



Quelle: www.nexans.de

Isolierstoffprüfungen in der Energietechnik

Yannick Schubert, 03.02.2016

Agenda

1	Einleitung
2	Isolierstoffprüfungen
2.1	Prüfzertifikate
2.2	Überspannungsarten
2.2	Isolationskoordination
2.3	Prüfinstitutionen
2.4	Prüfungen und Normen
3	Fazit

Motivation

Energiewende:

- Atomausstieg bis 2022
- Energieüberschuss im Norden
- Energiemangel im Süden

→ Vernetzung von Norden und Süden
→ Stromübertragung über weite Strecken
→ Verbindung: Südlink

Problem:

- Bürgerproteste und – Initiativen:
 - „Energiewende ja, aber nicht in meinem Garten“
 - Freileitungen sind unerwünscht
 - Regierungsbeschluss Dez. 2015:
 - Südlink als Erdkabelausführung bevorzugt

Geplante Nord/Süd-Verbindung „Südlink“



Quelle: www.wikipedia.de



03.02.16 | Yannick Schubert | Isolierstoffprüfung | Seite 3



Einleitung

- Wofür Isolierstoffprüfungen?
 - Hohe Feldstärken
 - Betriebssicherheit
 - Durchschläge und Beschädigungen möglich

Quelle: presseportal.de



Quelle: mreddy.blog.de

Quelle: www.inmr.com



03.02.16 | Yannick Schubert | Isolierstoffprüfung | Seite 4



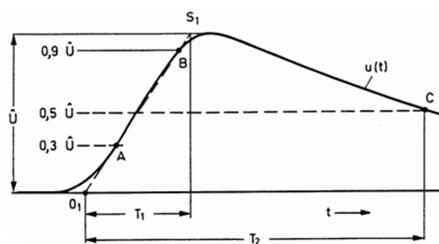
Agenda

1	Einleitung
2	Isolierstoffprüfungen
2.1	Prüfzertifikate
2.2	Überspannungsarten
2.2	Isolationskoordination
2.3	Prüfinstitutionen
2.4	Prüfungen und Normen
3	Fazit

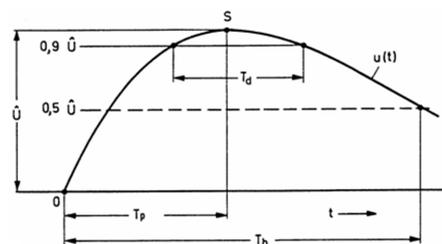
Überspannungsarten

- Überspannung: Spannung über dem Scheitelwert der höchsten Betriebsspannung
- Unterschiedliche Ursachen und Ausprägung der Überspannung:
 - Schaltstoßüberspannung
 - Blitzstoßüberspannung
 - Wechsellspannungsüberspannung

→ Unterschiedliche Anforderungen an Prüfung
 → Unterschiedliche Anforderungen an Isolation



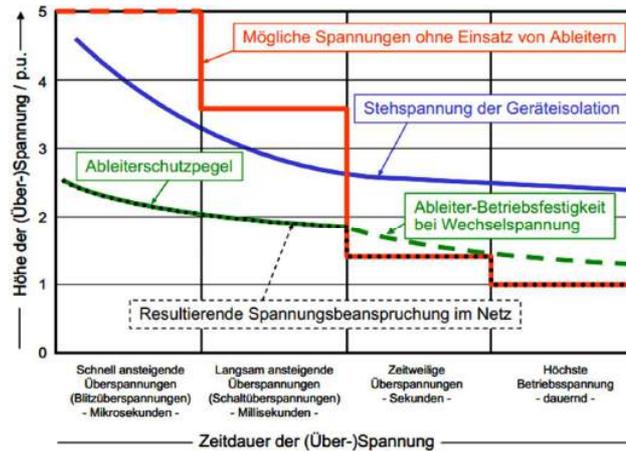
Blitzstoßspannung
 $T_1 \approx 1,2 \mu\text{s}$, $T_2 \approx 50 \mu\text{s}$



Schaltstoßspannung
 $T_p \approx 250 \mu\text{s}$, $T_h \approx 2500 \mu\text{s}$

Quelle: Skript HST 1, 2016

Isolationskoordination Grundprinzip der Isolation



Isolationskoordination Vorgehensweise

Netzanalyse

U_{rp} = repräsentative Spannungen

Auswahl der Isolation

U_{cw} = Koordinationsstehspannung

Berücksichtigung der Atmosphäre und Sicherheit

U_{rw} = erforderliche Stehspannungen

Auswahl der Bemessungsspannungen U_w

Prüfzertifikate

CE – Kennzeichen: Communauté Européenne

- Bestätigung der europäischen Richtlinien
- Vom Hersteller angebracht
- Keine unabhängige Prüfinstitution



GS – Kennzeichen: Geprüfte Sicherheit

- Bestätigung des deutschen Produktsicherheitsgesetzes
- Stetige Qualitätssicherung
- Durch zugelassene Prüfinstitutionen (z.B. TÜV)



VDE – Kennzeichen: Verband der Elektrotechnik

- Bestätigung der Anforderungen des VDE → nicht gesetzlich
- Auf freiwilliger Basis
- Weitreichende Prüfungen
- Spezifische Sicherheitsnormen



Quelle: www.wikipedia.de

Prüfinstitutionen

- Grundsätzlich von Jedermann möglich
- Befolgung der Normen
- Akkreditierung für offizielle Anerkennung notwendig
 - Rechtliche Anerkennung durch anerkannte Instanz
 - **DAkKS – Deutsche Akkreditierungsstelle**
 - Hohe Kosten für Akkreditierung



Quelle: www.dakks.de

Zugelassene Prüfinstitutionen

- PTB oder VDE
- Größere Labore oder Forschungseinrichtungen
- Namhafte Hersteller



Quelle: www.PTB.de



Quelle: www.vde.de

Prüfungen und Normen

- Bezug auf Kabelprüfung
- Diverse Prüfungen notwendig nach Norm
- Für feste Isolierstoffe notwendig:
 - Rohdichte → DIN EN ISO 1183
 - Biegefestigkeit → DIN EN ISO 178
 - Zugfestigkeit → DIN EN ISO 527
 - Schlagzähigkeit → DIN EN ISO 180
 - Elastizitätsmodul → DIN EN ISO 178
 - Lineare Wärmedehnung → ISO 11359
 - Wärmeleitzahl → DIN 52612
 - Grenztemperatur → DIN EN ISO 306
 - **Kriechstromfestigkeit** → DIN IEC 60112
 - **Durchschlagspannung** → DIN IEC 60243-2
 - **Spez. Durchg. Widerstand** → DIN IEC 60093
 - **Dielektrizitätskonstante** → IEC 60250

Quelle: www.drchadwards.com



Quelle: elenia



Technische
Universität
Braunschweig

03.02.16 | Yannick Schubert | Isolierstoffprüfung | Seite 11



Prüfungen und Normen Prüfbedingungen

- Frequenz: $49 \text{ Hz} \leq f \leq 61 \text{ Hz}$
- Wellenform der Prüfspannung: annähernd Sinusförmig
- Wellenform von Stoßspannungen: genormt nach HD 48
- Umgebungstemperatur: $(20 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$
- Bekannte Größen: Nennspannung U_0
Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung U_p
Leiterart, sowie Werkstoff
Leiternennquerschnitt, sowie Soll-Widerstand
Leiterkapazität pro km



Quelle: www.nexans.de



Technische
Universität
Braunschweig

03.02.16 | Yannick Schubert | Isolierstoffprüfung | Seite 12



Prüfkategorien

- Typprüfungen
 - Prüfung von Prototypen vor Markteinführung
 - Nur bei Neueinführung oder Produktänderungen notwendig
- Stückprüfungen
 - Prüfung jeder Komponente
- Auswahlprüfungen
 - Prüfung an Probestücken
 - Genau festgelegte Häufigkeit der Prüfungsstücke
- Prüfungen an Kabelanlagen
 - Beweis der sachgemäßen Verlegung



Quelle: www.wolfdirect.com



03.02.16 | Yannick Schubert | Isolierstoffprüfung | Seite 13



Prüfungen Stückprüfungen an Kabeln

Art der Prüfung	Anforderungen
Gleichstromwiderstand	Vergleich mit Tabellenwerten aus HD 383: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3-adrig bis 400 mm^2 ▪ 1-adrig bis 2000 mm^2 Ansonsten Vergleich mit Herstellerangaben
Kapazität	Bei Betriebsfrequenz: $\Delta_{Nenn} \leq 8 \%$
$\tan(\delta)$	Vergleich mit Tabellenwerten aus HD 633: <ul style="list-style-type: none"> ▪ $U_0 \leq 87 \text{ kV}$: Messungen bei U_0 und $2 U_0$ ▪ $U_0 > 87 \text{ kV}$: Messungen bei U_0 und $1,67 U_0$
Spannung	Vergleich mit Tabellenwerten aus HD 633: <ul style="list-style-type: none"> ▪ $U_0 \leq 87 \text{ kV}$: Messung bei $2 U_0 + 10 \text{ kV}$ ▪ $U_0 > 87 \text{ kV}$: Messungen bei $1,67 U_0 + 10 \text{ kV}$ ▪ Langsame Anhebung der Spannung bis vorgegebenen Wert ▪ 15 Minuten Messdauer ▪ Kein Durchschlag erlaubt
Korrosionsschutz	Anforderungen nach IEC 60229



03.02.16 | Yannick Schubert | Isolierstoffprüfung | Seite 14



Prüfungen Auswahlprüfungen an Kabeln

Art der Prüfung	Anforderungen	
Wanddicke Isolierung	Vergleich mit Herstellerangaben	
Wanddicke Metallmantel	Unterschreitung der Herstellerangaben zulässig bis:	
	Bleimantel	5% + 0,1 mm
	Glatter Alumantel	10% + 0,1 mm
	Gewellter Alumantel	15% + 0,1 mm
Biegeprüfung	Doppelte Auf- und Abwicklung eines Zylinders, Anschließend Spannungsprüfung:	
	$U_0 \leq 87 \text{ kV}$	$2 U_0 + 10 \text{ kV}$
	$U_0 > 87 \text{ kV}$	$1,67 U_0 + 10 \text{ kV}$
	Sichtprüfung	

Prüfungen Typprüfungen an Kabeln

- Grundsatz: Nur einmal notwendig
- Laborprüfung
- Prototyp ausreichend
- Bestätigung der Anforderungen an den grundsätzlichen Kabelaufbau
- Für ähnliche Kabel nicht notwendig

Art der Prüfung	Anforderungen	
$\tan(\delta)$	Vergleich mit Tabellenwerten aus HD 383	
Dauerwechselspannung	Kein Durchschlag bei 24 h Prüfdauer	
	Nennspannung	Prüfspannung
	$U_0 \leq 87 \text{ kV}$	$2,5 U_0$
	$U_0 > 87 \text{ kV}$	$1,73 U_0 + 100 \text{ kV}$
Stoßspannungsprüfung	20 Stoßimpulse nach HD 48 ohne Durchschlag	

Agenda

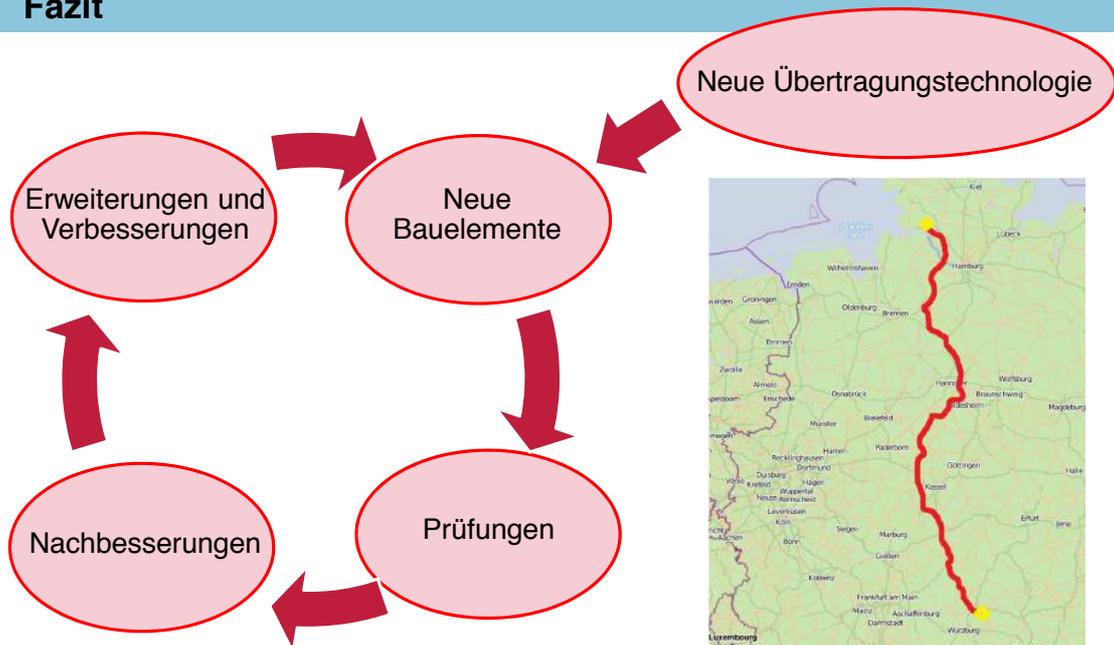
1	Einleitung
2	Isolierstoffprüfungen
2.1	Prüfzertifikate
2.2	Überspannungsarten
2.2	Isolationskoordination
2.3	Prüfinstitutionen
2.4	Prüfungen und Normen
3	Fazit

Fazit

- Isolierstoffprüfungen dienen dem Nachweis der Funktionstüchtigkeit von elektrischen Anlagen
- Prüfungen nur nach zugelassenen festgelegten Standards
 - Genormt auf nationaler Ebene durch DIN VDE
- Elektrische Festigkeit geht über die Nennbelastung hinaus
- Zur Sicherung vor Markteintritt:
 - Typprüfung
- Innerhalb der Serie:
 - Auswahlprüfung
 - Stückprüfung



Fazit



Ausarbeitung zum Studienseminar

Titel: „Berührungslosen Temperaturmessung unter Extrembedingungen“
Institution: Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia)
Ort: Braunschweig
Autor: Marvin Lee Schroeder
e-Mail: marvin.schroeder@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Im Rahmen des Studienseminars soll ein geeignetes Verfahren zur Temperaturmessung unter Extrembedingungen ermittelt werden. Dazu wird zunächst das Anwendungsgebiet genauer abgegrenzt. Nach einer Gegenüberstellung gängiger Messverfahren erfolgt eine Bewertung der für das Einsatzgebiet anwendbaren Messverfahren. Dabei stellt sich heraus, dass die Optische Emissionsspektroskopie für den Anwendungsfall das geeignetste Verfahren ist.

