

WASSERSTOFFBETRIEBENE BRENNSTOFFZELLEN- NOTSTROMANLAGEN IM FELDTEST

Institut für Maschinen- und Energietechnik IME
CC Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik

Ulrike Trachte

Senior Wissenschaftliche Mitarbeiterin

T direkt +41 41 349 32 49
ulrike.trachte@hslu.ch

Horw 21.01.2021

Energieforschungsgespräche Disentis 2021
20.-22. Januar 2021, online



Die Hochschule Luzern in Zahlen

Sechs Departemente

**Technik &
Architektur**

Seit 1958



1873

Wirtschaft

Seit 1971



2'242

Informatik

Seit 2016



864

**Soziale
Arbeit**

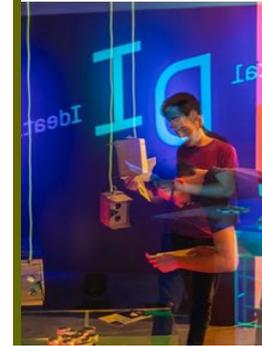
Seit 1918



829

**Design
& Kunst**

Seit 1877



712

Musik

Seit 1942



546

Anzahl Studierende insgesamt **7'066**
(Bachelor und Masterstudiengänge im Jahr 2019)

Die Hochschule Luzern in Zahlen

➤ Sechs Konkordatskantone

Luzern

Uri

Schwyz

Obwalden

Nidwalden

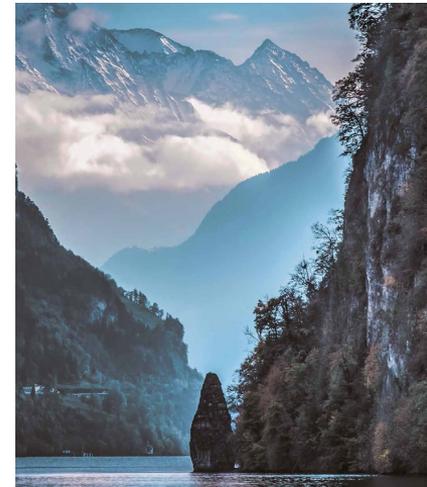
Zug

➤ **500 Forschungs- und Demonstrationsprojekte im Jahr 2019**

Leistungen im Wert von rund CHF 55,7 Millionen

➤ **Dienstleitungsprojekte Marktanalysen, Simulationen, Studien, Expertisen**

Leistungen im Wert von rund CHF 9,2 Millionen



Projekte mit Brennstoffzellen zur Notstromversorgung

- Themen:

- Systemintegration von Brennstoffzellen zur Notstromversorgung, Schwerpunkt Mobilfunkbereich
- Durchführung von Labor- und Feldtests

- Europäisches Projekt

FITUP (2010 bis 2015)

FC Field Test Demonstration of economic and environmental viability for portable generators, backup and UPS power applications

- Verschiedene nationale Projekte und Studien

- USV mit PEFC (2011 bis 2015)
- 15 kW USV mit CH-BZ (2014 bis 2019)
- **Langzeittest USV mit BZ im Feld** (2015 bis 2019)
- Konzeptstudie für ASTRA (2018 bis 2019)



BZ-Installation an HSLU T&A in Horw; Bildquelle: eigene

Risikoanalyse des Bundes zur Notstromversorgung



Nationale Risikoanalyse von Nov 2020

1. Strommangellage
2. Pandemie und
- 3. Ausfall Mobilfunk** als die drei grössten Risiken identifiziert

Bundesratsbeschluss vom 4. Dez 2020:

... bedarf es zusätzlicher Vorkehrungen durch die Netzbetreiber.



