

Stationäre Brennstoffzellen für Eisenbahninfrastrukturen

Brennstoffzellen-Netzersatzanlagen sind umweltfreundlich, leise und wartungsfreundlich – Eigenschaften, die die Bahninfrastruktur optimieren.

MAX REINHARDT | DANIEL CONRAD |
MARCUS KLAER

Brennstoffzellen-Netzersatzanlagen sind die saubere und zuverlässige Alternative zum konventionellen Dieselaggregat. Aber sind das schon alle Einsatzgebiete dieser Technik? Nein. Auch andere Verbraucher der Schieneninfrastruktur können und werden mit Energie aus Brennstoffzellen versorgt. So sind ländlich gelegene Bahnhöfe und Haltepunkte entsprechende Anwendungsfälle, bei denen Zugzielanzeiger, Beschallung und Beleuchtung rund um die Uhr mit um-

weltfreundlich erzeugter Elektroenergie versorgt werden. Ebenso wird die Brennstoffzellentechnologie auch in der Kommunikation zur Absicherung von Funkstandorten eingesetzt. Die Anwendungsfälle sind also durchaus vielfältig und lassen sich beliebig erweitern. Dazu werden die Systeme hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Brennstofflagerung ständig weiterentwickelt.

Netzersatzanlagen mit Brennstoffzellen

Im Folgenden soll die Anwendung der Brennstoffzelle im Bereich Netzersatz beschrieben werden. Dies betrifft vor allem den Einsatz

in Stellwerken und an Funkstandorten. Einen Einblick in den allgemeinen Aufbau von Brennstoffzellen-Netzersatzanlagen gibt der folgende Abschnitt.

Bestandteile von Brennstoffzellen-Netzersatzanlagen

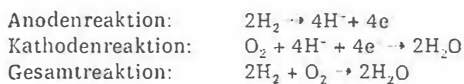
Die Netzersatzanlage besteht aus verschiedenen Bestandteilen. Gegenüber dem Dieselmotor sind sie deutlich kompakter. Einen Vergleich zeigt Tab. 1.

▪ **Brennstoffzellenmodul:** Die Brennstoffzelleneinheit ist das Herzstück der Anlage. In ihr werden die Reaktionsgase (üblicherweise Wasserstoff und Sauerstoff) in elektrische Energie umgewandelt. Die



Funktionsweise einer Brennstoffzelle

Die Brennstoffzelle (eng. Fuel Cell) nutzt zur Erzeugung elektrischer Energie das Prinzip der „kalten Verbrennung“. Es gibt verschiedene Arten von Brennstoffzellen, die sich beispielsweise in der Reaktionstemperatur und Brennstoffart unterscheiden. Je nach Typ benötigt die Brennstoffzelle z. B. Wasserstoff, Methanol oder Propan. Im Folgenden soll exemplarisch die PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) zur Beschreibung dienen. Diese Niedrigtemperatur-Brennstoffzelle hat eine Reaktionstemperatur zwischen 60°C und 80°C und wird mit Wasserstoff betrieben. Bei diesen Temperaturen läuft in der Zelle eine Redoxreaktion mit folgenden Reaktionsverläufen ab:



Daraus lässt sich die Funktionsweise der Brennstoffzelle ableiten, die in Abb. 1 dargestellt ist. An der Anode oxidiert der eingeleitete Wasserstoff und spaltet sich in Elektronen und Protonen auf. Die Protonen diffundieren durch die Polymermembran zur Kathodenseite, während die Elektronen als freie Ladungsträger einen äußeren Stromkreis durchwandern und elektrische Arbeit verrichten können. Der auf der Kathodenseite zugeführte Sauerstoff wird nun durch die Elektronen reduziert und verbindet sich mit den Wasserstoffprotonen zu Wasser. Somit entstehen aus den zugeführten Stoffen Wasser- und Sauerstoff nun elektrische Energie, Wasser und Wärme. [3] Da einzelne Zellen jedoch im Normalfall lediglich Leistungen im Watt-Bereich zur Verfügung stellen können, nutzt man in der Praxis sogenannte „Stacks“ (Stapel), bei denen mehrere Zellen in Reihe geschaltet sind, um sinnvolle Leistungen zu erzielen. Diese Stacks sind äußerst variabel in ihren Leistungen und darüber hinaus zur Leistungssteigerung auch mit weiteren Stacks kombinierbar. Besondere Vorteile sind die schnelle Verfügbarkeit der vollen elektrischen Leistung bereits nach wenigen Sekunden sowie der modulare Aufbau.