Abstract

In the context of the teacher training college (Studienseminar) a suitable method for temperature measuring under extreme conditions should be determined. Therefore the field of application needs to be defined. Common measuring technics are evaluated and weighted depending on the initial situation. The evaluation shows that the optical emission spectroscopy is most suitable for the initial situation.

1 Einleitung

Im Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) wird unter anderem Grundlagenforschung an Schaltgeräten betrieben. An den Funkenstrecken von Überspannungsableitern entstehen sehr hohe Temperaturen. Zum besseren Verständnis und zur besseren Auslegung von Schaltern soll die entstehende Temperatur während des Funkenüberschlags gemessen werden. Dazu wurde am elenia ein Versuchsaufbau erstellt, der eine bessere Untersuchung des entstehenden Plasmas ermöglicht (siehe Abbildung 1.1).

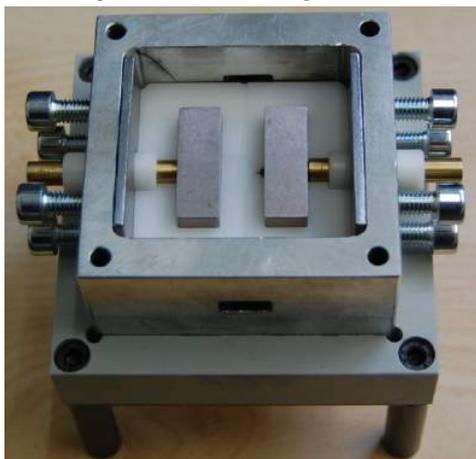


Abbildung 1.1 - Versuchsaufbau einer Funkenstrecke am elenia.

Um die Temperatur im Versuchsaufbau messen zu können muss ein Messverfahren gefunden werden, welches Temperaturen von bis zu 30.000K bei einer Expositionszeit von ca. 100 μ s messen kann. Durch sehr hohe Temperaturen und kurze Expositionszeiten sind nur berührungslose Temperaturmessungen erfolgsversprechend, folglich werden auch nur solche untersucht. Das Ergebnis der Messung soll in einem Messverlauf dargestellt werden.

Ein Grundlagenteil wird auf die physikalischen Zusammenhänge zwischen der atomaren Struktur und der Strahlung eines Elements eingehen. In diesem Zusammenhang wird auch das elektromagnetische Spektrum näher erläutert.

Ein Überblick über gängige Messverfahren (wie kapazitive Temperaturmessung, Wärmebildkameras und weiteren) stellt die Bandbreite an Möglichkeiten zur berührungslosen Temperaturmessung dar. Für eine Funkenstrecke fallen viele konventionelle Messverfahren weg, da die kurze Expositionszeit und die sehr hohen Temperaturen an die Grenzen dieser Messverfahren gehen.

Daher soll genauer auf die für das Anwendungsgebiet vielversprechenden Messverfahren Pyrometer (Spektrale Strahlungsthermometer) und Bolometer (Strahlungsmessung durch Absorption) eingegangen werden. Ebenfalls soll überprüft werden, ob sich die optische Emissionsspektroskopie für eine berührungslose Temperaturmessung im genannten Einsatzbereich eignet [1] [2] [3] [4] [5].

Dadurch ist lediglich ein Messbereich bis ca. 4000°C möglich, was den Anforderungen nicht genügt. [2]

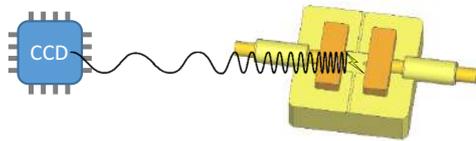


Abbildung 3.1 - Prinzipskizze Pyrometer.

3.2 Bolometer

Ähnlich dem Pyrometer nimmt ein Bolometer die Strahlung eines Objekts auf. Die Aufnahme erfolgt hier jedoch nicht über eine Fotodiode, sondern über einen einfachen metallischen Absorber mit schwarzer Oberfläche (siehe Abbildung 3.2). Die dort auftreffende Strahlung wird am Absorber direkt in Wärme umgesetzt. Über die temperaturabhängige Leitfähigkeit des Absorbers kann über die Formel

$$G \cdot \Delta T = P$$

auf eine Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem Absorber und dem Wärmereservoir geschlossen werden. Das Wärmereservoir sorgt außerdem für eine konstante Abführung der entstehenden Wärme [2].

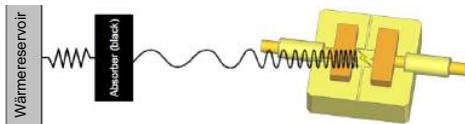


Abbildung 3.2 - Prinzipskizze Bolometer mit Absorber (schwarz), Wärmereservoir (grau) und einem thermischem Widerstand dazwischen.

Das Bolometer zeichnet sich durch eine sehr hohe Auflösung aus. Der Messbereich ist allerdings bis ca. 180°C begrenzt, da der Absorber recht wärmeempfindlich ist. Außerdem ist die Messung mit ca. 1 ms vergleichsweise langsam [2].

3.3 Optische Emissionsspektroskopie

Anders als Bolometer und Pyrometer wird bei der Optischen Emissionsspektroskopie keine Wärmestrahlung aufgenommen. Die Temperaturmessung erfolgt hier über eine genaue Analyse der Wellenspektren. Die emittierten Wellenlängen sind in der Regel nicht diskret, sondern um eine Wellenlänge nach Gauß oder Lorentz verteilt. Im Falle von Wellenspektren spricht man von Verbreiterungen.

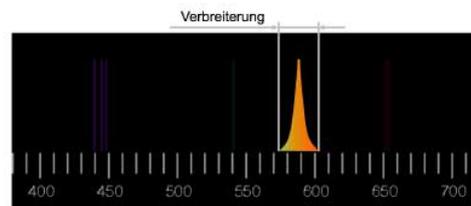


Abbildung 3.3 - Veranschaulichung der Wellenlängenverbreiterung des Calcium Wellenspektrums.

Die sogenannte Van der Waals Verbreiterung (w_w) muss unter anderem abhängig von der Temperatur und kann über die Formel

$$w_w = 8.18 \times 10^{-26} \lambda^2 (\alpha < \bar{R}^2 >)^{2/3} \left(\frac{T_{gas}}{\mu} \right)^{3/10} N$$

beschrieben werden. Durch das ideale Gasgesetz kann die Formel zu

$$w_w(\text{nm}) = \frac{C_w}{T_{gas}^{0.7}}$$

vereinfacht werden [8] [9]. Der Koeffizient C_w ist dabei bekannt und die Van der Waals Verbreiterung kann über einen Spektrographen ermittelt werden, um die Temperatur zu bestimmen (Siehe Abbildung 3.4).

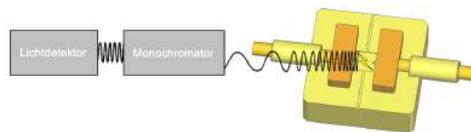


Abbildung 3.4 - Prinzipskizze Optische Emissionsspektroskopie.

Die Optische Emissionsspektroskopie zeichnet sich durch eine sehr schnelle Messung von weniger als 1 μs aus und einem quasi unbegrenzten Messbereich. Die Zusammensetzung der Luft muss hierfür bekannt sein um in diesem Zusammenhang eine Kalibrierung durchführen zu können. Es kann lediglich eine Auflösung von einigen hundert Kelvin erreicht werden, was für den Einsatzzweck aber ausreichend ist [10].

3.4 Auswertung

Für die in der Einleitung erwähnten Anforderungen an die Messung ist lediglich die Optische Emissionsspektroskopie geeignet. Da eine Messung nicht in unmittelbarer Nähe erfolgen kann, muss eine optische „Verlängerung“ geschaffen werden. Dazu bietet sich zum einen eine Kombination aus Spiegeln (Abbildung 3.5), zum anderen ein Lichtwellenleiter (Abbildung 3.6) an.

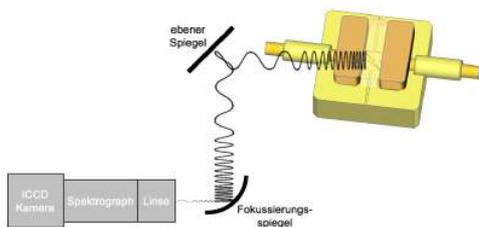


Abbildung 3.5 - Prinzipische Skizze Messaufbau mit Spiegeln.

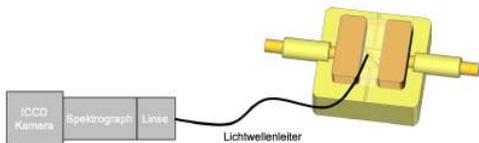


Abbildung 3.6 - Prinzipische Skizze Messaufbau mit Lichtwellenleiter.

Der Rest der Messapparatur setzt sich in beiden Fällen aus

- einer Linse zum Fokussieren der Strahlen,
- einem Spektrographen zum Trennen des Spektrums und
- einer ICCD Kamera zur Erfassung des Wellenspektrums

zusammen [8].

Ein so realisierter Messaufbau sollte die Ansprüche an eine berührungslose Temperaturmessung unter den einleitend erwähnten Extrembedingungen erfüllen.

4 Literaturverzeichnis

- [1] TheYourbox, „YouTube,“ 11 2015. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=RbA9ZOiPcag>. [Zugriff am 11 2015].
- [2] F. Bernhard, Handbuch der Technischen Temperaturmessung, Ilmenau: Springer.
- [3] Optris GmbH, „optris,“ 11 2015. [Online]. Available: <http://www.optris.de/was-ist-infrarot-temperaturmessung>. [Zugriff am 08 12 2015].
- [4] Physics Department Berkeley, „berkeley.edu,“ 23 04 2013. [Online]. Available: <http://bolo.berkeley.edu/bolometers/introduction.html>. [Zugriff am 08 12 2015].
- [5] phoenixcontact, „phoenixcontact,“ 11 2015. [Online]. Available: <https://www.phoenixcontact.com/>. [Zugriff am 15 12 2015].
- [6] Teacher Leaders, „Stellar Spectroscopy - The Message of Starlight,“ Teacher Leaders, 2014.
- [7] U. Hannover, 18 12 2015. [Online]. Available: <https://www.itp.uni-hannover.de/~zawischa/ITP/atome.html>. [Zugriff am 18 12 2015].
- [8] C. Y. M. S. D. M. D. C. Jose Munoz, „Van der Waals broadening in atmospheric pressure surface,“ 2010.
- [9] M. D. M. G. M. C. C. Yuberoa, „Using the van der Waals broadening of the spectral atomic lines to measure the gas temperature of an argon microwave plasma at atmospheric pressure,“ 13 11 2006.
- [10] W. L. Wiese, „Spectroscopic diagnostics of low temperature plasmas - techniques and required data,“ 30 11 1990.
- [11] Cellulosenitrat, „YouTube,“ [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=gBz1Eru8X5M>.
- [12] unwetter.de, „unwetter.de,“ 11 2015. [Online]. Available: http://www.unwetter.de/pages/gewitter_blitze_2.php.