*Zunächst soll bis in etwa fünf Jahren eine **landesweite stromausfallsichere Mobilfunkversorgung für Notrufdienste** sichergestellt werden.*

*... in **längerfristigen Schritten die garantierte schweizweite Versorgung mit mobilen Sprach- und Datendiensten auch in einer Stromversorgungskrise an.***

*Diese Ziele sollen in der **Verordnung über Fernmeldedienste** verankert werden.*

State-of-the-art

- für kurze Stromausfälle von 1 bis 8 Stunden (abhängig von Last)
 - **Standard-USV mit Batterien**
- für länger andauernde Stromausfälle und Katastrophenszenarien
 - **Diesel-/Benzingeneratoren** dies bedingt meist Personal vor Ort, um den Tank nachzufüllen *
- Für das Sicherheitsfunknetz Polycom werden 72 Stunden Autonomie gefordert



Bildquelle: eigene



Bildquelle: eigene



Bildquelle: Keding



Bildquelle:
Pramac



Bildquelle: Mosa

* Es gibt kantonal verschiedene Lösungen

Motivation - Projektziele

Vorteile von Brennstoffzellen gegenüber herkömmlichen Technologien

Im Vergleich zu Generatoren arbeiten Brennstoffzellen

- ✓ umweltfreundlich ohne lokale Emissionen
- ✓ leise und effizient mit gutem Wirkungsgrad

Individuell skalierbare Backup Zeit über Bereitstellung von Wasserstoff

- ✓ Wasserstoff nachfüllbar ohne Betriebsunterbruch

Gute Regelbarkeit und Fernüberwachung des Systems

- ✓ Anzeige verbleibender Autonomiezeit

Unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen im Gegensatz zu Batterien

Projektziele

- Nachweis der Zuverlässigkeit der Systeme von über 99%
- Start-up Zeiten unter 5 ms
- Erfahrungen sammeln zum Betrieb von Brennstoffzellen und
- im Umgang mit Wasserstoff

Standorte in der Schweiz

Notstromversorgung
mit Brennstoffzellen für

Polycom – Sicherheitsfunknetz der Schweiz
Mobilfunk - Telekommunikationsdienste



Polycom, Bern

Swisscom
Luzern

POLYCOM, NW

POLYCOM,
NW

Swisscom
Graubünden

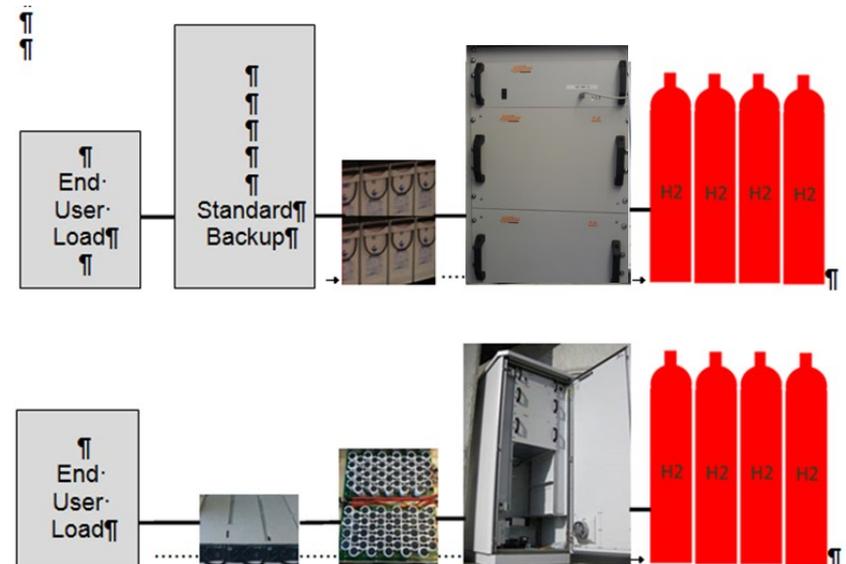
Vorgehen

- Standortbestimmung und
- **Integration der Brennstoffzellensysteme in bestehende Installationen**
 - Spannungsschnittstellen, Einbindung von Alarmen/Fehlermeldungen, Wasserstoffbereitstellung, Messstellen, ...)
- **Testkonzept**
 - Durchführung von **ferngesteuerten Stromausfallsimulationen**
 - Testprogramm
 - Durchführung von **Stresstests**, kurzen Stromausfällen von ca. 30 Min bis 1 Stunde
 - 4 Stunden Tests und **Katastrophenszenario bis 72 Stunden** Stromausfall
- Messdatenerfassung und –speicherung
- Auswertung (später automatisiert)