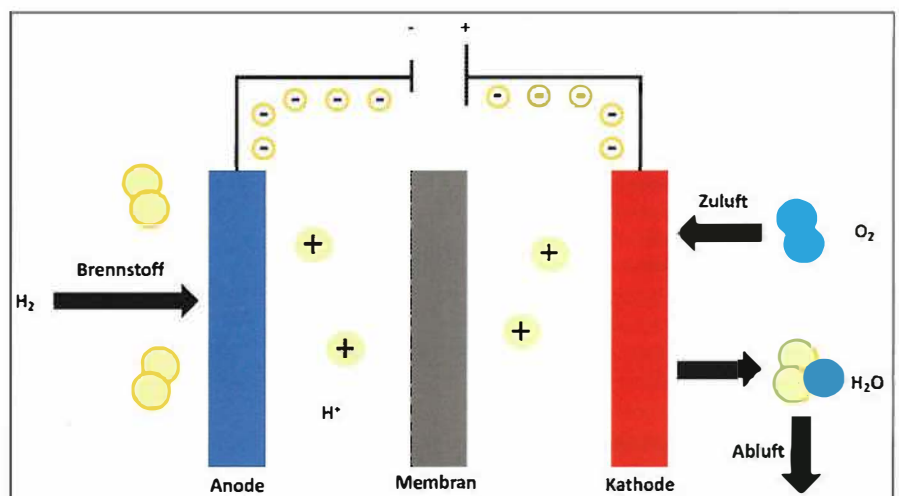
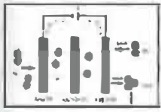


Abb. 1: Funktionsweise Brennstoffzelle (nach [3])



Module können je nach Leistungsbedarf zusammengeschaltet werden. Ebenfalls wird eine hohe Skalierbarkeit zwischen Minimal- und Maximalleistung erreicht.

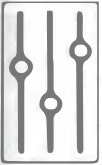
- **Pufferbatteriesystem:** Das Pufferbatteriesystem ist notwendig, um die Startphase der Brennstoffzelle zu überbrücken. Brennstoffzellen können innerhalb weniger Sekunden ihre Nennleistung bereitstellen. Die Baugruppe übernimmt die Speisung der elektrischen Anlage, während sich die Brennstoffzelle im Hochlauf befindet. Mit dem System muss in der Regel eine Überbrückungsdauer von 20 Sekunden erreicht werden; daher ist die Pufferbatterie verhältnismäßig klein.



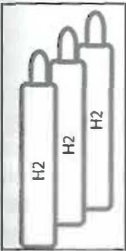
- **Wechselrichter:** Da die Brennstoffzelle lediglich eine Gleichspannung zur Verfügung stellen kann, ist ein Wechselrichter notwendig, der die Gleichspannung in eine Dreiphasen-Wechselspannung umwandelt. Je nach Anlagenanforderung sind auch andere Spannungen möglich.



- **Steuereinheit:** Die Steuereinheit ist dafür zuständig zu erkennen, wann der Netzersatz benötigt wird und dementsprechend die nachgeschaltete Anlage vom öffentlichen Netz zu trennen und die Inselversorgung aufzubauen (Umschaltvorrichtung). Weiterhin ist die Einheit dafür verantwortlich, je nach Leistungsbedarf die parallel geschalteten Zellen hoch- bzw. herunter zu fahren, um die Erzeugerleistung an die Verbraucherleistung anzupassen. Ebenfalls gehören Versorgungsleitungen dazu. Das Online-Monitoring ist mit der Steuereinheit verbunden und ermöglicht einen Live-Status der Anlage, mit Informationen zum Brennstoffvorrat und zu weiteren Betriebsparametern.



