umspannwerken besteht, basierend auf Experteninterviews, derzeit nicht.

Ausblick

Die Branche der Netzbetreiber kann allgemein als konservativ in ihrer Technologiewahl eingestuft werden. Neue Technologien, wie etwa Brennstoffzellen haben es dementsprechend schwer sich auf dem Markt zu behaupten, bieten sich aber dennoch als Attraktive Lösung an wenn es gilt bestehende Batteriebänke für längere Ausfallzeiten aufzurüsten.

9.5 Rechenzentren

Server und Rechenzentren haben in den allermeisten Fällen eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), welche eine adäquate Stromversorgungsqualität, sowie eine minimale Notstromversorgung sicherstellt. Diese USV ist im Allgemeinen durch Bleibatterien sichergestellt, die mindestens genügend Strom zur Verfügung stellen, um im Falle eines Stromausfalls ein geordnetes Herunterfahren der Rechner zu ermöglichen. Hierzu ist meist eine Dauer von 10 bis 30 Minuten vorgesehen.

Bei Serveranlagen mit hoher Verfügbarkeitsanforderung, ist in der Regel darüber hinaus eine Notstromanlage, meist in Form eines Dieselgenerators vorhanden, welche sowohl die Rechner als auch die Kühlanlage des Rechenzentrums absichert. Brennstoffzellen werden in erster Linie als potenzielle Alternative für die Notstromversorgung durch Dieselgeneratoren angesehen [33], in der Regel aber nicht als Ersatz für die eigentliche USV (bzw. die Batterien).

Brennstoffzellen haben gegenüber Dieselanlagen den Vorteil niedrigerer lokalen Lärm- und Schadstoffemissionen, eines potenziell niedrigeren Wartungsaufwands und einer höheren Verfügbarkeit. Dieselanlagen in Rechenzentren werden so zum Beispiel im Allgemeinen dauerhaft vorgewärmt um sicherzustellen, dass sie jederzeit einsatzbereit sind.

Bedarf an NEA - Anzahl und Leistung

In Deutschland gibt es insgesamt ungefähr 1,8 Millionen physische Server (Stand 2015) [34], die sich entsprechend Abbildung 22 auf die verschiedenen Branchen verteilen. Diese Server verteilen sich auf ca. 51.100 Rechenzentren verschiedener Größen (siehe Tabelle 8). Sollte der Wachstumstrend der vergangenen Jahre wie erwartet anhalten, so wird geschätzt, dass es im Jahr 2020 ca. 2,3 Millionen physikalische Server in Deutschland geben wird. Allerdings verzeichnen mittlere (501-5000 m²) und große (>5.000m²) Rechenzentren die größten Wachstumsraten, wohingegen die Anzahl an kleinen Serverschränken (3-10m²) zwischen 2008 und 2013 sogar gesunken ist [35].

Da größere Rechenzentren in den meisten Fällen mit einer Notstromversorgung ausgestattet sind, kann man von einem Wachstum der Nachfrage für Notstromanlagen in diesem Bereich ausgehen. Allerdings handelt es sich dabei fast ausschließlich um Anlagen von mehreren hundert kW, also um Anlagen, die nicht Gegenstand dieser Studie sind. Die mittlere Last pro Quadratmeter Rechenzentrum kann laut Experten mit 500-1.500 Watt abgeschätzt werden, wobei die Spitzenlast, die unter anderem durch das Anlaufen elektrischer Maschinen, wie der Kompressoren für die Klimatisierung hervorgerufen wird, pro Quadratmeter bei bis zu 3.000-3.500 Watt liegt.

Rechenzentrumskategorie	Anzahl der Rechenzentren 2013 [35]	Entwicklung der Anzahl 2008-2013 [35]	Anteil an USV Anlagen / Notstromanlagen (2010) [36]
Serverschrank (3 – 10 m²)	30500	- 8%	50% / -
Serverraum (11 – 100 m²)	18100	+/- 0%	70% / 5%
Kleines Rechenzentrum (101 – 500 m²)	2150	+ 23%	100% / 10%
Mittleres Rechenzentrum (501 – 5000 m²)	280	+ 27%	100% / 70%
Großes Rechenzentrum (über 5000 m²)	70	+ 40%	100% / 100%

Tabelle 8: Struktur und Entwicklung von Rechenzentrengößen in Deutschland [35]

Im Bereich bis 100 kW sind vor allem Serverschränke und -räume, sowie kleine Rechenzentren von weniger als 50 bis 100 Quadratmeter von Belang. Zwar fallen sehr viele Rechenzentren in diesen Bereich, doch ist eine Notstromversorgung hier nur in den wenigsten Fällen gegeben. Ein Studie des Umweltbundesamtes [36] schätzte in 2010 den Anteil an Notstromgeneratoren in Serverräumen (11-100 Server) auf lediglich 5%, und in kleinen Rechenzentren auf 10%. Obwohl der Markt für Datenzentren sich seit 2010 stark gewandelt hat, kann man davon ausgehen, dass sich diese Anteile nicht stark erhöht haben. Große Rechenzentren, welche hohe Zuverlässigkeit durch redundante Notstromversorgung garantieren können, bieten gerade Nutzern mit relativ kleinem Rechenbedarf eine kostengünstige Alternative zu einem mit Notstromversorgung ausgestatteten Rechnerraum oder kleinem Rechenzentrum.