Systemintegration - Betriebskonzepte

Integration der Brennstoffzelle in bestehende Anlagen

1. Ohne Standard-USV
Brennstoffzelle mit Batterien als
Start-up Einheit
2. Mit Standard-USV mit Batterien und
Brennstoffzelle
 - 2.1 Batterie für Start-up
 - 2.1 Batterie für die ersten Stunden und
Brennstoffzelle als range extender
3. Brennstoffzelle mit Superkapazitäten als
Start-up-Einheit und Wechselrichter
(AC/DC Wandler), Stand-alone-System



Technische Spezifikationen

- BZ-Typ PEM (Proton-Exchange-Membran)
- Leistung 2 kW bis 6 kW
- Spannung ± 54 VDC
- Kühlung luftgekühlt
- Monitoring remote

- Wasserstoff 50 Liter Zylinder, 200 bar
Qualität 4.5
- Sauerstoff aus Umgebungsluft



6 kW BZ Rack
3 BZ-Module à 2 kW



4 kW BZ Rack
2 BZ-Module à 2 kW



2 kW BZ Rack
10 BZ-Kartuschen
à 200 W

Wasserstoffinstallationen - Beispiele

Im Sommer



4 Zyl à 50 l, 200 bar
1 Haupt-, 3 Reservezylinder