- **Gassystem / Wasserstofflager:** Zur Versorgung der Brennstoffzelle ist ein Gassystem nötig. Der Brennstofftank wird hierbei üblicherweise mit einzelnen Gasflaschen oder mit Flaschenbündeln realisiert. Dabei können, sofern es mehrere unabhängige Flaschen oder Bündel gibt, die Behälter auch während des Betriebs gewechselt werden. Wasserstoff hat kein Ablaufdatum und muss deshalb nicht ausgetauscht werden.



Stellwerke – Zuverlässigkeit durch Brennstoffzellen-Netzersatzanlagen

Stellwerke sind zentrale Punkte des Eisenbahnbetriebs; sie sind Mittelpunkt der Fahr-

Bestandteil	Brennstoffzellen-NEA	Diesel-NEA
Brennstoffzelle/Motor	X	X
Generator		X
Brennstoffpumpe		X
Ölpumpe		X
Vorwärmung (Diesel)		X
Abgasanlage und Reinigung		X
Ölauffangsystem		X
Geräuschdämmung		X
Steuereinheit	X	X
Pufferbatterie	X (ca. 1 h)	X (ca. 3 h)
Brennstoffvorrat	X	X

Tab. 1: Gegenüberstellung Brennstoffzellen- und Diesel-Netzersatzanlage (NEA)

wegsicherung. Bei einem Spannungsausfall ist ein Betrieb nur noch in der Rückfallebene möglich. Daher ist die Ausstattung eines Stellwerks mit einer Netzersatzanlage gemäß Ril 819.0901 vorgeschrieben. In der Richtlinie ist festgehalten, dass die neue Technologie der Brennstoffzellen-Netzersatzanlage eingesetzt werden darf [1]. Dieselaggregate, die bislang üblicherweise für den Netzersatz zum Einsatz kommen, erzeugen Geräusch- und Schadstoffemissionen. Darüber hinaus haben sie einen hohen Platzbedarf und einen vergleichsweise hohen Wartungsaufwand. Mit der Brennstoffzelle kommt nun die Technologie der kalten Verbrennung zur Anwendung, die es ermöglicht, diese Nachteile zu beseitigen und die Lebenszykluskosten der Netzersatzanlage zu senken [5]. In Sömmerda betreibt die Deutsche Bahn AG (DB) seit September 2018 eine Brennstoffzellen-Netzersatzanlage, die gemeinsam von der DB Netz, Proton Motor Fuel Cell und der

DB Bahnbau Gruppe entwickelt wurde. Mit der Power-Unit der DB Bahnbau Gruppe ist ein Eins-zu-Eins-Tausch zum konventionellen Dieselgenerator möglich [2]. Nur einmal jährlich ist eine Inspektion der Anlage notwendig. Durch automatisierte Selbsttests einschließlich Protokollierung wird der zuverlässige Betrieb fortwährend geprüft. Die Häufigkeit der Selbsttests kann frei gewählt werden. Durch die Onlineüberwachung können die Betriebsparameter wie z.B. Brennstoffvorrat, Restlaufzeit oder Betriebszustand auf dem PC oder Mobilgerät eingesehen werden. Ebenfalls ist eine E-Mail- oder SMS-Benachrichtigung, z.B. bei geringem Brennstoffvorrat, vorgesehen. Dadurch kann der Zustand der Anlage aus der Ferne eingesehen werden, was zu einem deutlich reduzierten Wartungs- und Instandhaltungsaufwand führt, bei gleichzeitig hoher Zuverlässigkeit der Netzersatzversorgung des Stellwerks.



Abb. 2: „Power-Unit“ 25 kW Brennstoffzellen-Netzersatzanlage im Stellwerk Sömmerda (Thüringen), Indoor-Anlage

Quelle: Stev Benz



Abb. 3: Rostock – Warnemünde – Pilotanwendung der neuen digitalen Stellwerkstechnik
Quelle: Daniel Conrad



Abb. 4: „Power-Unit“ 6 kW Brennstoffzellen-Netzersetzanlage für Funkstandorte, Outdoor-Anlage
Quelle: Frank Luckau

Netzersetzung für die Digitale Schiene Deutschland

Im Rahmen der „Digitalen Schiene Deutschland“ (DSD) wird die gesamte Schieneninfrastruktur digitalisiert. Die DSD hat das primäre Ziel, den Schienenverkehr in Deutschland wettbewerbsfähiger gegenüber anderen Verkehrsträgern zu machen. Darüber hinaus steigert sie die Kapazität und Effizienz, erweitert den Umweltschutz und erhöht die Zuverlässigkeit der Anlagen.