Laut Aussagen von Branchenkennern sind es in Deutschland vor allem kleine und mittlere Unternehmen der Industrie, die, getrieben von Datenschutzbedenken, auf kleine Datenzentren mit Notstromversorgung setzen.

Anteile der verschiedenen Branchen am Serverbestand in Deutschland

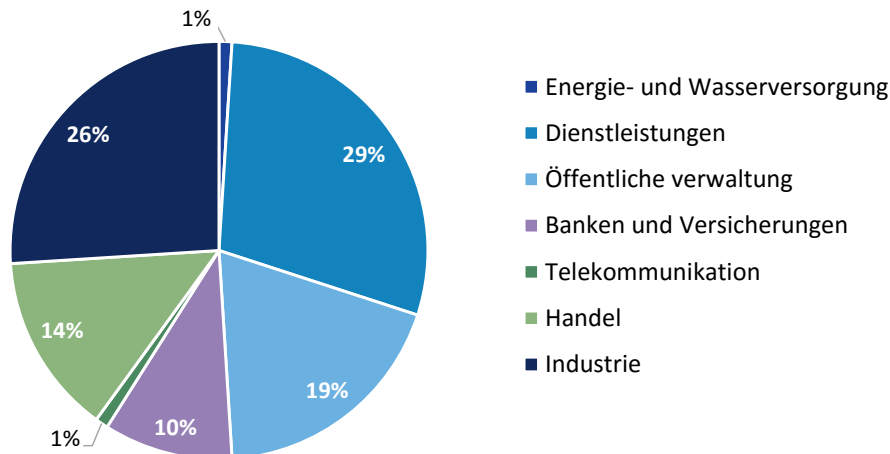


Abbildung 22: Branchenanteile am Serverbestand in Deutschland in 2015 (Quelle [33])

Die (Not-) Stromversorgung für Rechenzentren wird projektspezifisch ausgelegt, da nicht nur die Rechner, sondern auch die Kühlanlage versorgt werden muss, und die Bedürfnisse hier vom individuellen Projekt abhängig sind [9]. Dadurch, dass die Infrastruktur auf einen Zeitraum von ca. 15 Jahren ausgelegt wird, während die IT Anlagen selbst nach 2-5 Jahren ausgetauscht werden, gibt es eine Tendenz dazu die Infrastruktur größer als nötig zu dimensionieren, um auf eventuelle Erhöhungen des Leistungsbedarfs neuerer IT Anlagen vorbereitet zu sein. Alternativ können Anlagen auch modular ausgelegt werden, sodass flexibel auf zukünftigen Bedarf reagiert werden kann.

Insgesamt entsprechen die NEA in deutschen Datenzentren einer Gesamtleistung von ca. 600–800 MW. Die kumulierte vorgehaltene Energie der Batterien in servergebundenen USV-Anlagen beträgt ca. 150 MWh [35]. Eine genaue Aufspaltung in verschiedene Größen- oder Anwendungsklassen von NEA ist nicht verfügbar, aber Experten gehen davon aus, dass ein Großteil der NEA Leistung in sehr großen Rechenzentren untergebracht ist. Durch die große Zahl an kleinen Lokationen kann die Zahl der Anlagen, beispielsweise in kleinen und mittleren Unternehmen, oder in kleinen Verwaltungen, die über eine Notstromversorgung von bis zu 100 kW verfügen in Deutschland laut Branchenkennern durchaus vierstellig sein. Im Gegensatz zu Notstromanlagen ist die Nutzung von USV für Serveranwendungen aus Gründen der Spannungs- und Leistungsqualität fast unabdingbar.

Bleibatterien sind die am weitesten verbreiteten Energiespeicher für USV, wobei auch Nickel-Cadmium Batterien oder in manchen Fällen kinetische Energiespeicher, auch in Kombination mit Verbrennungsmotoren, benutzt werden (siehe Übersicht in Tabelle 9). Im letzteren Fall wären Brennstoffzellen gut geeignet um die

Arten USV
Standalone-USV
Rack-USV
Modulare USV
Zentral-USV mit Batterien
Zentral-USV – dynamisch mit Generator
Zentral-USV – dynamisch mit Schwungrad und Generator

Tabelle 9: Arten von USV in Datenzentren nach [36]

Verbrennungsmotoren zu ersetzen. Batterien in USV Anlagen sind in sicherheitsrelevanten Bereichen laut BITKOM Leitfaden [9] in punkto Leistung überdimensioniert auszulegen (Faktor 1,25), um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass sich die Batteriekapazität mit der Zeit reduziert.

Basierend auf den Zahlen aus Tabelle 8 kommt man auf ca. 1.100 Notstromanlagen in Rechnerschränken und Rechenzentren von weniger als 100 m². Mit der großzügigen Annahme, dass zusätzlich 400 USV Anlagen mit Generator in Deutschland vorhanden sind, wären in Deutschland 1.500 NEA mit Verbrennungsmotoren in Rechenzentren installiert. Bei einer Erneuerung des Notstrombestandes alle 15 Jahre entspräche dies bis zu 100 Notstromanlagen pro Jahr von weniger als 100 kW im Bereich der Rechenzentren.

Ausfalldauer und Betriebsprofil

Die zulässige Ausfalldauer, welche durch die NEA in Rechenzentren abgedeckt werden muss, ist abhängig von der Anwendung. Viele kleine und mittelständige Betriebe vertrauen alleine auf die USV, welche meist aber nicht für mehr als 30 Minuten Ausfallzeit ausgelegt ist (Abbildung 23).