Berührungslose Temperaturmessung unter Extrembedingungen

Marvin Schroeder, 02.02.2016

Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik

- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung

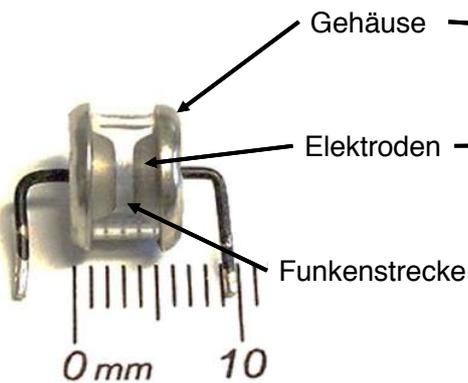
- **Zusammenfassung**



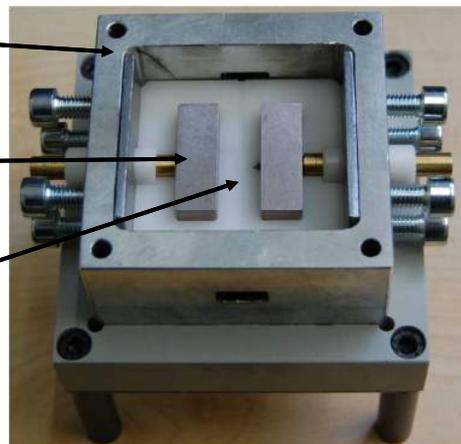
Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**

Einleitung – Kontext

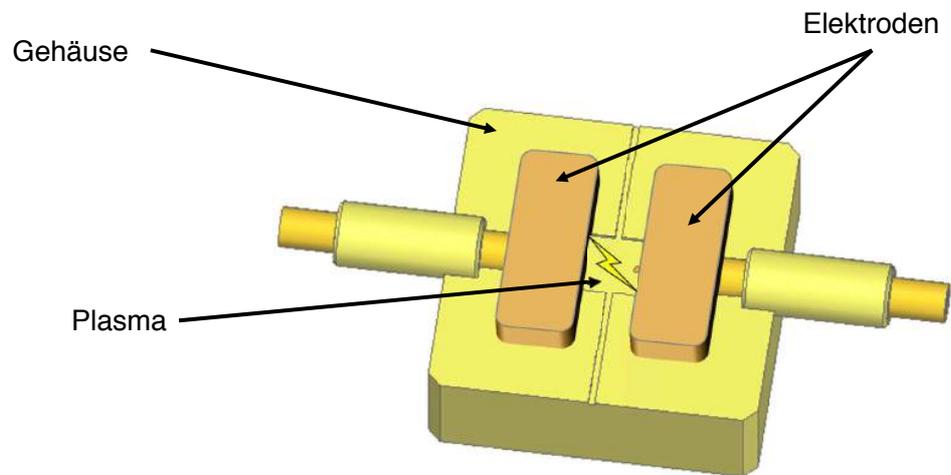


*Funkenstrecke
(Einsatz in Überspannungsableitern)*



*Funkenstrecke
(Versuchsnachbau elenia)*

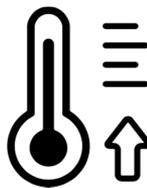
Einleitung – Motivation



Einleitung – Problematik



$\approx 100\mu\text{s}$



$\approx 30.000\text{ K}$



berührungslos

Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik

- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung

- **Zusammenfassung**



02.02.2016 | Marvin Schroeder | Berührungslose Temperaturmessung unter Extrembedingungen | Seite 7



Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik

- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung

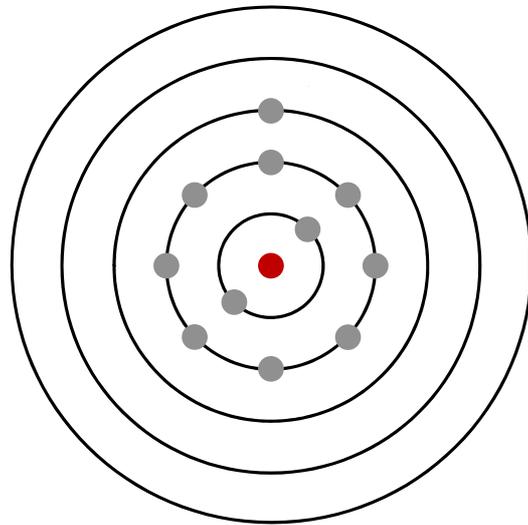
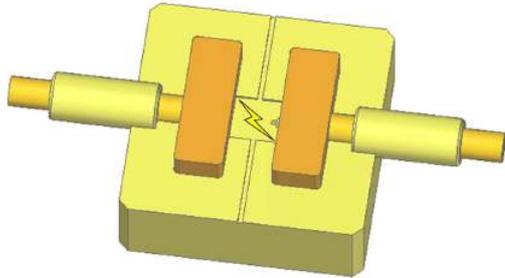
- **Zusammenfassung**



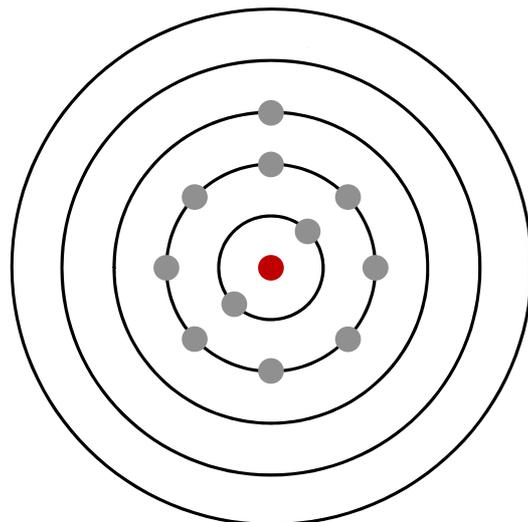
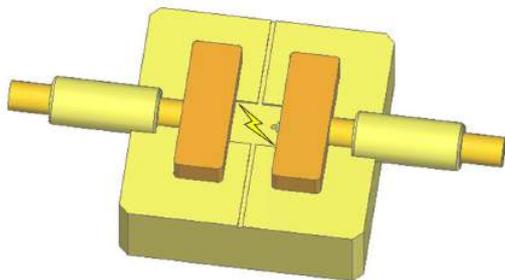
02.02.2016 | Marvin Schroeder | Berührungslose Temperaturmessung unter Extrembedingungen | Seite 8



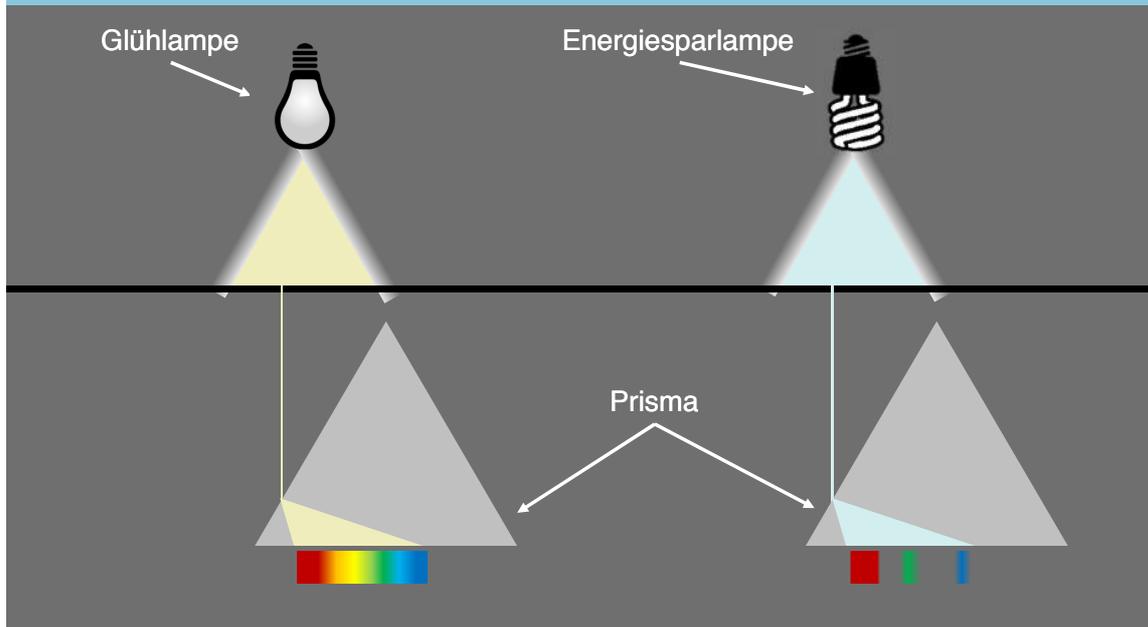
Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung (Strahlung)



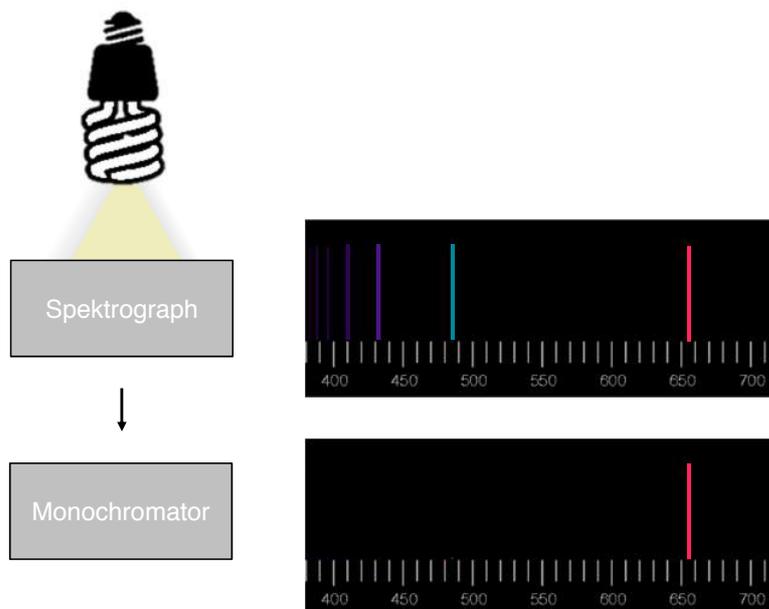
Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung (Strahlung)



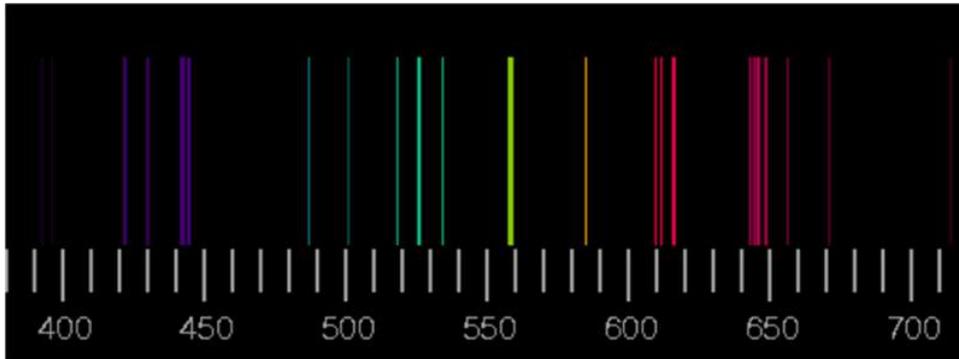
Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung (Prisma)



Messverfahren – Optische Emissionsspektroskopie (Monochromator)

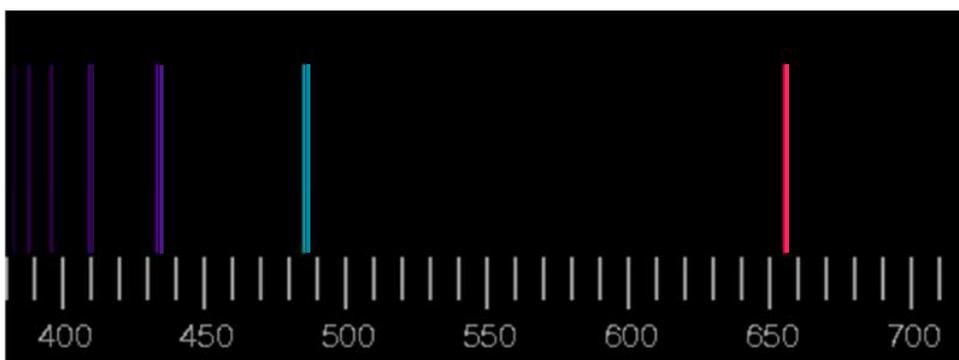


Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung



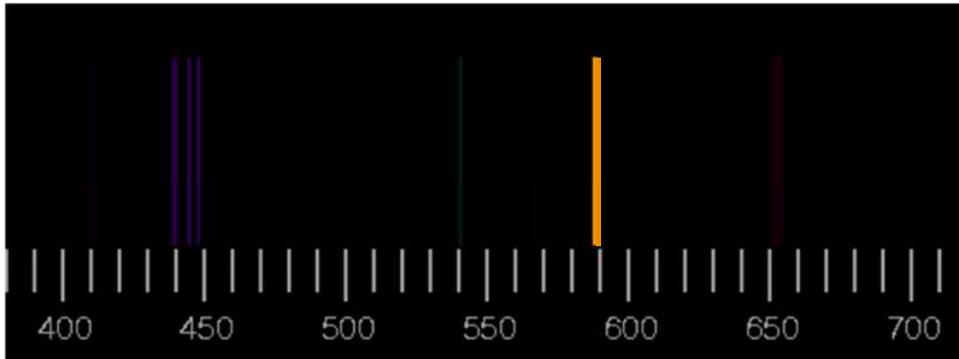
Calcium

Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung



Wasserstoff

Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung

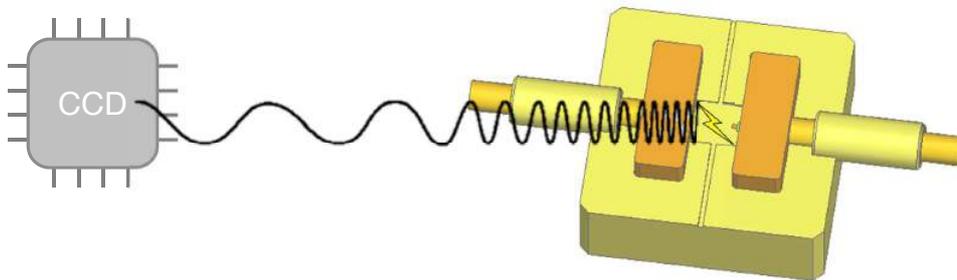


Natrium

Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**

Messverfahren – Pyrometer (Funktionsweise)