Ein wesentlicher Bestandteil der DSD ist die sogenannte Digitale Leit- und Sicherungstechnik (DLST). Technisch werden mit dem Programm DLST die neuen Techniken zur Zugbeeinflussung (ETCS, European Train Control System) mit der künftigen Stellwerkstechnik verknüpft. Das Digitale Stellwerk (DSTW) wird damit als zentrale Komponente alle Funktionen bündeln und über bewusst offen gestaltete Schnittstellen die Einzelsysteme verknüpfen. Entstehen wird so eine universelle Stellwerksgeneration der Zukunft, die eine bisher existierende große Vielfalt der Bestandteile ablösen wird. Grundsätzlich basieren alle Systeme des DSTW auf einer stark erweiterten Standardisierung aller eingesetzten Bauteile. Gleichzeitig wird der Funktionsumfang gegenüber den Vorgängergenerationen deutlich erhöht und damit die Möglichkeit von Diagnosefunktionen (z. B. DIANA) intelligent verknüpft sowie die Zuverlässigkeit der Stellwerke weiter erhöht. Die Architektur der DSTW enthält mehrere Stufen, vom Technik- und Bedienstandort, dem Herz und Gehirn des DSTW, über den sogenannten Gleisfeldkonzentratoren, der die Stellbefehle bündelt und übermittelt, bis hin zum Feldelementanschlusskasten (FeAk), der den Adressaten der Befehle darstellt.

All diese Technik wird dezentral mit Energie versorgt werden müssen, was erhebliche Anforderungen an die Versorgung in der Fläche stellt, besonders im ländlichen Raum.

Zur Steigerung der Verfügbarkeit auch bei Extremwetterlagen, Havarien und sonstigen Störungen wird die Errichtung einer großen Zahl von Netzersetzanlagen notwendig werden, die durch verschiedene Systeme realisiert werden können. Die technischen Lösungen unterscheiden sich hinsichtlich der Wirkungsweise, des Wirkungsgrades, der Umweltverträglichkeit, der möglichen Autonomiezeit und der Anforderungen an die Betriebsumgebung. Bei der Neuerrichtung von Netzersetzanlagen folgt die DB den gesteigerten Anforderungen an die Ausfallsicherheit, um die Verfügbarkeit der Anlagen und damit die Performance der Technik entsprechend zu steigern. Wegen der allgemein gestiegenen Umweltauflagen, besonders im innerstädtischen Bereich, ist eine gesonderte Betrachtung der Varianten für Netzersetzanlagen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit erforderlich, was zu einer eingeschränkten Verfügbarkeit der bisher eingesetzten Anlagen mit Dieselmotoren führen kann.

Netzersetzanlagen können beliebig modularisiert und mit breiten Leistungsspektren von wenigen Kilowatt bis hin zu großen Leistungen konzipiert und gebaut werden. Dabei erfüllen die Anlagen der DB Bahnbaugruppe die strengen Sicherheitsanforderungen hinsichtlich der Gasdichtigkeit und garantieren eine Versorgungssicherheit der Stellwerke bis zu 72 Stunden, ohne den Brennstoffvorrat austauschen zu müssen. Diese Autonomiezeit wird für Anlagen, zu denen die Stellwerke gehören, durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) in Bonn empfohlen. Mit dieser technischen Aufrüstung der digitalen Stellwerkstechnik werden nicht nur die zuvor angesprochenen Punkte der Zuverlässigkeit und Sicherheit erfüllt. Die DB betreibt damit aktiven Klimaschutz und trägt somit weiter konsequent zur Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung bei.