	< 3 Std	3 – 12 Std	1 – 3 Tage	Tage bis mehrere Wochen	Zeitweiser Dauerbetrieb	Dauerbetrieb
<0.75 kW	Serverschränke (3-10m²) ca. 50% von 30,000	Serverräume (11-100m²) ca. 70% von 18,000, davon 25% redundant Serverräume (11-100m²) Ca. 5% von 18,000 mit NSV	Kleine Rechenzentren (101-500m²), ca. 10% von 2,150 mit Notstrom 80-500kW – Schnitt ca. 105kW			
0.75 – 8 kW						
8 – 19 kW						
19 – 37 kW						
37 – 56 kW						
56 – 100 kW						
> 100 kW						

Legende:

Batteriebetriebene USV

Kraftstoffbetriebene NEA

Abbildung 23: Technische Lösungen für unterschiedliche Leistungsklassen und Überbrückungsdauern im Bereich Rechenzentren (Quelle: Eigene Recherchen basierend auf [35] und [36])

In verschiedenen Fällen bieten diese Anlagen allerdings die Möglichkeit eine mobile NEA anzuschließen um die Stromversorgung bei längeren Ausfallzeiten sicherzustellen. Bei höheren Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Stromversorgung wird neben dem Einsatz einer NEA auch die netzseitige Einspeisung redundant ausgelegt. Im Extremfall (BITKOM Kategorie D [9]), werden Anschlüsse von verschiedenen Stromnetzen benutzt um die Ausfallwahrscheinlichkeit weiter zu verringern (siehe auch Tabelle 10).

Notstromaggregate in Rechenzentren müssen in der Regel 15 Sekunden nach Ausfall der Hauptstromversorgung anlaufen. Dabei können sie, mit einer automatischen Anlaufvorrichtung versehen unabhängig von der USV ausgeführt sein, oder in einer Diesel-USV-Anlage integriert sein [9].

RZ Kategorie	Anforderung	Serverschrank	IT-Umgebung (bis zu 10 Schränke)	Serverraum / Rechenzentrum	Max. tolerierbare Ausfallzeit pro Jahr
A	USV	Optional USV- und Batterieraum mit Belüftung. Minimaldauer der Überbrückungszeit abhängig von der Shutdownzeit der IT-Geräte			12h
	Notstrom	Generator optional			
B	USV	Redundanz N+1 oder 2N, Separater USV- und Batterieraum mit eigener Klimatisierung. Minimaldauer der Überbrückungszeit abhängig von der kontrollierten Shutdownzeit der IT-Geräte			1h
	Notstrom	Ein Generator notwendig, 2. Generator optional, Verfügbarkeit in 15 Sekunden, Brennstoffvorrat: 24 Stunden			
C	USV	Separater USV- und Batterieraum mit eigener Klimatisierung, 2N-Redundanz, mind. 10 Minuten Überbrückungszeit			10 min
	Notstrom	Redundant, Verfügbarkeit in 15 sec, Brennstoffvorrat: 72 Stunden, Kraftstoffreinigungsanlage			
D	USV	Separater USV- und Batterieraum mit eigener Klimatisierung, N+1 Redundanz pro Versorgungsweg, mind. 10 Minuten Überbrückungszeit			< 1 min
	Notstrom	Notstromaggregate pro Versorgungsweg, optimale Redundanz, Verfügbarkeit in 15 sec, Brennstoffvorrat: min. 72 Stunden, Betankungsmanagement, Kraftstoffreinigungsanlage			

Tabelle 10: Empfehlungen zu USV und Notstromversorgung aus BITKOM Matrix "Planungshilfe betriebssicheres Rechenzentrum" [10]

Branchenabhängige Bedürfnisse

Obwohl die Datenlage zu kleinen Rechenzentren mit Notstromversorgung gering ist, kann man davon ausgehen, dass Notstromanlagen dort eingebaut werden, wo die Anwendung dies entweder aus kommerziellen oder regulatorischen Gründen vorschreibt. Knotenpunkte im Telekommunikationswesen, zum Beispiel, müssen für Notfälle abgesichert sein (siehe auch Kapitel 9.2). In den meisten Fällen sind Leitfäden allgemein gehalten und beinhalten zum Beispiel keine Angaben zu Überbrückungsdauer. Einzelne Branchen können auch Anforderungen haben, die über reine Vorschriften hinweggehen, und sie für Brennstoffzellen interessant machen.

Lebensdauer

Die Lebensdauer von Dieselgeneratoren in Rechenzentren unterscheidet sich technisch nicht grundsätzlich von Dieselgeneratoren für andere Anwendungen. Im Bereich 25 bis 30 kW kann bei guter Wartung von einer Lebensdauer von mindestens 15 Jahren ausgegangen werden.

Allerdings haben Rechenzentren die Besonderheit, dass die Rechner, als eine der Hauptverbraucher, alle zwei bis fünf Jahre ersetzt werden müssen. Dadurch ändern sich die Lastanforderungen für die (Not-)stromversorgung mehrmals in der Lebenszeit der Generatoren. Dies hat im Prinzip keine großen Auswirkungen auf die Wahl der Generatoren, kann aber dazu führen, dass die Infrastruktur

nach mehreren Generationen von Rechnern angepasst und ausgewechselt werden muss. Als realistische Annahme für die Lebensdauer können 15 Jahre angenommen werden.