$$P = \varepsilon \cdot k_B \cdot A \cdot T^4$$

Strahlungsenergie Emissionsgrad

Messverfahren – Pyrometer



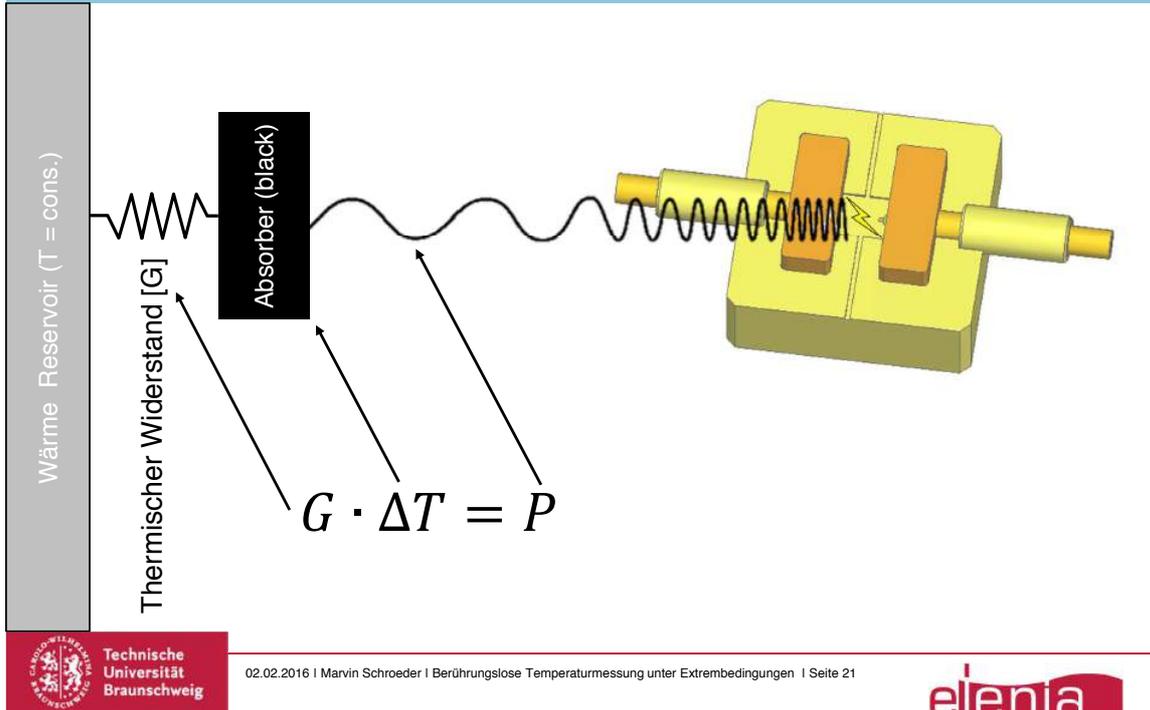
Messverfahren – Pyrometer (Vor- & Nachteile)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Sehr schnelle Messungen ($< 1\mu\text{s}$)• Kein Verschleiß	<ul style="list-style-type: none">• Emissionsgrad muss bekannt sein• Messbereich bis 4000°C

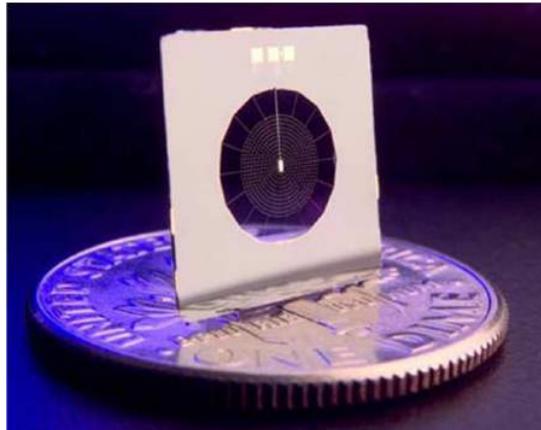
Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**

Messverfahren – Bolometer (Funktionsweise)



Messverfahren – Bolometer



Technische Universität Braunschweig

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bolometer>

02.02.2016 | Marvin Schroeder | Berührungslose Temperaturmessung unter Extrembedingungen | Seite 22

elenia
Institut für Hochspannungstechnik
und Elektrische Energiespeicher

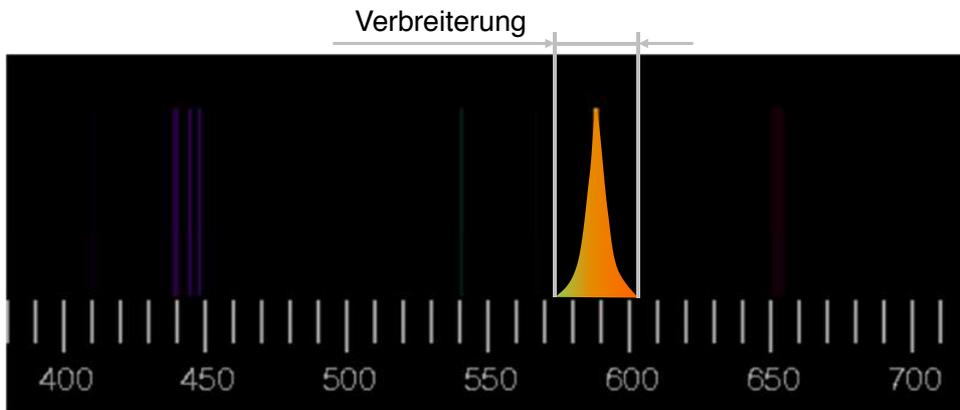
Messverfahren – Bolometer (Vor- und Nachteile)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Sehr hochauflösend• Kein Verschleiß	<ul style="list-style-type: none">• Messbereich bis ca. 180°C• Vergleichsweise langsame Messung (> 1 ms)

Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**

Vorgehensweise bei OES (Wellenlängen Verbreiterung)



Vorgehensweise bei OES (Abhängigkeit Verbreiterung)

Wellenlänge
Polarisierbarkeit
 Δ obere zu unterer Schale
Temperatur

Van der Waals Verbreiterung

$$w_W = 8.18 \times 10^{-26} \lambda^2 (\alpha < \bar{R}^2 >)^{2/5} \left(\frac{T_{gas}}{\mu} \right)^{3/10} N$$

↑ Teilchendichte
reduzierte Masse des Emitter-Störteilchenpaares

Vorgehensweise bei OES (Abhängigkeit Verbreiterung)

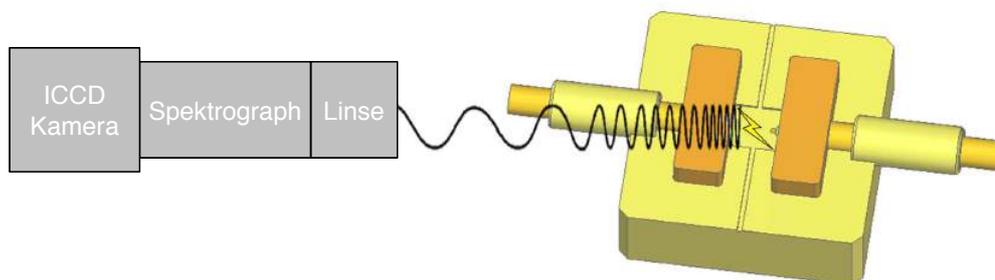
Van der Waals Verbreiterung
(gemessen)

Koeffizient
(bekannt)

$$w_W(\text{nm}) = \frac{C_W}{T_{\text{gas}}^{0.7}}$$

Temperatur
(gesucht)

Messverfahren – Optische Emissionsspektroskopie (Funktionsweise)



Messverfahren – Optische Emissionsspektroskopie (Messaufbau)



Messverfahren – Optische Emissionsspektroskopie (Vor- und Nachteile)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Sehr schnelle Messungen ($< 1\mu\text{s}$)• Messbereich quasi unbegrenzt• Kein Verschleiß	<ul style="list-style-type: none">• Kalibrierung erforderlich• Zusammensetzung der Luft muss bekannt sein, im Idealfall homogen• Auflösung einige hundert Kelvin

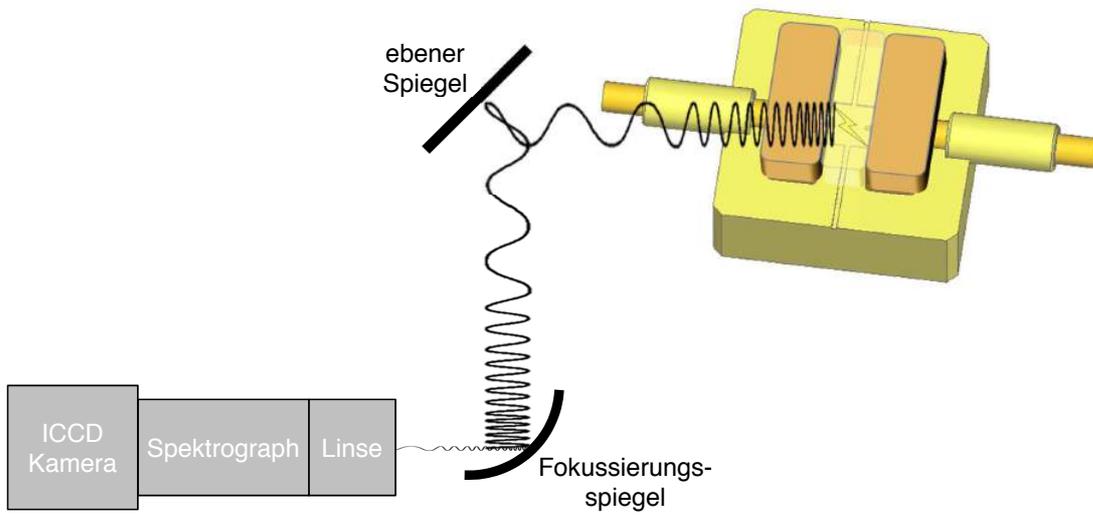
Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**

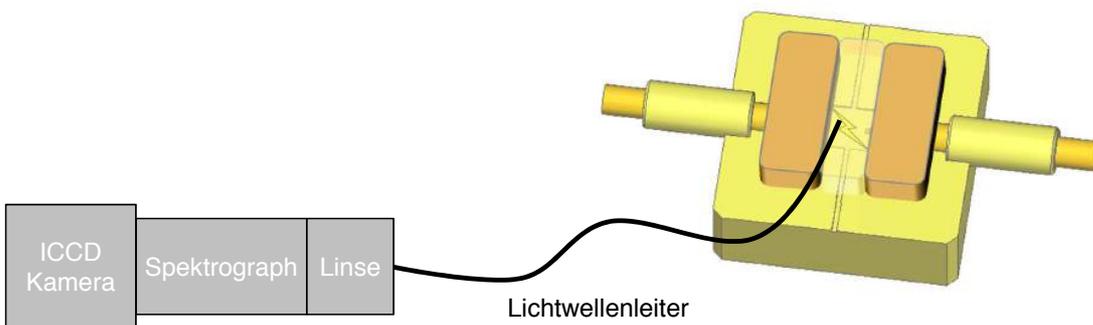
Messverfahren – Auswertung

Pyrometer	Messbereich $< 4000^{\circ}\text{C}$	X
Bolometer	Geschwindigkeit $> 1 \text{ ms}$	X
Optische Emissionsspektroskopie	“kompliziert”	✓

Messverfahren – Auswertung (Messaufbau – Möglichkeit 1)



Messverfahren – Auswertung (Messaufbau – Möglichkeit 2)

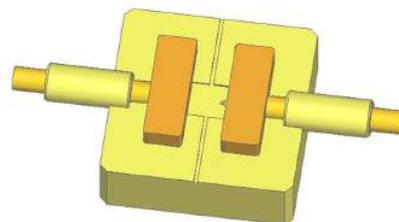


Agenda

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**

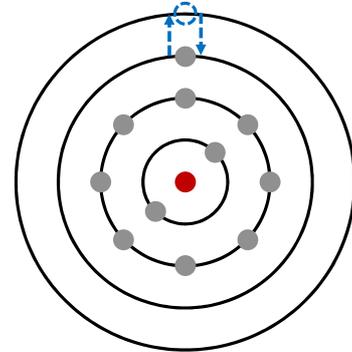
Zusammenfassung

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**



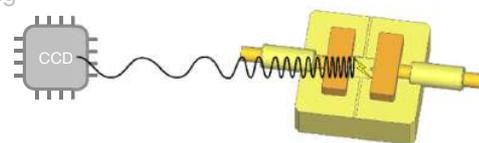
Zusammenfassung

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**



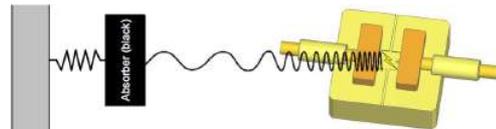
Zusammenfassung

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**



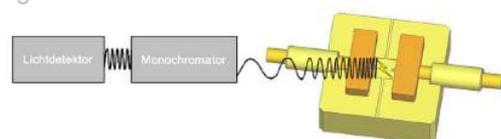
Zusammenfassung

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**



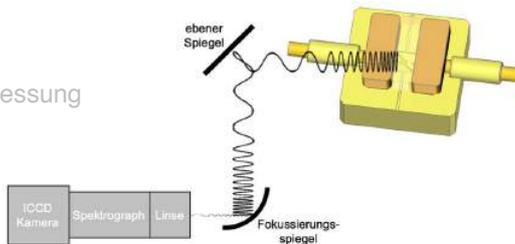
Zusammenfassung

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**

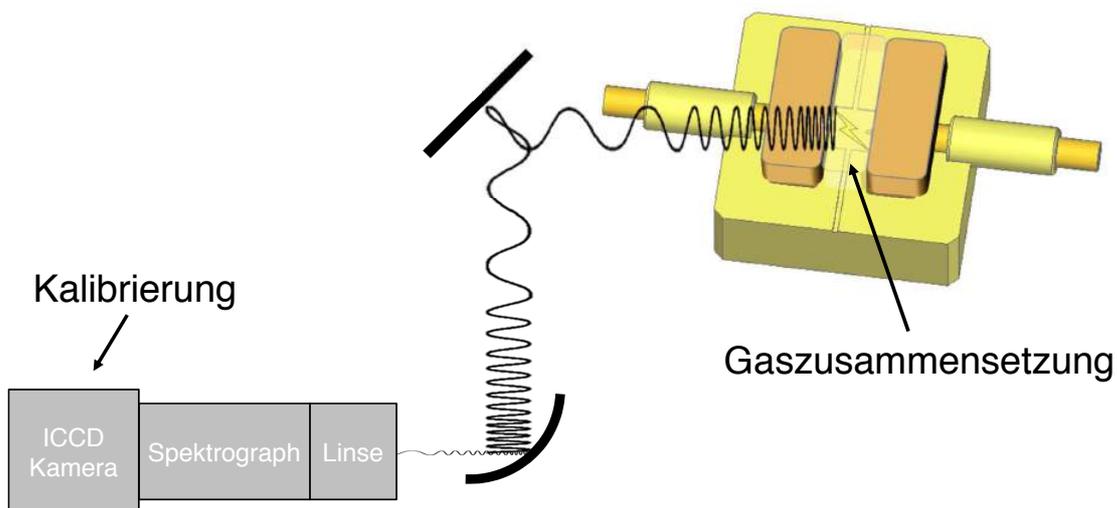


Zusammenfassung

- **Einleitung**
 - Kontext
 - Motivation
 - Problematik
- **Messverfahren**
 - Grundlagen berührungsloser Temperaturmessung
 - Pyrometer
 - Bolometer
 - Optische Emissionsspektroskopie (OES)
 - Auswertung
- **Zusammenfassung**



Ausblick



Finish!