Funkstandort – Aufrechterhaltung der Kommunikationswege bei Stromausfall

Ob Daten oder Gespräche, ohne Kommunikation sind Koordinierung und Informationsaustausch nicht möglich. Besonders im Ernstfall, bei Stromausfall, wenn diverse Anlagen nicht mehr funktionieren, kommt der Kommunikation eine besondere Bedeutung zu. Auch hier wird die Brennstoffzelle als Energielieferant eingesetzt. Die Anlagen sind z. B. in einem besonders widerstandsfähigen Outdoor-Schrank untergebracht. Dieser beinhaltet alle Komponenten: Flaschenlager (Abb. 4 links), Brennstoffzelle, Steuerung, Pufferbatterie (Abb. 4 rechts). Da Funkstandorte meistens keine gute Verkehrsanbindung besitzen, ist ein geringer Wartungs- und Instandhaltungsaufwand besonders wichtig. Die Brennstoffzellensysteme müssen nur einmal jährlich gewartet werden – eine gute Voraussetzung für die Anwendung bei den weitläufig verteilten Funkstandorten. Beispielhaft kann das Behördenfunknetz genannt werden. Die DB Bahnbaugruppe hat hier bereits eine zweistellige Anzahl von Anlagen im Großraum Bayern installiert.

Dauerstromversorgung mit der Off-Grid Box – Strom ohne lange Leitung

Die Off-Grid Box kombiniert zwei ökologische Stromerzeugungen. Im Sommer wird die Sonnenenergie genutzt und wenn in den Wintermonaten die Einstrahlung nicht ausreichend ist, liefert die Brennstoffzelle die elektrische Energie. Eine Batterie dient als Pufferspeicher. Die Brennstoffzelle wird mit Methanol, das sich in praktischen, tragbaren Kanistern befindet, betrieben. Sie soll kleine Verbraucher mit bis zu 100 W Dauerleistung (Taktbetrieb höher) mit Energie versorgen [4]. Das reicht in vielen Fällen für Sensoren, Dynamische Schriftanzeiger oder Steuereinheiten vollkommen aus. Tatsächlich werden meist nur wenige Watt benötigt. Die Off-Grid Box ist eine vollständige Eigenentwicklung der DB Bahnbaugruppe



Abb. 5: Vorstellung der Off-Grid Box auf der InnoTrans 2018 mit Besuch von Richard Lutz und Ronald Pofalla
Quelle: Stev Benz



Abb. 6: Off-Grid Box in Friedelhausen (bei Gießen) zur Versorgung eines doppelseitigen Dynamischen Schriftanzeigers
Quelle: Marcus Klaer

und ist auf die Bahnanforderungen von Elektroenergieanlagen angepasst. Im Folgenden werden zwei Anwendungsbeispiele vorgestellt.

DSA in Friedelhausen und Werdorf – grün und mit geringem Bauaufwand

Am Haltepunkt in Werdorf sowie Friedelhausen versorgt die Off-Grid Box je einen dop-

pelseitigen DSA (Dynamischer Schriftanzeiger). Der Betreiber DB Station&Service kann nun seine Fahrgäste über aktuelle Verkehrssituationen informieren. Die Anlage wurde dieses Jahr in Betrieb genommen.

Die Off-Grid Box kann bei diesem Einsatzgebiet ihre Stärken voll ausspielen. Die konventionelle Kabelverlegung einschließlich Gleisdurchörterung konnte in Werdorf und

Friedelhausen nicht ohne weiteres angewendet werden. Auf der Strecke verkehren Regional- und Güterzüge mit bis zu 160 km/h. Das Besondere ist die hohe Auslastung der Strecke. Sie macht eine Sperrung und das konventionelle Arbeiten zur Erdkabelverlegung während des Eisenbahnbetriebs beschwerlich und langwierig. Die Erdarbeiten für die Off-Grid Box sind hier deutlich geringer. Es

www.pintsch.net



Systemlösungen für die Bahninfrastruktur

- Bahnübergangstechnik
- Bahnsteigtüren
- Lichttechnik
- Sensortechnik und Achszählung
- Stellwerks- und Fördertechnik
- Weichenheizung
- Tunnelsicherheits- und Gleisfeldbeleuchtung
- Digitalisierung und Diagnose


PINTSCH
Sicherheit für die Bahn



Abb. 7: Off-Grid Box Nähe Rothenburg o. d. T. zur Versorgung einer TUZ-Anlage

Quelle: Marcus Klaer

werden nur ein Fundament für den Mast, ein Schachtsockel für den Schaltschrank und die Leitung zum Verbraucher (hier DSA) benötigt. Meist liegen Verbraucher und Erzeuger dicht beieinander; so auch hier.