Kostenbetrachtung

Die Kosten für Diesel-NEA in Rechenzentren sind mit Kosten für vergleichbare Dieselaggregate für andere Anwendungen gleichzustellen. Zwar haben Rechenzentren besonders hohe Anforderungen an die Spannungsqualität, doch wird diese durch eine USV Anlage sichergestellt, die auch beim Einsatz einer Brennstoffzelle benötigt würde. Um eine adäquate Spannungsqualität sicherzustellen wird diese auch bei einer reinen Netzspeisung zwischengeschaltet und ist somit unabhängig von der Art der Notstromversorgung.

Eine Brennstoffzelle könnte im Vergleich zu einem Dieselgenerator die Komplexität des Umschaltvorgangs reduzieren, da sie wie Batterien Gleichstrom produziert. Diese reduzierte Komplexität könnte sich, gerade bei kleinen Anlagen, in einem relativen Kostenvorteil widerspiegeln.

Ein weiterer indirekter Kostenfaktor, der bei Diesel-Notstromaggregaten nicht zu unterschätzen ist, ist die Infrastruktur, welchen das Aggregat umgibt. Vor allem bei Innenanlagen muss sichergestellt sein, dass die Räumlichkeiten genügend belüftet sind, und adäquate Feuerschutzmaßnahmen getroffen wurden. Dies kann die Anlagenkosten in die Höhe treiben. In extremen Fällen, vor allem bei Serverschränken und kleinen Datenzentren ist eine Anpassung der Räume für einen Dieselbetriebenen Generatoren nicht machbar. Lärm- und Abgasbetrachtungen können hierbei auch die Komplexität und somit die Kosten in die Höhe treiben.

In Punkto Wartung ist bei Dieselgeneratoren zu bemerken, dass sie regelmäßig (idealerweise einmal im Monat [9]) getestet werden müssen. Diese Prozedur ist im Vergleich zur benötigten Wartung für Brennstoffzellen recht aufwendig und führt dadurch potenziell zu höheren Wartungskosten bei Dieselanlagen.

Opportunität

Der Großteil des Marktes für NEA in Rechenzentren spielt sich im Bereich oberhalb von 100 kW ab. Es gibt einen eindeutigen Trend hin zu größeren Rechenzentren, welche oft verschiedene Aufgaben erfüllen und von mehreren Anwendern genutzt werden. Dies verstärkt die Tendenz hin zu größeren Anlagen. Der Bereich unterhalb von 100 kW ist nichtsdestotrotz nicht zu vernachlässigen. Eine Nachfrage für on-site Serverschränke und kleine Rechenzentren (also nicht zu externen Anbietern ausgelagert), welche hohe Zuverlässigkeitsanforderungen besitzen wird auch in Zukunft bestehen. Brennstoffzellen könnten hier sogar eine neue Nische kreieren, indem sie für Anwender interessant werden, die nicht die nötigen Belüftungs- und Brandschutzvorrichtungen vorlegen können, die für konventionelle Generatoren notwendig sind.

Eine weitere Opportunität für Brennstoffzellen sind Anlagen, welche eine redundante Notstromversorgung benötigen. Um systematische Fehler auszuschließen werden hierbei gerne verschiedene Technologien benutzt um die Redundanz sicherzustellen. Hierbei könnte eine Brennstoffzelle eine Redundanzstufe in einem System darstellen, welches auch eine kostengünstigere Dieseleinheit beinhaltet.

Ein Ansatz, der Anlagen unter 100 kW auch für größere Anlagen interessant machen könnte ist eine modulare, dezentrale Notstromversorgung direkt am Serverrack. Solche Produkte sind zwar schon kommerziell erhältlich, haben sich aber bislang noch nicht weitläufig durchgesetzt. Das Potenzial dieser Technologie ist schwer einzuschätzen, da ein einfacher Kostenvergleich mit aktuellen NEA wesentliche Vorteile, wie die Abwesenheit einer einzigen Fehlerquelle, oder die erhöhte Effizienz und Zuverlässigkeit durch verringerte Verkabelung außer Acht lässt.

Ein weiterer Ansatz, welcher über den vorliegenden Projektrahmen hinausgeht, ist es eine erdgas-betriebene Brennstoffzelle als Hauptstromquelle für ein Rechenzentrum zu nutzen. Dieses Konzept, bei dem die Brennstoffzelle Teil einer USV ist, wird vor allem in den USA angeboten, und hat den Vorteil einer vom Stromnetz unabhängigen Stromversorgung (vielmehr wird das Stromnetz als NSV genutzt). Darüber hinaus ist der Schadstoffausstoß in vielen Fällen geringer als bei der Nutzung von Netzstrom.

Interessant ist auch anzumerken, dass bei sehr hohen Zuverlässigkeitsanforderungen der gesamte Server oder das gesamte Datenzentrum redundant ausgelegt wird. Dies verringert die Notwendigkeit einer extrem hohen Zuverlässigkeit der Stromversorgung an den einzelnen Standorten.

Vorschriften und regulatorischer Rahmen

Die Notstromanlagen in Rechenzentren unterstehen den gleichen allgemeinen Richtlinien und Normen wie andere Notstromaggregate (z.B. BImSchG, BDEW Richtlinie für Planung, Errichtung und Betrieb von Anlagen mit Notstromaggregaten [11], Bauordnungen der Länder, DIN VDE 0100, DIN 6280). In einzelnen Anwendungen kommen Aspekte der Datensicherheit oder anwendungsbedingte Regularien (z.B. Bankenwesen – Zertifizierung als bankensicheres Rechenzentrum der Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin)) hinzu, welche sich auf die Notstromversorgung auswirken. Allgemeiner können auch andere Standards, welche Firmen anstreben, wie beispielsweise ISO 22301 für betriebliches Kontinuitätsmanagement die Bedürfnisse an Zuverlässigkeit in Rechenzentren beeinflussen.