Quellen

- [1] TheYourbox, „YouTube,“ 11 2015. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=RbA9ZOiPcag>. [Zugriff am 11 2015].
- [2] F. Bernhard, Handbuch der Technischen Temperaturmessung, Ilmenau: Springer.
- [3] Optris GmbH, „optris,“ 11 2015. [Online]. Available: <http://www.optris.de/was-ist-infrarot-temperaturmessung>. [Zugriff am 08 12 2015].
- [4] Physics Department Berkeley, „berkeley.edu,“ 23 04 2013. [Online]. Available: <http://bolo.berkeley.edu/bolometers/introduction.html>. [Zugriff am 08 12 2015].
- [5] phoenixcontact, „phoenixcontact,“ 11 2015. [Online]. Available: <https://www.phoenixcontact.com/>. [Zugriff am 15 12 2015].
- [6] U. Hannover, 18 12 2015. [Online]. Available: <https://www.itp.uni-hannover.de/~zawischa/ITP/atome.html>. [Zugriff am 18 12 2015].
- [7] C. Y. M. S. D. M. D. C. Jose Munoz, „Van der Waals broadening in atmospheric pressure surface,“ 2010.
- [8] M. D. M. G. M. C. C. Yuberoa, „Using the van der Waals broadening of the spectral atomic lines to measure the gas temperature of an argon microwave plasma at atmospheric pressure,“ 13 11 2006.
- [9] W. L. Wiese, „Spectroscopic diagnostics of low temperature plasmas - techniques and required data,“ 30 11 1990.
- [10] Cellulosenitrat, „YouTube,“ [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=gBz1Eru8X5M>.
- [11] unwetter.de, „unwetter.de,“ 11 2015. [Online]. Available: http://www.unwetter.de/pages/gewitter_blitze2.php.

Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland

Lithium-ion-cells – production & research in Germany

Jörn Busch

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, jorn.busch@tu-bs.de

Kurzfassung

Viele deutsche Unternehmen investieren gegenwärtig große Summen und Anstrengungen in die Erforschung von Lithium-Ionen-Batterien. Ziel dieses Vortrages war es, einen Einblick in den gegenwärtigen Stand der Zellproduktion und -forschung in Deutschland zu geben. Aktuelle Herausforderungen sind mit Hilfe der Hauptprozessschritte deutlich gemacht worden. Zur Einordnung der Produktion im globalen Vergleich wurden die Markteinteile ausgewählter Firmen untersucht. Des Weiteren sind Forschungskonsortien und deren Tätigkeitsfelder erörtert worden. Festzuhalten ist, dass es Deutschland, trotz großer Investitionen, an ganzheitlichen Produktionssystemen fehlt.

Abstract

Actually various companies in Germany are investing a lot of money in the research of Lithium-Ion-Cell production technologies. This lecture was made for giving an overview about the current research in and production of Lithium-Ion-Cells. The present day challenges were discussed in reference to functionality and all process steps of the cells. Moreover, the market shares of selected companies were examined. Finally the goals of the cell research were given. In conclusion, Germany is lacking of holistic production systems.

1 Einleitung

Ein renommiertes Beispiel dafür, dass Batterien in Deutschland Tradition haben, ist die 1904 gegründete Varta GmbH. Durch die Entwicklung der Lithium-Ionen-Technologie in den 1990er Jahren wurden wesentliche Fortschritte in der Batterieforschung gemacht. Allerdings geschah die Entwicklung ausschließlich in Asien, gekoppelt an die Unterhaltungselektronikindustrie. 2012 befand sich das Marktvolumen der in Asien produzierten Batterien bei mehr als 10 Milliarden US-Dollar. [1]

In Deutschland hingegen wurden Forschung und Entwicklung zu neuen Batterien in den letzten Jahrzehnten vernachlässigt. Mit dem steigenden Interesse an der Elektromobilität rücken moderne Hochleistungsbatterien auch in der westlichen Welt in den Fokus. Fortschrittliche Batterien stellen eine Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität dar und übernehmen gleichzeitig einen bedeutend hohen Anteil der Wertschöpfungskette. Dies macht die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien für das Automobilland Deutschland essenziell. [1]

2 Theoretische Grundlagen

Unabhängig vom Design der Zellen bestehen diese immer aus einem oder mehreren galvanischen Elementen. Hierzu zählen die positive und negative Elektrode, ein elektrisch leitender Kontakt, ein Elektrolyt und das Batteriegehäuse. Um einen physischen Kontakt der Elektroden zu verhindern, werden diese durch einen Separator getrennt. [2]

Der Herstellungsprozess von Batteriezellen gliedert sich in die drei Hauptprozessschritte Elektrodenfertigung, Zusammenbau der Zelle und Aktivieren der Zelle. Je nach

Zelltyp (prismatische Zelle, Rundzelle, Flachzelle) können die Teilprozesse der einzelnen Hauptprozessschritte variieren. Der größte Unterschied liegt hierbei beim Zusammenbau der Zelle. Die Fertigung der Elektroden, sowie der Aktivierungsprozess sind weitgehend identisch. [2]

3 Hauptteil

Produktion und Forschung sind elementare Bestandteile, welche zu der Entwicklung der Lithium-Ionen-Zellen beitragen. Im Folgenden werden die beiden Themen Produktion und Forschung mit Blick auf die aktuelle Situation und die gegenwärtigen Herausforderungen betrachtet.

3.1 Produktionsstandort Deutschland

3.1.1 Die aktuelle Lage des Produktionsprozesses

Wie in Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. bereits dargestellt, gliedert sich der Produktionsprozess in viele einzelne Produktionsschritte. Alle Produktionsschritte sind in Deutschland bereits durchführbar. Allerdings gibt es innerhalb Deutschlands zurzeit kein Unternehmen, das eine vollständige Produktionslinie für die Lithium-Ionen-Zellen-Produktion besitzt. Vergleicht man das Angebot von Produktionsanlagen für die Lithium-Ionen-Zelle innerhalb Deutschlands mit Amerika oder Asien, fällt ein deutlicher Rückstand auf. Sind es in Amerika und Asien ca. 85% der Maschinen- und Anlagenbauer mit vorhandenem Know-How, die ihre Technologie anbieten, bieten in Deutschland weniger als 50% derer die die Technologien für die Zellproduktion bereitstellen könnten, diese auch

an. Grund hierfür ist, dass kleine Maschinen- und Anlagenbauer weniger international aufgestellt sind als große Unternehmen. Durch einen Vergleich der lokalen Absatzmärkte Deutschland, Amerika und Asien werden die Ursachen für das geringe Angebot in Deutschland ersichtlich [3]

3.1.2 Die aktuellen Herausforderungen der Fertigungsprozesse

Auch wenn in Deutschland weniger als 50% der Unternehmen ihre Technologien zur Lithium-Ionen-Zellen-Produktion anbieten, existieren dennoch eine Vielzahl an konkurrierenden Maschinen- und Anlagenbauern, welche sich jeweils auf einen oder mehrere Teilprozesse spezialisiert haben. Der internationale Vergleich für Prozessschritte pro Unternehmen ist in **Abbildung 1** dargestellt.

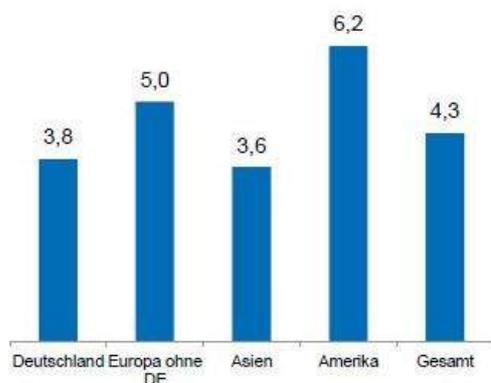


Abbildung 1 - Durchschnittliche Anzahl an Prozessschritten, die ein Maschinen- und Anlagenbauer in der Batteriezellproduktion abbilden kann [3]

Abgebildet sind verschiedene Länder und die durchschnittliche Anzahl an Prozessschritten in der Batteriezellenproduktion, die ein Maschinen- und Anlagenbauer in der jeweiligen Region abbilden kann. In Deutschland sind es im Durchschnitt 3,8 Prozessschritte. Der Gesamt- sowie der amerikanische Durchschnitt liegen mit 4,3 bzw. 6,2 Prozessschritten deutlich darüber.

Das fehlende Angebot von ganzheitlichen Produktionsstraßen und die Vielzahl an konkurrierenden Maschinen- und Anlagenbauern für die Lithium-Ionen-Zellen führen zu einer Problematik. Die Produktionstechnologie von Lithium-Ionen-Zellen ist eine heterogene Technologie. Das bedeutet, dass die einzelnen Prozessschritte auf unterschiedliche Weise durchführbar sind. Ein Beispiel hierfür ist der Trocknungsprozess im ersten der drei Hauptprozessschritte. Entweder werden hier Schwebebahntrockner oder Rollentrockner eingesetzt. Ein weiteres Beispiel ist das Vereinzeln der Zellen. **Abbildung 2** zeigt einen Vergleich von zwei Möglichkeiten.

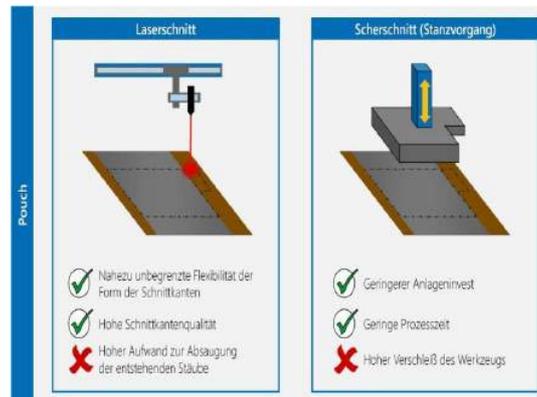


Abbildung 2 - Vergleich von zwei Möglichkeiten der Zellvereinzelnung. Laserschnitt links, Stanzvorgang rechts. [4]

Zu sehen sind zwei unterschiedliche Methoden der Vereinzelnung im Produktionsprozess einer Pouch-Zelle. Der Laserschnitt bietet eine hohe Schnittkantenqualität sowie eine nahezu beliebige Flexibilität in der Form der Zelle. Allerdings entsteht ein zusätzlich hoher Aufwand zur Absaugung des entstehenden Staubs beim Schneidvorgang. Der Scherschnitt zeichnet sich durch den geringen Anlageninvest sowie die geringe Prozesszeit aus. Nachteilig ist, dass das Werkzeug einem hohen Verschleiß unterliegt. Das Problem dieser heterogenen Herstellung von Lithium-Ionen-Zellen ist eine große Streuweite der Produktionsergebnisse, wodurch ein Vergleich der Zellen erschwert wird. Um eine zu starke Streuung der Zellen für den Markt zu verhindern, werden die Zellen am Ende der Produktion oftmals handverlesen. [3]

Ein Vorteil der Zellproduktion in Deutschland ist die Senkung der Gefahrguttransportkosten. Ein weiterer Gewinn ist, dass der Anlagen- und Maschinenbau immens von den noch nötigen Investitionen in Produktionsanlagen profitieren würde. **Abbildung 3** zeigt zwei Prognosen für den Bedarf an Produktionskapazität.