Durch die Onlineüberwachung können diverse Zustandsparameter sichtbar gemacht werden. Hierzu gehören der Zustand der Batterie (Spannung, Ladezustand), solare Erträge oder auch der tatsächliche Energieverbrauch der angeschlossenen Anlage. Letztere Daten sind dabei besonders interessant, meist liegt der tatsächliche Bedarf deutlich unter den Herstellerangaben.

Kleiner Verbraucher, große Unterstützung für den Fahrdienstleiter – Off-Grid Box versorgt TUZ

In der Nähe von Rothenburg o. d. T. wird eine TUZ-Anlage (technisch unterstützter Zugleitbetrieb) mit Brennstoffzelle und Photovoltaik versorgt. Im Umkreis von mehreren Kilometern ist hier keine Energieversorgung vorhanden. Die Lösung: Strom vor Ort produzieren! Die Off-

Grid Box liefert die notwendige Energie, um die TUZ-Anlage zu betreiben. Von 2016 bis 2018 war hier bereits eine temporäre Brennstoffzelle ohne Photovoltaik zuverlässig im Einsatz. Die DB Netz hat sich 2018 dazu entschlossen, eine stationäre Anlage mit Photovoltaik zu installieren. Durch die Nutzung der Sonnenenergie wird der Brennstoffbedarf um ein Vielfaches reduziert. Die Off-Grid Box konnte in direkter Nähe zur TUZ-Anlage installiert werden.

Die Off-Grid Box wird intelligent

Die Innovationsinitiative „Gleislabor“ der DB Bahnbau Gruppe fördert Ideen der Mitarbeiter, so auch die Off-Grid Box. Dort wurde eine Software entwickelt, mit deren Hilfe für verschiedene Standorte die individuellen Betriebszustände simuliert werden können. Die elektrische Energie der Off-Grid Box kommt aus der Photovoltaik, aus der Brennstoffzelle und aus der Batterie. Ist nur wenig Sonnenenergie vorhanden und die Batteriespannung schwach, springt die Brennstoffzelle ein. Es gibt Situationen, in denen die Sonne sehr

schwankend scheint (typischerweise in der Übergangszeit) und somit die Brennstoffzelle in einen zyklischen Betrieb führen würde. Über Wetterdaten besteht die Möglichkeit, die Solarerträge vorherzusagen. Ist in den nächsten Stunden mit viel solarer Strahlung zu rechnen, kann die Batterie weiter entladen werden, da demnächst wieder genügend Sonnenenergie zum Laden zur Verfügung steht. Die Folge: größere Ausnutzung der Solarenergie, weniger Taktbetrieb und geringerer Brennstoffverbrauch. ■

QUELLEN

- [1] Ril. 819.0901 Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik Grundsätze; gültig ab 01.01.2015
- [2] TM2-2018-10453 I.NPS 3 zu Ril 819: Betriebserprobung einer Brennstoffzelle mit Umschalterschrank der Firma DB Bahnbau Gruppe als Netzersatz für das ESTW Sömmerda; 31.08.2018
- [3] Chemische Reaktionen der Brennstoffzelle <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/1308051.htm>; letzter Zugriff am 04.06.2019
- [4] Systembeschreibung Off-Grid Box; Version 1.2
- [5] Produktflyer Power-Unit; Stand 09/2018



Max Reinhardt

Technischer Mitarbeiter
Elektrische Energiesysteme
Serviceeinheit Ausrüstung
DB Bahnbau Gruppe GmbH, Halle/Saale
max.reinhardt@bahnbaugruppe.com



Daniel Conrad

Key Account Digitale Infrastruktur
Serviceeinheit Ausrüstung
DB Bahnbau Gruppe GmbH, Berlin
daniel.conrad@deutschebahn.com



Marcus Klaer

Bauleitung / Vertrieb
Alternative Energiesysteme
Serviceeinheit Ausrüstung
DB Bahnbau Gruppe GmbH, Berlin
marcus.klaer@bahnbaugruppe.com