Autonomie 19 h + 8 h Batterie bei
Nennlast **2.5 kW**

Im Winter

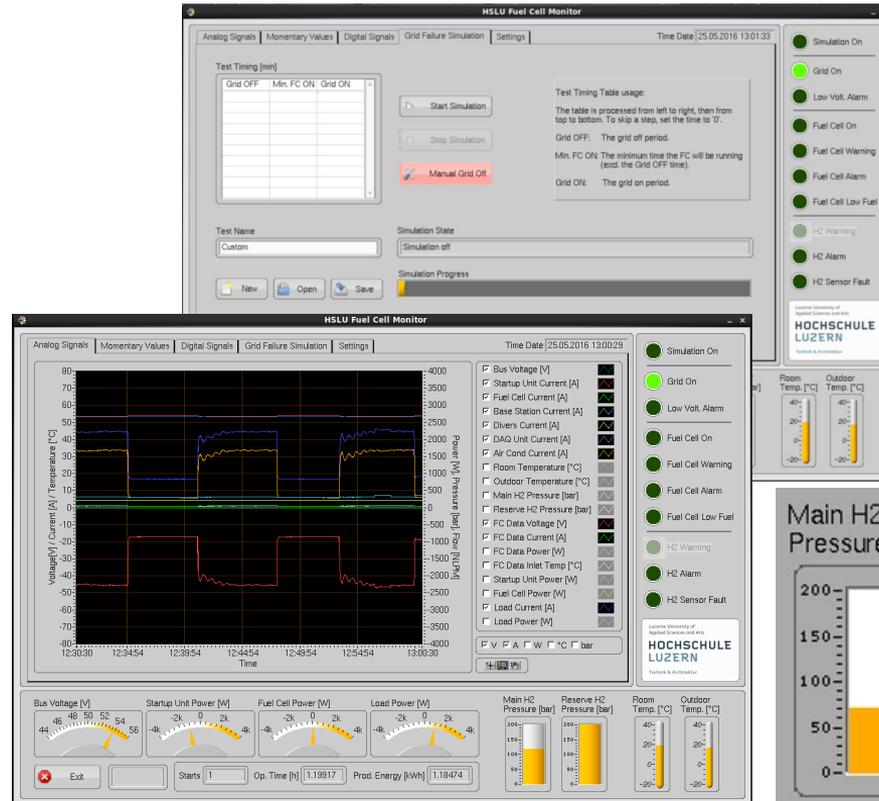


6 Zyl à 50 l, 200 bar
2 Haupt-, 4 Reservezylinder
Autonomie 24 h
bei Nennlast **3 kW**



4 Zyl à 50 l, 200 bar
1 Haupt-, 3 Reservezylinder
Autonomie 70 h
bei Nennlast **0.6 kW**

Messequipment – Simulations- und Messsoftware



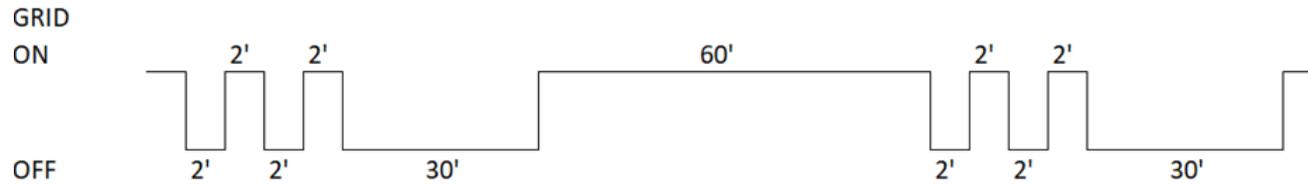
Web-Interface

- Ferngesteuerte Durchführung von Stromausfallsimulationen
- Anlagenüberwachung

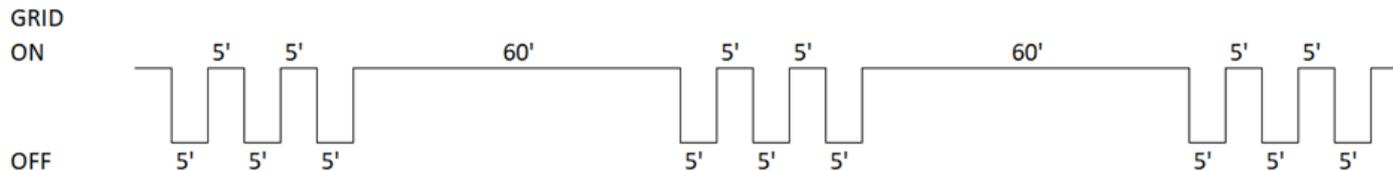
- Wasserstofffüllstand für verbleibende Autonomiezeit

Testprogramm

- Funktionstests: 30 Minuten, 1 Stunde
- Langanhaltender Stromausfall: 4 Stunden
- Stresstest 1
Zwei Zyklen nacheinander mit 2 Min off, 2 Minuten on, 30 Min off, 1 Stunde off.

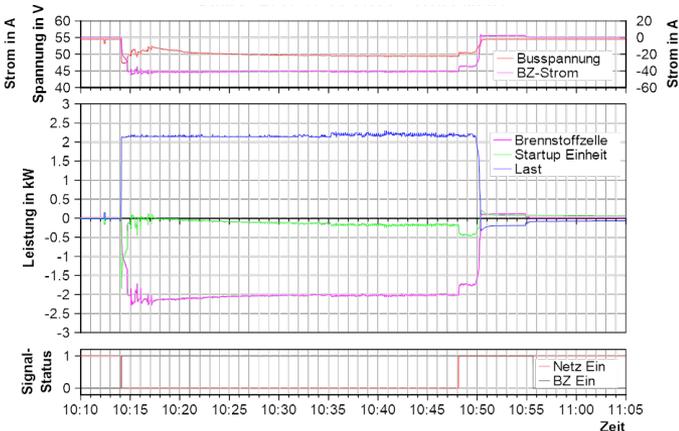
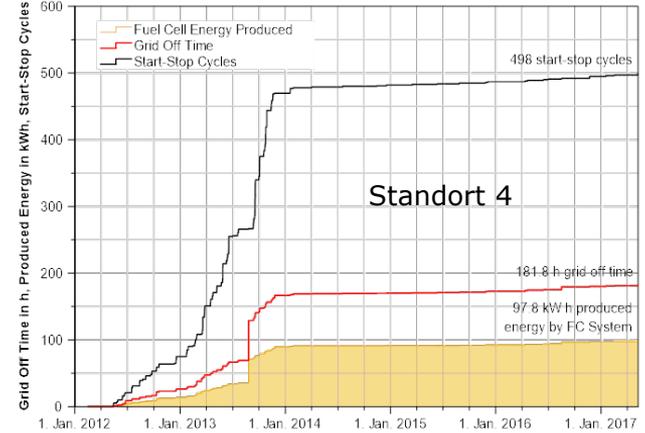
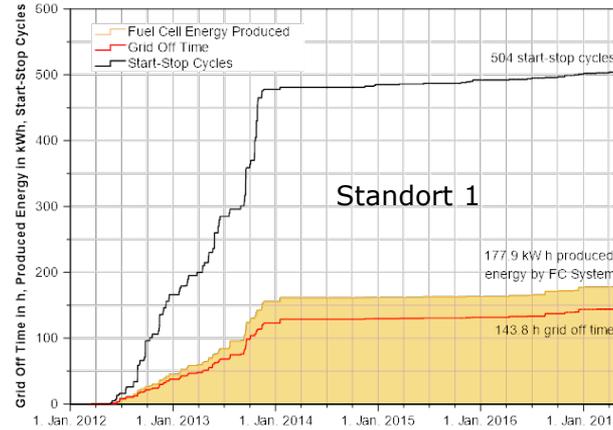