Im Allgemeinen sind die Anforderungen an die Notstromversorgung in Rechenzentren aber eher kommerzieller Natur. So erwarten Kunden in verschiedenen Bereichen, dass gewisse Standards eingehalten werden. Je höherwertiger die Klassifizierung desto höherpreisiger der dadurch adressierbare Markt. Beispiele sind die sogenannten Tier Klassifizierungen des Uptime Instituts (siehe Tabelle 11) oder die vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) definierten Verfügbarkeitsklassen (Tabelle 12).

Tier Klassen	Einführung	Erklärung
Tier I	60er Jahre	Einfacher Stromversorgungspfad, einfache Kälteversorgung, keine redundanten Komponenten, 99,671% Verfügbarkeit
Tier II	70er Jahre	Einfacher Stromversorgungspfad, einfache Kälteversorgung, redundante Komponenten, 99.741% Verfügbarkeit
Tier III	Ende der 80er Jahre	Mehrere Pfade vorhanden, aber nur einer aktiv, redundante Komponenten. Wartung ohne Unterbrechung möglich, 99,982% Verfügbarkeit
Tier IV	1994	Mehrere aktive Strom- und Kaltwasserverteilungspfade, redundante Komponenten, fehlertolerant, 99,995% Verfügbarkeit

Tabelle 11: Tier Klassifizierungen nach Uptime Institut [11]

Verfügbar- keitsklasse	Bezeichnung	Kumulierte wahrschein- liche Ausfall- zeit pro Jahr	Auswirkung
VK 0 ~95%	Keine Verfügbarkeits- anforderungen	Ca. 2-3 Wochen	Hinsichtlich der Verfügbarkeit sind keine Maßnahmen zu treffen. Die Realisierung des IT-Grundschatzes für die anderen Grundwerte wirkt sich förderlich auf die Verfügbarkeit aus.
VK 1 99%	Normale Verfügbarkeit	Weniger als 90 Std.	Hinsichtlich der Verfügbarkeit erfüllt die einfache Anwendung des IT-Grundschatzes (BSI 100-1 und BSI 100-2) die Anforderungen.
VK 2 99.9%	Hohe Verfügbarkeit	Weniger als 9 Std.	Die einfache Anwendung des IT-Grundschatzes ist zu ergänzen durch die Realisierung der für hohen Verfügbarkeitsbedarf empfohlenen Bausteine, z. B. die Bausteine B 1.3 Notfallvorsorge, B 1.8 Behandlung von Sicherheitsvorfällen und die Anwendung der Risikoanalyse auf der Basis von IT-Grundschatz (BSI 100-3).
VK 3 99.99%	Sehr hohe Verfügbarkeit	Unter 1 Std.	Realisierung der nach IT-Grundschatz für ausgewählte Objekte empfohlenen Maßnahmen mit besonderem Einfluss auf den Grundwert Verfügbarkeit, z. B. die Maßnahme M 1.28 USV im Serverraum oder M 1.56 Sekundär-Energieversorgung im Rechenzentrum, ergänzt durch HV-Maßnahmen aus dem HV-Kompendium
VK 4 99.999%	Höchste Verfügbarkeit	ca. 5 Min.	IT-Grundschatz ergänzt durch Modellierung nach dem HV-Kompendium. IT-Grundschatz als Basis wird zunehmend durch HV-Maßnahmen ersetzt und ergänzt.
VK5 100%	Desaster- tolerant		Modellierung nach dem HV-Kompendium. IT-Grundschatz dient weiterhin als Basis für die vorstehenden Bereiche sowie die anderen Schutzwerte Integrität und Vertraulichkeit.

Tabelle 12: Verfügbarkeiten nach BSI (Quelle [9])

9.6 Straßenwetterstationen

Straßenwetterstationen erfassen verschiedene Messgrößen zur Fahrbahnbeschaffenheit (Nässe und Glätte) und Witterung (Niederschlag, Luftfeuchte, Temperatur). Zusätzlich sind manche Stationen auch mit Sichtweitenmessung ausgestattet. Diese benötigt in bestimmten Betriebsfällen Heizleistung. Die Messdatenübermittlung zu einer Zentrale erfolgt entweder über eine dauerhafte Festnetzverbindung oder in Intervallen über Mobilfunk.

Die elektrische Leistungsaufnahme beträgt typischerweise 10 bis 100 Watt, wobei die durchschnittliche Leistungsaufnahme je nach Aufbau und Sensorik variiert, und üblicherweise nicht höher als 10 Watt ist. Bei vielen Stationen ist die Datenübertragung (Modem) der Hauptstromverbraucher, während die Messsensorik selbst weniger ins Gewicht fällt.