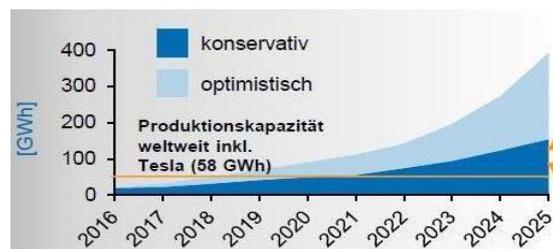


Abbildung 3 - Bedarf an Produktionskapazität [3]

Betrachtet man die obige Abbildung fällt auf, dass selbst bei der konservativen Prognose zum Jahr 2025 eine Produktionskapazität von ca. 97 GWh an Lithium-Ionen-Batterien fehlt. Bei einem Preis von 250 USD/kWh bedeutet dies einen Invest von 24 Milliarden USD bis 2025. Dieser würde dem Maschinen- und Anlagenbau zugutekommen. [3]

3.2 Forschungsstandort Deutschland

3.2.1 Forschungsziele

Bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt existiert eine Vielzahl an elektrisch angetriebenen Fahrzeugen, die mittels der Lithium-Ionen-Technologie versorgt werden. Jedoch besitzen die Lithium-Ionen-Zellen weiterhin ein starkes Ausbaupotential. Ziel aktueller Forschungen ist die Verbesserung der vielfältigen Zelleigenschaften. Unter anderen stehen die Erhöhung der Lebenszyklen, der Qualität, der Sicherheit sowie die Erhöhung der Energiedichte im Fokus der Forschung. **Abbildung 4** verdeutlicht das Gesamtziel der Forschungsaktivitäten.

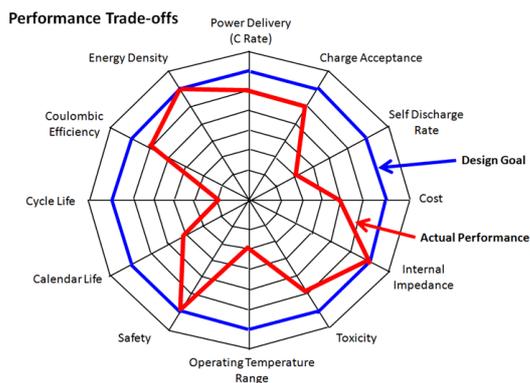


Abbildung 4 - Performance Trade-offs einer Lithium-Ionen-Zelle – hypothetisch [5]

Der rote Verlauf stellt einen aktuellen hypothetischen Stand der Zelleigenschaften dar. Diese Zelle ist bedeutend unausgewogen. Häufig müssen Kompromisse zwischen den einzelnen Eigenschaften getroffen werden. Die blaue Kurve stellt das Ziel des Zeldesigns dar. Alle Eigenschaften sind ausbalanciert und optimiert. Nachfolgend werden zwei Zentren zur Erforschung der Lithium-Ionen-Zelle vorgestellt.

3.2.2 Battery LabFactory Braunschweig (BLB)

Ziel der Battery LabFactory Braunschweig ist die wissenschaftliche Untersuchung der gesamten Fertigungskette der Lithium-Ionen-Zellen. Hierbei wird untersucht, welchen Einfluss jeder einzelne Prozessschritt auf den Gesamtprozess besitzt. Die Einflussnahme von Veränderungen einzelner oder mehrerer Prozessschritte auf den gesamten Produktionszyklus steht dabei im Mittelpunkt. Des Weiteren wird der gesamte Wertschöpfungskreislauf untersucht. Angefangen von der Material-/Komponentenherstellung über Elektrodenfertigung, Zellfertigung, Modul- und Batteriesystemfertigung, Fahrzeugintegration bis hin zum Recycling der Batteriesysteme und Wiederverwendung der Materialien. Analysiert werden dabei Einflüsse neuer Materialien, alternative Fertigungsverfahren sowie mögliche Einflüsse auf die Produktion. Flankiert wird die Forschung von stetigen Lebenszyklusuntersuchungen, Diagnoseverfahren und neuen Modellbildungen. Ein besonderes Augenmerk bei den Untersuchungen wird auf

die Erhöhung der Energiedichte, der Qualität und der Sicherheit gelegt. [6]

In leitender Position steht das Niedersächsische Forschungszentrum für Fahrzeugtechnik (NFF) in Kontakt mit der Industrie und sorgt für die Anwendungsorientierung sowie für den Technologietransfer. Insgesamt sind sieben Mitgliedsinstitute des NFF und die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) an der Forschung beteiligt. Die beteiligten Institute sind, das Institut für Partikeltechnik, das Institut für Füge- und Schweißtechnik, das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, das Institut für Energie- und Systemverfahrenstechnik, das Institut für Ökologische und Nachhaltige Chemie, das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik und das Institut für Konstruktionstechnik. [6]

3.2.3 Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Das ZSW ist eine gemeinnützige Stiftung des bürgerlichen Rechts, welches vom Land Baden-Württemberg, Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen gegründet wurde. Eines der Ziele dieser Einrichtung ist die Forschung und Entwicklung für Technologien zur nachhaltigen und klimafreundlichen Bereitstellung von Strom, Wärme und regenerativen Kraftstoffen. Dem Geschäftsbereich „Elektrochemische Energietechnologien“ untergeordnet ist das sogenannte eLab. [7]

Dieses ist in Ulm angesiedelt und beschäftigt sich unter anderem mit der Erforschung neuer Aktivmaterialien und deren Verarbeitung zu Elektroden und Zellen. 2015 wurde ein kobaltfreies Kathodenmaterial für Lithium-Ionen-Zellen entwickelt. Dieses besitzt eine 40% höhere Energiedichte als Zellen aus bisherigen Materialien, ist kostengünstiger in der Beschaffung und erleichtert die Produktion. [7]

Ein weiteres Gebiet des eLaBs in Ulm ist die Post-Mortem-Analyse von Batteriezellen. Dieses ermöglicht die Begutachtung von Alterungsvorgängen und Schadensfällen. Realisiert wird die Analyse mit Hilfe eines Dual-Source-Röntgentomographen. Dieser ermöglicht es den Forschern zerstörungsfrei in das Innere der Zellen zu blicken. Realisiert wird dies durch zwei Röhren, der Mikrofokusröhre und der Nanofokusröhre. Die Detailerkennbarkeit hängt davon ab, welche Röhre zum Durchleuchten der Zelle oder der Batterie-Systeme genutzt wird. Mit der Mikrofokusröhre ist eine Detailerkennbarkeit von 1 μm möglich. Die Nanofokusröhre ermöglicht eine Auflösung von 0,5 μm . Dieses Verfahren ermöglicht es, zum einen eine Qualitätssicherung nach der Produktion durchzuführen und zum anderen können Zellen am Ende ihrer Lebenszeit durchleuchtet werden und geben ggf. neue Erkenntnisse über die Einflüsse der Produktion der Zellen mit Blick auf ihre Alterung. [8]

3.2.4 Li-Tec Battery GmbH

Die Li-Tec Battery GmbH war ein Zusammenschluss von Evonik und Daimler. Zusammen haben die Unternehmen großvolumige Batteriezellen entwickelt und produziert. Die Zellen wurden dabei in einer vollständigen Produktionslinie produziert. Wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bereits angedeutet ist die Komplettproduktion einer Zelle von einem Hersteller eine Besonderheit. Bereits neun Jahre nach der Gründung im Jahre 2006 stehen die Produktionsanlagen jedoch wieder zum Verkauf. Grund hierfür sei der Preisverfall für Stromspeicher angesichts massiver Überproduktion von Lithium-Ionen-Zellen für den europäischen Markt. Denn dieser bleibt unter den Erwartungen im Bereich der Elektromobilität zurück. [9] [10] [11]

4 Kritische Würdigung

Abschließend ist festzustellen, dass es weiterhin eine der Kernherausforderungen ist, ein ganzheitliches, technologisch abgestimmtes Produktionskonzept für Lithium-Ionen-Zellen zu etablieren. Dieses ist durch zahlreiche Schnittstellen und eine hohe Technologieheterogenität bedingt. Zum einen ist ein solches Produktionskonzept unverzichtbar für eine vergleichbare und dauerhafte Qualität und zum anderen wird es benötigt, um die Abhängigkeit der Elektromobil-Produktion in Deutschland von Importen zu reduzieren. Denn in der Wertschöpfungskette der Elektrofahrzeuge nimmt die Lithium-Ionen-Zelle einen großen Anteil für sich ein. Dies bedarf kurz- bis mittelfristig ein hohes Maß an Investitionen. Die Investitionen kommen zwar dem deutschen Maschinen- und Anlagenbau zu Gute, doch solche Investitionen sind mit einem hohen Maß an Risiken verbunden. Ein negatives Beispiel aus der Vergangenheit zeigt die Solarzellenproduktion in Deutschland. Die Forschung und Produktion ist mit immensen Summen gefördert worden. Zwar ist die Photovoltaik inzwischen in Deutschland akzeptiert und trägt einen relevanten Teil bei der Energieversorgung bei, jedoch ist die Produktion von Solarzellen in Deutschland weniger erfolgreich gewesen. Der Markt wird mittlerweile von asiatischen Herstellern dominiert. Der Aufbau einer Lithium-Ionen-Produktion in Deutschland unterliegt ähnlichen Risiken.

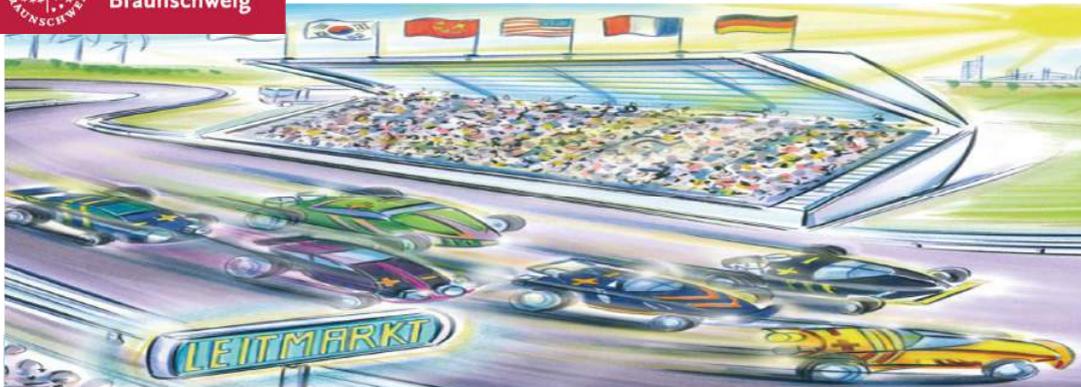
5 Zusammenfassung/Fazit

Es wurde gezeigt, dass in Deutschland bereits gegenwärtig alle Prozessschritte der Lithium-Ionen-Zellen-Produktion ausgeführt werden können und die Produktion selbst, sowie die Eigenschaften von Lithium-Ionen-Zellen, weiter durch Forschungen, wie z.B. durch die Battery LabFactory Braunschweig oder das ZSW, verbessert werden. Um im internationalen Wettbewerb allerdings bestehen zu können oder gar Leitanbieter im

Bereich der Elektromobilität zu werden, muss das Ziel des Aufbaus einer ganzheitlichen Produktion von Lithium-Ionen-Zellen fokussiert werden.

Literatur

- [1] A. Thielmann, A. Sauer, R. Isenmann, M. Wietschel und P. Plötz, Produkt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2012.
- [2] A. Kampker, Elektromobilproduktion, Hedelberg: Springer-Verlag Berlin, 2014.
- [3] E. Maiser, S. Michaelis, D. Müller, A. Kampker, H. Heimes, C. Deutskens, M. Ordnung, J.P. Gasner, N. Sarovic, S. Wessel, C. Hast, Batteriezellproduktion in Deutschland – Chancen für den Maschinen- und Anlagenbau, Aachen, Frankfurt am Main: VDMA Batterieproduktion und PEM der RWTH Aachen, 2015.
- [4] E. Maiser, S. Michaelis, A. Kampker, H. Heimes, C. Deutskens, M. Ordnung, Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Batteriezelle, Aachen, Frankfurt am Main: VDMA Batterieproduktion und PEM der RWTH Aachen, 2015.
- [5] Woodbank Communications Ltd, „New Battery Designs and Chemistries – The Hype and the Reality“. [Online]. Available: http://www.mpoweruk.com/cell_design.htm. [Zugriff am 19.01.2016].
- [6] Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik, [Online]. Available: www.tu-braunschweig.de/forschung/zentren/nff/batteryfactory. [Zugriff am 19.01.2016].
- [7] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). [Online]. Available: <http://www.zsw-bw.de/das-zsw.html>. [Zugriff am 19.01.2016].
- [8] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), „Röntgenblick in den Akku“. [Online]. Available: <http://www.zsw-bw.de/uploads/media/pi09-2015-ZSW-CT-UntersuchungBatterien.pdf>. [Zugriff am 19.01.2016].
- [9] M. Henrichs, „Li-Tec-Gründer: Deutschland verliert bei Zellfertigung für Elektroautos den Anschluss“ 24. April 2015. [Online]. Available: <http://www.ingenieur.de/Themen/Energiespeicher/Li-Tec-Gruender-Deutschland-verliert-Zellfertigung-fuer-Elektroautos-Anschluss>. [Zugriff am 19.01.2016].
- [10] Li-Tec Battery GmbH, [Online]. Available: <http://www.li-tec.de>. [Zugriff am 21.01.2016].
- [11] S. Wimmelbucker, „Batterieproduktion: Daimler übernimmt Li-Tec ganz“ 01. April 2014. [Online]. Available: www.automobilwoche.de/article/20140401/NACHRICHTEN/140409997/batterieproduktion-daimler-ubernimmt-li-tec-ganz. [Zugriff am 21.01.2016].



Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland

Jörn Busch, 03.02.2016

Agenda

- Ausgangslage & Motivation
- Produktionsstandort Deutschland
- Forschungsstandort Deutschland
- Zusammenfassung/Ausblick



Motivation & Ausgangslage



emotal.de

Ausgangslage & Motivation

- Tradition in Deutschland z.B. Varta GmbH (1904)

- Wesentliche Fortschritte durch Entwicklung der Lithium-Ionen-Technologie (1990er)
 - Jedoch ausschließlich in Asien, gekoppelt an die Unterhaltungselektronikindustrie
 - Marktvolumen der in Asien produzierten Batterien > 10 Milliarden US-Dollar (2012)

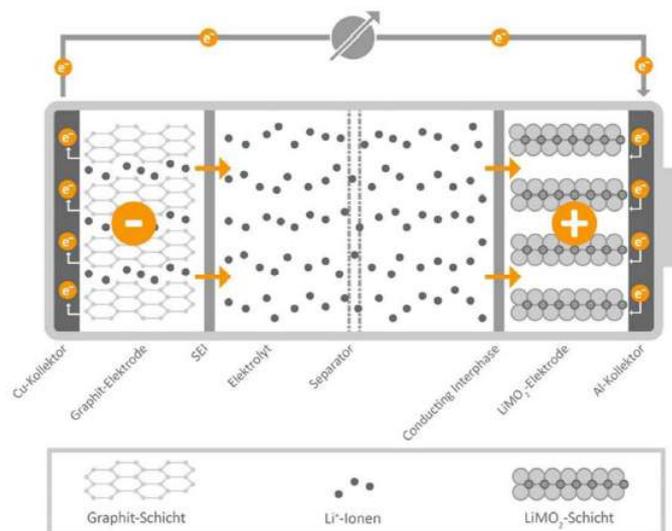
- Steigender Fokus durch anwachsendes Interesse der Elektromobilität
 - Schlüsseltechnologie
 - Hoher Anteil der Wertschöpfungskette (60 – 80%)
 - Wettbewerbsfähigkeit

Produktionsstandort Deutschland



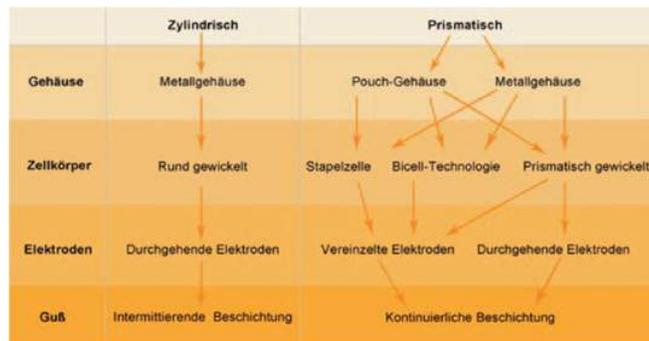
Quelle: laufexperten.de und videomaker.com

Aufbau & Funktionsweise der Lithium-Ionen-Zelle

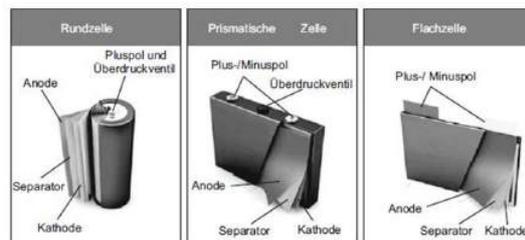


Quelle: schaufenster-elektromobilität.org

Zellvarianten



Quelle: Handbuch für Lithium-Ionen-Batterien – Springer Verlag

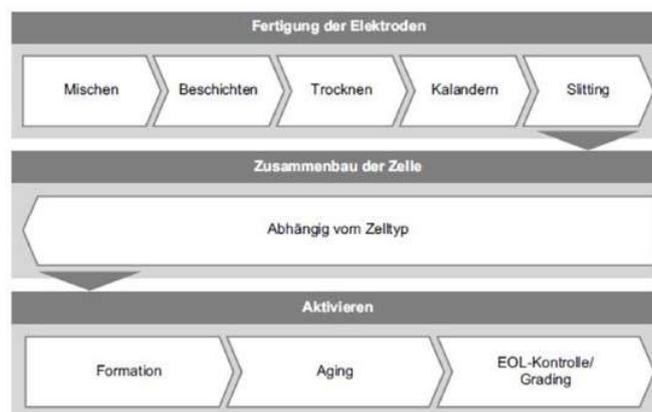


Quelle: Elektromobilproduktion – Springer Verlag

Fertigungsprozesse der Batteriezelle

Drei Hauptprozessschritte:

- Fertigung der Elektroden
- Zusammenbau der Zelle
- Aktivieren



Quelle: Elektromobilproduktion – Springer Verlag

Aktuelle Lage des Produktionsprozesses

- Alle Prozessschritte in Deutschland durchführbar
- Kaum vollständige Produktionslinien
- Angebot der Maschinen- und Anlagenbauer mit Zell-Know-How
 - Deutschland: $\leq 50\%$
 - Amerika & Asien: $\sim 85\%$



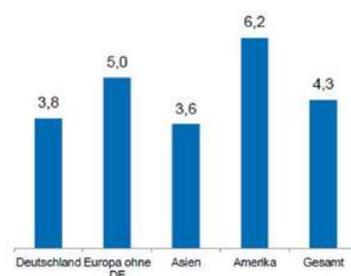
Quelle: RWTH Aachen

Aktuelle Herausforderungen der Fertigungsprozesse

- Vielzahl an konkurrierenden Maschinen- und Anlagenbauern
- Spezialisierung auf Teilprozessschritte
- Heterogene Produktionstechnologie
 - Schwebebahntrockner oder Rollentrockner
 - Laserschnitt oder Scherschnitt

Problem

- Große Streuweite des Produktionsergebnisses
- „handverlesen“

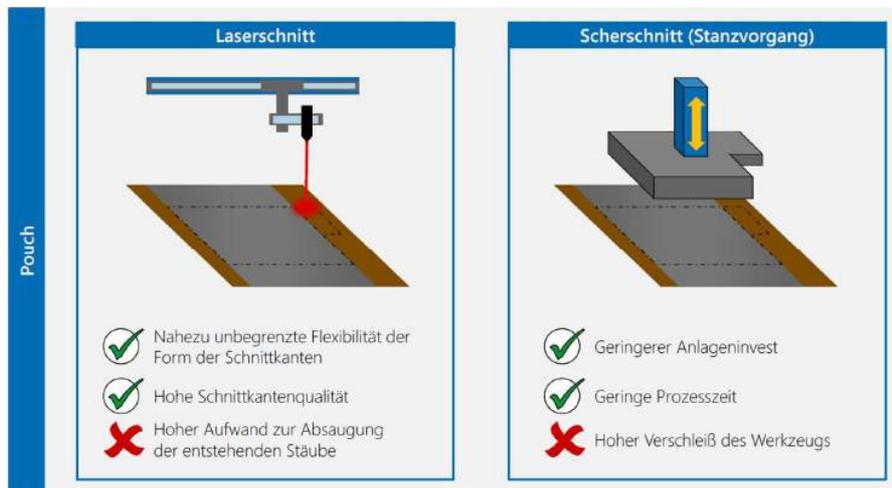


Durchschnittliche Anzahl an Prozessschritten, die ein Maschinen- und Anlagenbauer in der Batteriezellproduktion abbilden kann

Quelle: Unternehmensdatenbank des PEM der RWTH Aachen

Quelle: PEM, RWTH Aachen

Heterogenität des Produktionsprozesses



Warum in Deutschland produzieren I

- Gefahrguttransportkosten senken
- Anlagen- und Maschinenbauer profitieren immens von den Investitionen

Enger Kontakt zwischen Forschung, Produktionstechnologie und Fahrzeugentwicklung

- Zur Optimierung
- Seit jeher Garant für Erfolg
- Einfluss auf die Qualität

Warum in Deutschland produzieren II

Kostenstruktur einer Lithium-Ionen-Batteriezellfertigung

Beispiel: 4,5 GWh/a (20 Mio. Zellen/a, 60Ah)

Elektrodenfertigung

Anlageninvest: 120 – 180 Mio. EUR

Zellmontage

Anlageninvest: 330 – 490 Mio. EUR

Formation und Prüfung

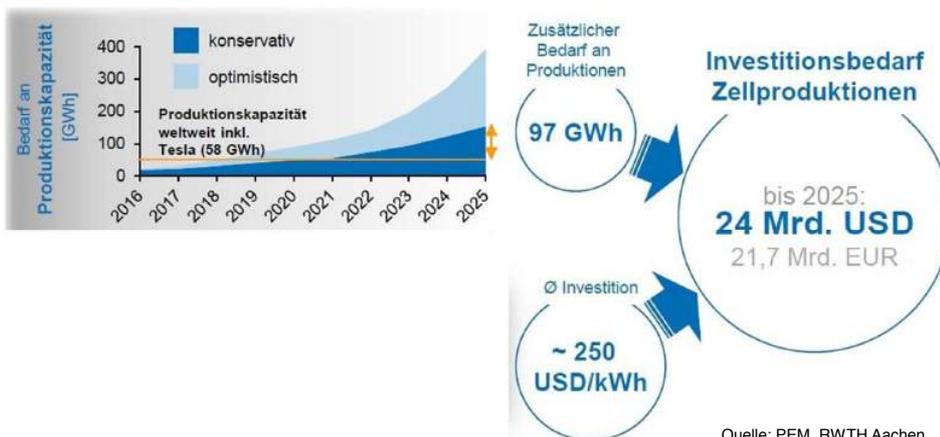
Anlageninvest: 250 – 380 Mio. EUR

Gesamt:

Anlageninvest: 700 – 1.050 Mio. EUR

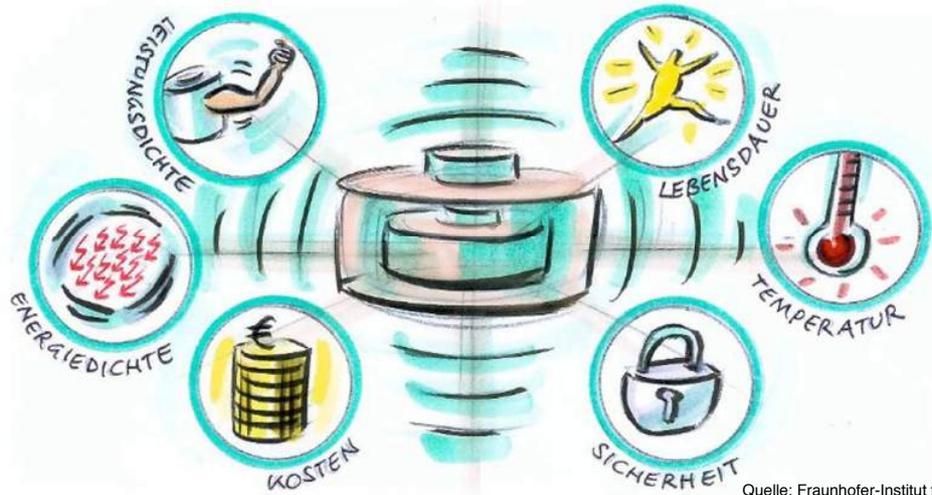
Quelle: PEM, RWTH Aachen

Warum in Deutschland produzieren II



Quelle: PEM, RWTH Aachen

Forschungsstandort Deutschland



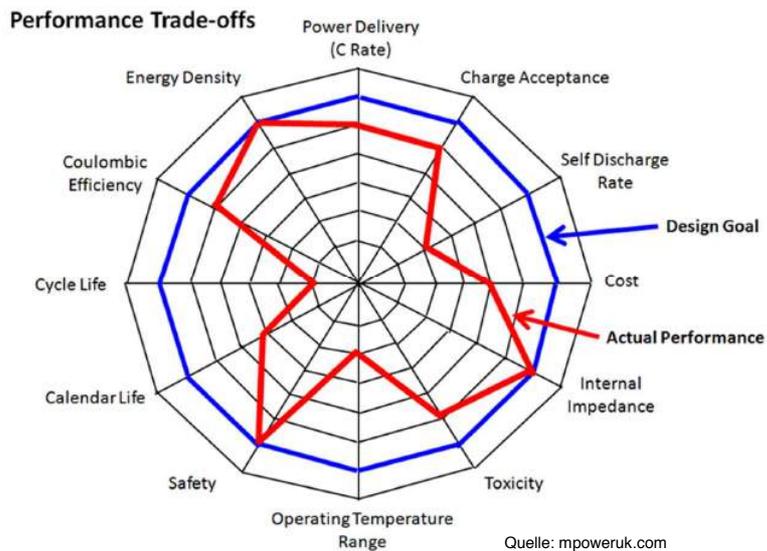
Quelle: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI



03.02.2016 | Jörn Busch | Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland | Seite 15



Warum überhaupt Forschung?