- Stresstest 2
Drei Zyklen nacheinander mit 5 Min off, 5 Minuten on, 1 Stunde off zwischen den Zyklen.



Testauswertung

- Betriebsdiagramme der einzelnen Standorte
- Darstellung von
 - Start-Stopp Zyklen
 - produzierter Energie
 - Laufzeit in Stunden
- Automatisierte Messdatenauswertung mit DIADEM
 - Spannungsverlauf
 - Stromstärken
 - Leistungskurven



Wasserstoffinstallation:

Leckagen: insgesamt drei Leckagen seit 2015
Davon konnten zwei bei der Wartung behoben werden

Bauteilaustausch: Zwei Spülventile mussten ausgetauscht werden

An zwei Standorten gab es keine Leckagen und bisher keinen Bauteilaustausch ausserhalb der Wartungszyklen.



Brennstoffzellenstapel:

Standby-Zeit von ca. 5 - 6 Monaten an zwei Standorten

Standort auf 2'400 m: Regeneration der Brennstoffzellenstapel erforderlich (beim Hersteller)
Ob ein Zusammenhang mit der trockeneren Luft besteht, konnte nicht geklärt werden.

Standort am Berghang: Start des Brennstoffzellensystems ohne Probleme

Stromausfälle real:

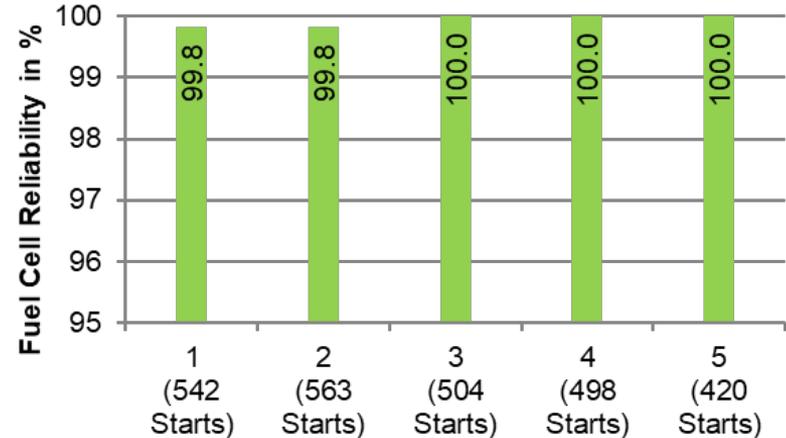
Standort	Anzahl der realen Stromausfälle
Telekommunikation 1	5
Telekommunikation 2	3
Polycom 1	1
Polycom 2	8
Polycom 3	6

Ergebnisse – Testdaten seit Inbetriebsetzung

Standorte	IBS	KW	Nennlast	Anz Startup	Start-up Zeit	Grid off Zeit	Prod. Energie	Zuverlässigkeit
Telekommunikation 1	Dez 2011	6	4.5 kW	559	< 5ms	151 h	478 kWh	99.6 %
Telekommunikation 2 Alpenraum	Nov 2011	6	3 kW	580	< 5ms	161 h	212 kWh	99.6 %
POLYCOM 1 Berghang	Nov 2011	4	2.5 kW	518	< 5 ms	166 h	220 kWh	100 %
POLYCOM 2 Outdoor	Nov 2011	4	0.6 kW	530	< 5 ms	176 h	105 kWh	100 %
POLYCOM 3 Indoor	Juni 2012	2	0.7 kW	413	< 5ms	163 h	136 kWh	100 %