Marktgröße für NEA in Deutschland

In Deutschland werden die Messstationen für den Autobahnbereich von den zuständigen Länderbehörden betrieben. Zentral erfasste Angaben zur Anzahl von Straßenwetterstationen konnten nicht in Erfahrung gebracht werden. Die Anzahl der Straßenwetterstationen an Autobahnen wird von den befragten Herstellern der Stationen auf etwa 1.000 geschätzt. Inklusive dem untergeordneten Straßennetz wird von insgesamt nicht mehr als 2.500 Stationen in Deutschland ausgegangen. Diese Zahl schließt auch Stationen ein, die auf kommunaler Ebene errichtet und betrieben werden.

Zwar wird immer noch eine Verdichtung des Messstationsnetzes beobachtet, wie stark das Wachstum aber letztlich über die nächsten Jahre sein wird ist schwer abzuschätzen. Als oberer Erwartungswert können maximal 100 zusätzliche Stationen pro Jahr in den nächsten 5 Jahren angesetzt werden – es könnten aber auch deutlich weniger sein.

Nur in wenigen Fällen ist eine netzgebundene Stromversorgung nicht möglich, bzw. nicht wirtschaftlich. Als Faustregel ist davon auszugehen, dass bei Entfernungen zur nächsten Netzanschlussmöglichkeit von bis zu 5 km eine Kabelverlegung anstelle eines netzunabhängigen Betriebs zumindest erwogen wird. Allerdings kommt es hier auch auf den Einzelfall an, denn eine Kabelverlegung kann auch aus anderen Gründen ohnehin in Betracht gezogen werden. Da Standorte für Straßenwetterstationen üblicherweise für einen Betrieb auf unbestimmte Zeit ausgewählt werden, ist man auch bereit gegebenenfalls hohe Netzanschlusskosten bei der Kabelverlegung in Kauf zu nehmen, um dadurch den Aufwand im Betrieb einer netzunabhängigen Station zu vermeiden. In manchen Fällen könnten Betreiber an NEA interessiert sein um flexibel eine vorübergehende Stromversorgung an neuen Standorten herzustellen, bis ein Netzanschluss errichtet ist.

Der Anteil der netzfern betriebenen Straßenwetterstationen wird nicht zentral erfasst. Schätzungen von Herstellern und Anwendern zufolge ist der Anteil bei wenigen Prozent bis maximal einem Fünftel der Anlagen. Basierend auf der bereits erwähnten Abschätzung von maximal 100 neuen Anlagen in Deutschland pro Jahr ergibt sich ein Marktpotenzial von bestenfalls 20 NEA für Straßenwetterstationen in Deutschland pro Jahr.

Innerhalb dieses überschaubaren Marktsegments konkurriert die Brennstoffzelle mit verschiedenen Alternativen: Photovoltaik oder kleine Windgeneratoren kombiniert mit Batterien.

Ausblick europäischer Markt

Trotz gewisser Unterschiede im Ausbaugrad der Straßennetze im europäischen Ausland ist zu erwarten, dass sich der Bedarf für Straßenwetterstationen sehr ähnlich darstellt. Seitens der führenden Hersteller wurde nicht die Erwartung geäußert, dass der gesamteuropäische Markt in den nächsten Jahren ein überdurchschnittliches Wachstum zeigen wird. Aufgrund der sehr dünnen Besiedlungsdichte bei gleichzeitig gut ausgebautem Straßennetz finden sich in nordeuropäischen Ländern relativ gesehen mehr Stationen als in Deutschland. Es ist dabei aber nicht automatisch von einem höheren Anteil an netzfernen Stationen auszugehen, denn einzelne Straßenwetterstationen decken meist einen langen Straßenabschnitt ab (80 km sind nicht unüblich). Somit können in der Regel Standorte gewählt werden die einen Netzanschluss relativ einfach ermöglichen.

10 Ausblick Brennstoffzellen

Der Einsatz von Brennstoffzellen anstelle von konventionellen NEA in einer Vielzahl von Pilotprojekten in den vergangenen Jahren hat dazu beigetragen, die Vorteile dieser neuen Technologie unter Beweis zu stellen, und sie als ausgereifte Alternative am Markt zu positionieren, die betriebliche Vorteile liefert. Die heute noch höheren Anschaffungskosten gegenüber konventionellen Netzersatzanlagen, sind als größte Barriere einer weiteren Verbreitung anzusehen. Höhere Anfangskosten können allerdings bereits heute teilweise oder ganz durch geringere Betriebskosten wieder kompensiert werden – insbesondere in Anwendungen die sehr hohe Verfügbarkeit erfordern, bei gleichzeitig geringer Einsatzhäufigkeit (z.B. BOS Funk). Mit Blick auf die Kostenreduktionen die seitens der Industrie bis 2020 bzw. 2025 angestrebt werden, rückt die Wettbewerbsfähigkeit der Brennstoffzelle, und damit größere Marktanteile, in greifbare Nähe (Abbildung 24). Weiterer Kontext zu Brennstoffzellenmärkten, sowie zur Brennstoffzellenindustrie findet sich in der Zusammenfassung für Entscheidungsträger zu Beginn dieses Berichts (Seite 3ff).

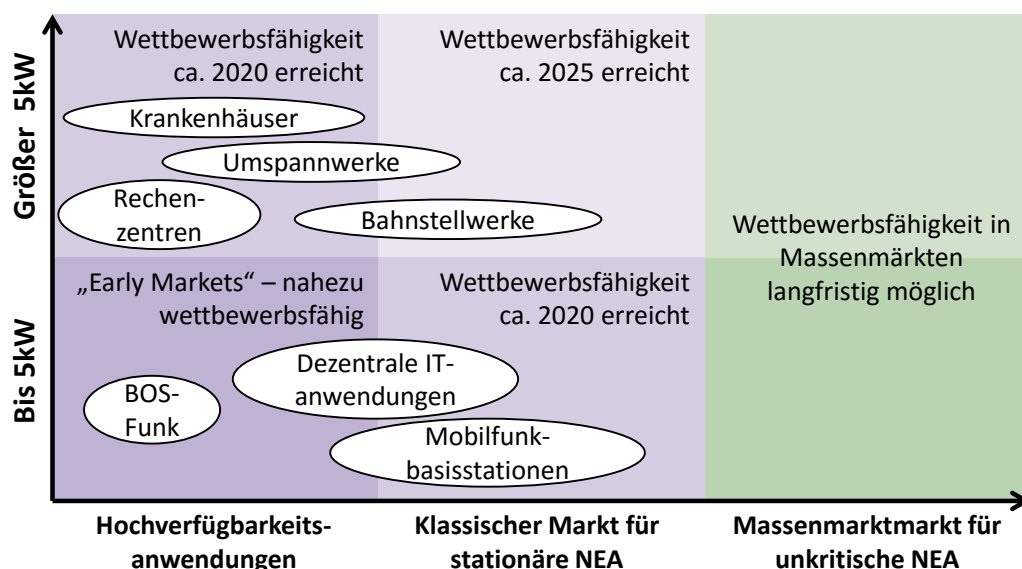


Abbildung 24: Erschließbare Marktpotenziale für Brennstoffzellen in Netzersatzanlagen entsprechend fortschreitender Kostenreduktionen

11 Quellenverzeichnis

- [1] Institut für Wärme und Oeltechnik, „Aktuelle IWO-Studie: Brennstoffqualität in der Praxis,“ <https://www.zukunftsheizen.de/technik/brennstoffe-fuer-die-notstromversorgung/brennstoffqualitaet-in-der-praxis.html> , 2014.
- [2] The World Bank, „Data - GDP per Capita (current US\$),“ The World Bank, [Online]. Online verfügbar: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>. [Zugriff am 25 01 2016].
- [3] UNIDO & GEF, „Cape Verde: Energy Analysis and Recommendation undertaken by UNIDO and ECREEE - Annex F6,“ 2010.
- [4] Concil of European Energy Regulators, „CEER Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply,“ http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab4/C14-EQS-62-03_BMR-5-2_Continuity%20of%20Supply_20150127.pdf, 2015.
- [5] AMPS Power Magazine, January 2013, S.6-7, „Will the EU clamp down on emissions from stationary diesel engines?,“ 2013.
- [6] TransportPolicy.net, „Germany: Stationary Engines: Emissions,“ http://transportpolicy.net/index.php?title=Germany:_Stationary_Engines:_Emissions, 2016.
- [7] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher, „Hinweise zur Ausführung von Ersatzstromversorgungsanlagen in öffentlichen Gebäuden und kommunaler Verwaltungen (AMEV),“ Berlin, 2006.
- [8] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI), „Europäischer Leitfaden zu unterbrechungsfreien Stromversorgungen,“ <http://www.zvei.org/Verband/Publikationen/Seiten/Unterbrechungsfreie-Stromversorgungen-2009.aspx>, 2008.
- [9] BITKOM, „Betriebssicheres Rechenzentrum - Leitfaden (Version Dezember 2013),“ BITKOM, Berlin, 2013.
- [10] BITKOM, *Planungshilfe betriebssicheres Rechenzentrum*, Berlin: BITKOM e.V., 2014.
- [11] VDN, *Notstromaggregate - Richtlinie für Planung, Errichtung und Betrieb von Anlagen mit Notstromaggregaten*, Berlin: Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW, 2004.
- [12] J. Kurtz, G. Saur, S. Sprik, C. Ainscough , „Backup Power Cost of Ownership Analysis and Incumbent Technology Comparison,“ National Renewable Energy Laboratory, 2014.
- [13] M. Crouch, „Fuel Cell Systems for Base Stations: Deep Dive Study,“ GSMA - Green Power for Mobile, 2012.