Ergebnisse

- ✓ Zuverlässigkeit der Systeme 99.6 % - 100 %
- ✓ Schneller Start-up beim Aufstarten der Brennstoffzelle (Batterie)
- ✓ Wartungsarm - Service-Zyklen konnten auf 2 bis 3 Jahre reduziert werden, allenfalls nur nach Bedarf



- ✓ Keine sicherheitsrelevanten Vorkommnisse während der Betriebszeit
- ✓ Die drei aktuell noch installierten Anlagen sind voll funktionsfähig und werden mit wenig Aufwand betrieben

Fazit

- ✓ Mit einer Zuverlässigkeit von über 99 % erfüllen die Systeme die Anforderungen der Betreiber.
- ✓ Die Brennstoffzellensysteme sind sehr robust und die Stapel haben eine gute Regenerationsfähigkeit.
- ✓ Nach 9 Jahren sind die installierten Systeme noch voll funktionsfähig und liefern die für die Last erforderliche Leistung.
- ☺ Servicesicherheit für Brennstoffzellensysteme ist zu überprüfen
 - Mit Herstellern/Lieferanten abklären, wie Service in der Schweiz verfügbar ist
 - Ideal ist ein Servicekonzept 'Alles aus einer Hand' für Brennstoffzelle und Gasinstallation
- ☺ Wasserstofflieferservice ist ausbaufähig
 - Vertriebskonzept der Gaslieferanten passte nicht zu den Bedürfnissen der Anwender
 - Wasserstoffinstallation von erfahrener Firma durchführen lassen
 - Sicherstellen, dass Ersatz-/Verschleissteile schnell verfügbar sind

Hemmnisse für den Markteintritt

☹ Investitionskosten sind immer noch hoch

→ Preislich interessant für hohe Leistungen und lange Autonomiezeiten

- Brennstoffzellen Systemleistung 4 kW ca. CHF 20'000.- zusätzl. Gasinstallation
- Diesel-/Benzingenerator ab ca. CHF 8'000.-
Betriebs- und Verbrauchskosten u.a. abhängig von Personalkosten
für Unterhalt und Notfallsituationen

☹ Verfügbarkeit von nachhaltig produziertem Wasserstoff

☹ Unsicherheit im Umgang mit Wasserstoff

☹ Aufbau von Vertrieb und Service für Brennstoffzellen-Produkte in der Schweiz

Der Markt kann sich schnell ändern durch:

- Entwicklung der politischen Rahmenbedingungen (Entkarbonisierung der Gesellschaft
 - z.B. Beschränkungen für Diesel und Benzin (Luftreinhalteverordnung etc)
- Finanzielle Anreize zur Förderung von Wasserstoff / Brennstoffzellen
- Entwicklung neuer geeigneter Füll-/Speichersysteme für Wasserstoff

Ausblick

- Verbreitung von Brennstoffzellen für die Notstromversorgung in der Schweiz noch sehr zurückhaltend

Weitere Anwendungsbeispiele

❖ ArmaSuisse

- Anwendung: talübergreifende Koordination von Messmitteln (Funkrelais 60 W)
- Brennstoffzelle mit Methanol betrieben
- Anforderungen: energieautark, luftverlastbar, Betrieb bis auf 4'000 m.ü.M.



Bildquelle: ArmaSuisse



Bildquelle: Fa. Siqens

❖ Deutschland

- vermehrt Nachfrage nach CO2 neutralen Lösungen für Notstrom im Telekommunikationsbereich
- Projekt mit Dauerstromversorgung bei dt. Telekom
- Konzepte werden diskutiert, dass BZ-Systemhersteller CO2-neutrale Energie anbieten und dafür Betrieb und Service der Anlagen übernehmen.

BZ-System mit
Bio-Methanol



Bildquelle: Dt. Telekom

DANK an

Projektpartner

- Swisscom AG
- Polycom, Bern
- Betriebskommission Polycom Nidwalden



Finanzielle Unterstützung der Projekte durch

- Bundesamt für Energie
- Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), FP7



Für **Rückfragen**
oder **Interesse an Zusammenarbeit**

Stehe ich gerne zur Verfügung unter:

ulrike.trachte@hslu.ch

**Besten DANK
für Ihre Aufmerksamkeit**