- [14] S.-W. Baltruschat, „Einsatz von Wasserstoff-Brennstoffzellen als Netzersatzanlage für Basisstationen des Digitalfunks,“
https://ccexpo.de/fileadmin/user_upload/Vortraege/Forum/5_CCexpo_PODiFu_BB_Baltruschat_final.pdf, 2013.
- [15] EASE & EERA, „Joint EASE/EERA recommendations of a European Energy Storage technology development Roadmap towards 2020,“ EASE - European Association for Storage of Energy, Brüssel, 2013.
- [16] D. Chung, E. Elgqvist und S. Santhanagopalan, „Automotive Lithium-ion Battery (LIB) Supply Chain and U.S. Competitiveness Considerations,“ Clean Energy Manufacturing Analysis Center, Golden, CO, 2015.
- [17] J. Neubauerm, K. Smith, E. Wood und A. Pesaran, „Identifying and Overcoming Critical Barriers to Widespread Second Use of PEV Batteries,“ National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, 2015.
- [18] Antwort Bayerische Staatsregierung auf Anfrage Anne Franke, „Stromversorgung der TETRAFunkmasten,“ 2012.
- [19] J. Vogler , „Article in PMR Professional Mobile Radio NET 5/2014,“ 2014.
- [20] Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS), „Fortschrittsanzeiger: Aufbau und Inbetriebnahme des BOS-Digitalfunknetzes,“
http://www.bdbos.bund.de/DE/Digitalfunk_BOS/Fortschrittsanzeiger/fortschrittsanzeiger_roll_out_node.html, 2015.
- [21] dNk - Directorate for Emergency Communication (Norway), „Nationwide Nødnett,“
<http://www.dinkom.no/en/About-The-Directorate/News-Archive/Nationwide-Nodnett/>, 2015.
- [22] TETRA-Applications, „Grand Duchy of Luxembourg chooses TETRA,“ 03 03 2014. [Online]. Online verfügbar: <http://tetra-applications.com/27338/news/grand-duchy-of-luxembourg-chooses-tetra>. [Zugriff am 17 12 2015].
- [23] TETRA TODAY, „Poland’s TETRA infrastructure to be modernised by Rohill,“
<http://www.tetratoday.com/news/polands-tetra-infrastructure-is-to-be-modernised-by-rohill>, 2014.
- [24] TETRAforum.pl, „System radiokomunikacyjny Tetra MST 11 IP,“ <http://tetraforum.pl/produkty-tetra/item/11-systemy-tetra/77-tetra-mst-11-ip.html>, 2015.
- [25] Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS), „Website Digitalfunk in Europa,“ Verfügbar online:
http://www.bdbos.bund.de/DE/Digitalfunk_BOS/Digitalfunk_in_Europa/digitalfunk_in_europa_node.html, 2015.
- [26] DNK , „Nødnett - Public Safety, from Narrowband to Broadband Dilemmas and Challenges,“

- Directorate for Emergency Communication, Norway, online verfügbar:
http://amcham.dk/files/editor/4_-20131114_When_every_second_counts_THL.pdf, 2013.
- [27] Ballard, „Case Study - Ballard Participates In Ensuring Danish Preparedness,“
http://www.ballard.com/files/PDF/Backup_Power/BU_P_Case_Study_Sine_Tetra.pdf, 2016.
- [28] PASM - Power & Air Solutions, „Information auf Internetpräsenz,“
<http://www.pasm.de/anlagen/>.
- [29] Deutscher Bundestag - Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung, „TA-Projekt: Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung,“ Deutscher Bundestag, Berlin, 2011.
- [30] DENA, „Effiziente Energiesysteme - Stromnetze in Deutschland - Stromumwandlung durch Transformatoren,“ Deutsche Energie-Agentur, [Online]. Online verfügbar:
<http://www.effiziente-energiesysteme.de/themen/intelligente-stromnetze/stromumwandlung.html>. [Zugriff am 12.01.2016].
- [31] RTE, „RTE - Les postes électriques - Recevoir, transformer et répartir l'énergie électrique,“ RTE - Réseau de transport d'électricité, 2015. [Online]. Online verfügbar: <http://www.rte-france.com/fr/article/recevoir-transformer-et-repartir-l-energie-electrique>. [Zugriff am 01.12.2016].
- [32] EMFS, „EMFS.info - Substations,“ National Grid, 2016. [Online]. Online verfügbar:
<http://www.emfs.info/sources/substations/>. [Zugriff am 12.01.2016].
- [33] L. Stobbe, M. Proske, H. Zedel, R. Hintemann, J. Clausen und S. Beucker, „Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - Abschlussbericht,“ Fraunhofer IZM, Berlin, 2015.
- [34] R. Hintemann, „Deutliches Wachstum bei deutschen Rechenzentren – Update 2015,“ Borderstep Institute, Berlin, 2015.
- [35] R. Hintemann und J. Clausen, „Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation,“ Borderstep Institut, Berlin, 2014.
- [36] R. Hintemann und K. Fichter, *Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland - Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz*, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2010.
- [37] GSMA, „Green Power for Mobile - The Global Telecom Tower ESCO Market,“ 2014.

12 Expertenbefragungen im Rahmen dieser Studie

Bereich	Organisation	Kontakt
Gesamtstudie und Brennstoffzellen allgemein	Heliocentris	Dr. Henrik Colell
		Christian Leu
	Proton Motor	Sebastian Goldner
	New-Enerday	Dr. Matthias Boltze
	SFC Energy	Kai Steckmann
Bahninfrastruktur	DB Netz AG	Max Schubert
	DB Station&Service	Marc Dittmann
Basisstationen Funknetze	Hydrogenics	Martin Tröger
BOS Funk	Zentraldienst der Polizei - Projektorganisation Digitalfunk BOS Brandenburg	Sascha-Wolfgang Baltruschat
	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS)	Peter Lenuweit
Rechenzentren	Hydrogenics	Mark Kammerer
Gasversorgung	Hansewerke	Kurt Jürgen Gahntz
Kathodischer Korrosionsschutz	VC-Austria	Walter Plak
NEA Märkte allgemein	Power Systems Research	Edward Hadingham
Öl- und Gasindustrie	Simark Controls	Björn Ledergerber
Rechenzentren	Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH	Dr. Ralph Hintemann
	Notstromtechnik Clasen GmbH	Torsten Ped
Straßenwetterstationen	Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr	Dr. Heinz Dirnhofer
	G. Lufft GmbH	Tobias Weil
	Vaisala	Frank Zokoll
Umspannwerke und Transformatoren	VDE	Thoralf Bohn
	ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.	Dr. Rainer Korthauer
	Bayernwerk	Willibald Gierl
	Modl GmbH	Nicole Modl
	Amprion GmbH	Peter Rümenapp