Quelle: mpoweruk.com



03.02.2016 | Jörn Busch | Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland | Seite 16



Battery LabFactory Braunschweig (BLB) I

Ziel

- wissenschaftliche Untersuchung der gesamten Fertigungskette der Lithium-Ionen-Zellen

Analyse von

- Produktionseinflüssen
- Neuen Materialien
- Alternative Fertigungsverfahren

Flankierung

- Lebenszyklusuntersuchungen
- Diagnoseverfahren
- Modellbildung

Besonderes Augenmerk auf

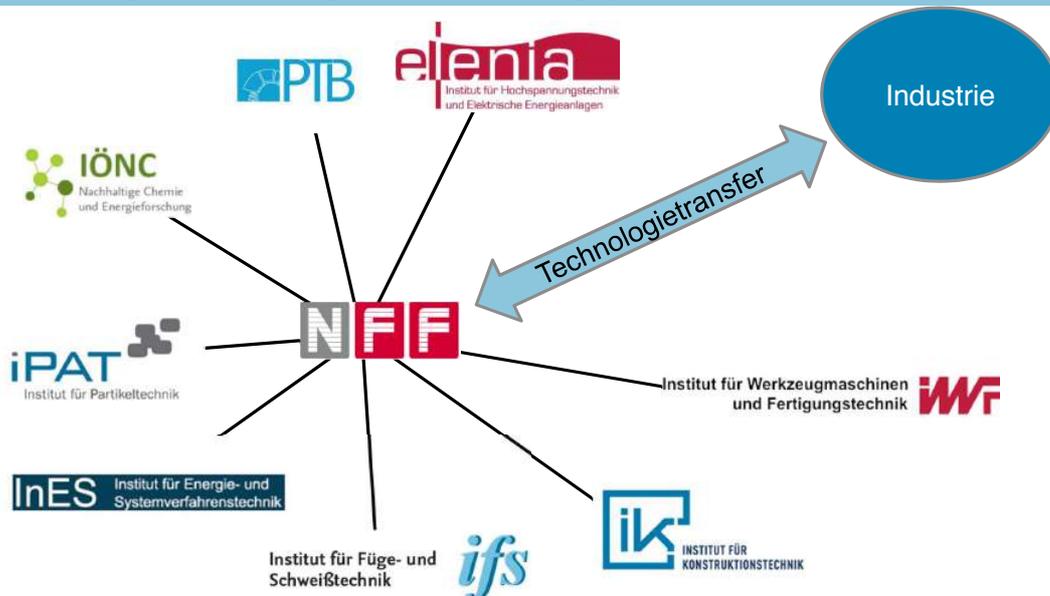
- Energiedichte
- Qualität
- Sicherheit



03.02.2016 | Jörn Busch | Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland | Seite 17



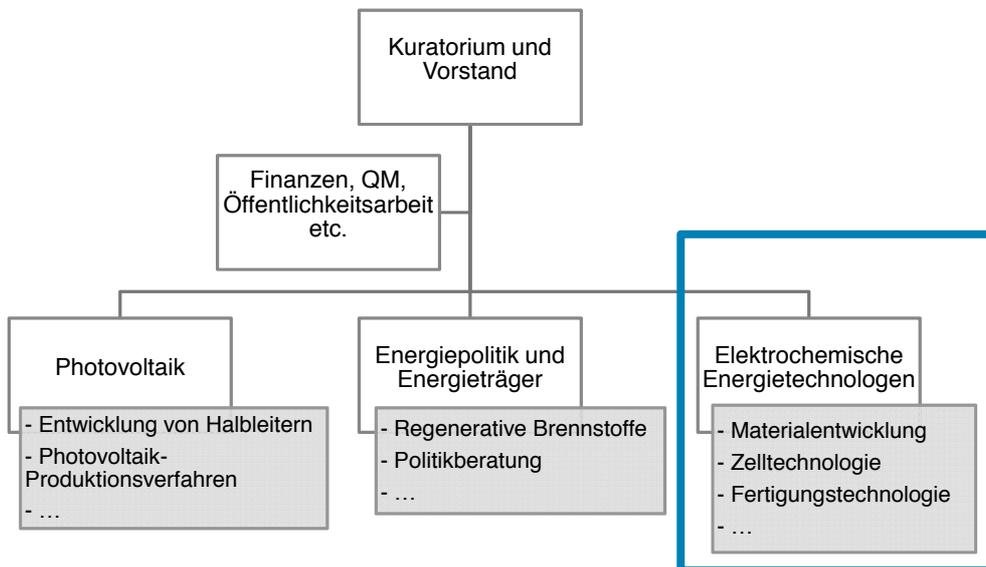
Battery LabFactory Braunschweig (BLB) II



03.02.2016 | Jörn Busch | Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland | Seite 18



Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW)



Quelle: Eigene Darstellung



03.02.2016 | Jörn Busch | Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland | Seite 19



ZSW eLaB in ULM I

- Erforschung neuer Aktivmaterialien (Kathode, Anode, Elektrolyt) und deren Verarbeitung zu Elektroden und Zellen
- Laborfertigung für kleine Standardzellen (18650-Format und 5-Ah-Pouchzellen)
- Forschungsplattform für die industrielle Produktion prismatischer Zellen (20+ Ah)
- Umfassende Charakterisierung von Zellen und kompletten Batteriesystemen
- Post-Mortem-Analysen zur Begutachtung von Alterungsvorgängen und Schadensfällen
- Batteriesicherheits- und Testzentrum
- Batteriesystemtechnik und Batterie-Management-Systeme



Quelle: zsw-bw.de



03.02.2016 | Jörn Busch | Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland | Seite 20



ZSW eLaB in ULM II

Kobaltfreies Kathodenmaterial für Lithium-Ionen-Zellen

- 40% höhere Energiedichte als bisherige Materialien
- Kostengünstiger
- Einfache Produktion

Post-Mortem-Analyse

- Dual-Source-Röntgentomograph
- Zerstörungsfrei
- Auflösung: $0,5\mu\text{m} - 1\mu\text{m}$
- Qualitätssicherung möglich



Quelle: zsw-bw.de



03.02.2016 | Jörn Busch | Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland | Seite 21



LiTec

- Entwicklung und Herstellung von Zellen
- 2006: Gründung durch Evonik
- 2008: Daimler kommt hinzu
- 2014: scheidet Evonik aus
- 2015: Anlagenverkauf



DAIMLER

Quelle: wikipedia.org



03.02.2016 | Jörn Busch | Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland | Seite 22



Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

- Kernherausforderung ist ganzheitliches, technologisch abgestimmtes Produktionskonzept zu etablieren
- zahlreiche Schnittstellen & hohe Technologieheterogenität
- Neue Elektrodenmaterialien

Ausblick

- Große Investitionen werden gefordert
- „made in Germany“
- Risikobehaftet -> Solarzellen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Fragen?

Quellen

- [1] A. Thielmann, A. Sauer, R. Isenmann, M. Wietschel und P. Plötz, Produkt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2012
- [2] A. Kampker, Elektromobilproduktion, Hedelberg: Springer-Verlag Berlin, 2014.
- [3] E. Maiser, S. Michaelis, D. Müller, A. Kampker, H. Heimes, C. Deutskens, M. Ordnung, J.P. Gasner, N. Sarovic, S. Wessel, C. Hast, Batteriezellproduktion in Deutschland – Chancen für den Maschinen- und Anlagenbau, Aachen, Frankfurt am Main: VDMA Batterieproduktion und PEM der RWTH Aachen, 2015.
- [4] E. Maiser, S. Michaelis, A. Kampker, H. Heimes, C. Deutskens, M. Ordnung, Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Batteriezelle, Aachen, Frankfurt am Main: VDMA Batterieproduktion und PEM der RWTH Aachen, 2015.
- [5] Woodbank Communications Ltd, „New Battery Designs and Chemistries – The Hype and the Reality“. [Online]. Available: http://www.mpoweruk.com/cell_design.htm. [Zugriff am 19.01.2016].
- [6] Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik, [Online]. Available: www.tu-braunschweig.de/forschung/zentren/nff/batterylabfactory. [Zugriff am 19.01.2016].
- [7] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). [Online]. Available: <http://www.zsw-bw.de/das-zsw.html>. [Zugriff am 19.01.2016].
- [8] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), „Röntgenblick in den Akku“. [Online]. Available: <http://www.zsw-bw.de/uploads/media/pi09-2015-ZSW-CT-UntersuchungBatterien.pdf>. [Zugriff am 19.01.2016].
- [9] M. Henrichs, „Li-Tec-Gründer: Deutschland verliert bei Zellfertigung für Elektroautos den Anschluss“ 24. April 2015. [Online]. Available: <http://www.ingenieur.de/Themen/Energiespeicher/Li-Tec-Gruender-Deutschland-verliert-Zellfertigung-fuer-Elektroautos-Anschluss>. [Zugriff am 19.01.2016].
- [10] Li-Tec Battery GmbH, [Online]. Available: <http://www.li-tec.de>. [Zugriff am 21.01.2016].
- [11] S. Wimmelbücker, „Batterieproduktion: Daimler übernimmt Li-Tec ganz“ 01. April 2014. [Online]. Available: www.automobilwoche.de/article/20140401/NACHRICHTEN/140409997/batterieproduktion-daimler-uebernimmt-li-tec-ganz. [Zugriff am 21.01.2016].



Lithium-Ionen-Batteriesysteme und deren Herstellung in Europa

Lithium-Ion-Battery systems and its production in Europe

Sven Ziegler,

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, sven.ziegler@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Diese Seminararbeit hat sich mit der aktuellen Situation von Lithium-Ionen-Batteriepacks und –Modulen in Europa beschäftigt. Es wurden die derzeitigen Hersteller und Abnehmer in Europa herausgesucht und analysiert. Im Weiteren ist der Herstellungsprozess aufgeführt, d.h. im Einzelnen die Montage der Zellen zu einem Batteriepack und der benötigte Fertigungsprozess. Es wurde zusätzlich auch die Steuerung des Packs durch Batteriemanagementsysteme (BMS) untersucht. Die Arbeit hat derzeitige und die mögliche zukünftige Verwendungen, Forschungsthemen und Investitionen aufgezeigt.

Abstract

This paper dealt with the current situation of Lithium-ion-battery packs and modules in Europe by looking at and analyzing Companies and their current Production facilities residing in Europe. Furthermore the assembly was shown from scratch, starting from completed cells up to battery packs and the needed manufacturing process was listed, too. Additionally, the control of a battery module - the battery management system - was explained. At last, the work presented usage possibilities in nowadays and future economy and in the fields of research and investment.

1 Einleitung

Erneuerbare Energien und Elektromobilität verbreiten sich immer stärker und damit verbunden sind die Probleme der Speicherung der Energie.

Bei Wind-, Wasserkraft- und Solarenergieanlagen fluktuiert die Energieerzeugung und kann im Gegensatz zu, mit fossilen Rohstoffen betriebenen Kraftwerken, nicht gesteuert werden. Um die gesamte gewonnene Energie nutzen zu können, werden Energiespeicher benötigt, die zu Zeiten höheren Verbrauchs entsprechend die bereits generierte Leistung abgeben können.

In der Automobilbranche schreitet der Umstieg von fossilen Brennstoffen hin zu Elektromobilität voran und eines der zurzeit größten Probleme sind die geringe Reichweite sowie die lange Ladezeit.

Diese Probleme sollen mit Hilfe neuer Batterietechnologien auf Basis der Lithium-Ionen-Batterie gelöst werden. Dabei muss sowohl an der Kapazität sowie an der Stabilität von größeren Batterien geforscht werden. Weiterhin ist das Produktionsvolumen noch geringer als das prognostizierte benötigte Volumen. Durch die kleinen Produktionsreihen sind die Preise zu hoch, was zusätzlich zu einer geringeren Abnahme beim Verbraucher führt. Hinzu kommt der lange Transportweg aus Asien und der Mangel an Produktionsstätten in Europa, die in Zukunft nötig sein werden.

2 Theoretische Grundlagen

Für die Lithium-Ionen-Zellen Produktion gibt es eine Vielzahl verschiedener Elektrodenmaterialien, die verwendet werden [1]. Viele Zellen werden zu einem Modul gepresst, anschließend isoliert und in Reihe verschaltet. Zum Schluss werden die

Steuerungselektronik - das BMS - und die Kühlaggregate montiert.

Die Module können zu Packs verarbeitet werden. Dafür werden diese in einem gekühlten Gehäuse gestapelt und verschraubt. Es wird zusätzlich ein BMS Master benötigt, um die Auslastung der Module zu steuern. Am Ende der fertiggestellten Module, bzw. Packs werden diese auf Funktionsfähigkeit getestet [2].

Die mobilen Packs z.B. für Autos haben derzeit eine spezielle Leistung von 3500 Wh/kg [3], während stationäre Speicher, z.B. als Kleinpuffer Kapazitäten von 2 kWh, bei Großanlagen bis zu 5 MWh speichern können [1].

Derzeitige Probleme der Lithium-Ionen-Batterie-Produktion für Elektromobile und als Energiespeicher für erneuerbare Energien sind die Realisierung größerer Speicherkapazitäten und der Kostenfaktor. Während die Lithium-Ionen-Akkus schon heute in Mobiltelefonen im Massenmarkt angekommen sind, ist der Markt für größere Packs und Module noch sehr gering. Das liegt vor allem an den Produktionskosten, da nur Kleinserien produziert werden. Hinzu kommt noch die fehlende Infrastruktur im Stromnetz bzw. bei den Tankstellen [4] und ein Mangel an Produktionsstätten in Europa.

3 Hauptteil

Die Funktionsfähigkeit von Batteriesystemen oder Modulen wird durch diverse aufeinander abgestimmte elektrische Komponenten, zu denen das Batteriemanagementsystem (BMS), das Kühlsystem, das Thermomanagement und die Leistungselektronik gehören, gewährleistet. Die Herstellung, Funktion und Kombination der Komponenten soll kurz aufgeführt

werden sowie ein Überblick über den derzeit vorhandenen Markt in Europa gegeben werden.

3.1 Das Batteriemanagementsystem (BMS)

Das BMS sorgt für die Datenkommunikation zwischen Batterie und der zu versorgenden Einheit, wie z.B. einem Auto. Außerdem ist es für die Steuerung der Kühlung und der Auslastung der einzelnen Zellen, bzw. der Module zuständig [1].

Es regelt die Auslastung der einzelnen Batteriezellen, um eine hohe Zyklenzahl und Lebensdauer zu ermöglichen. Für die Überwachung der Temperatur, der Zellspannung und des Stroms ist der Cell Supervising Circuit (CSC) zuständig. Der Strom wird hierbei durch zwei Sensoren (Messwiderstand und elektrisches Feld) direkt an der Batterie gemessen [3].

Eine Kontrolleinheit übernimmt die Kommunikation mit dem Auto und überwacht den State of Charge (SoC - Ladezustand), den State of Health (SoH - Alterung) und den daraus resultierenden State of Function (SoF - Funktionalität). Weiterhin sorgt sie für das Leistungsmanagement im Ruhezustand.

Zusätzlich gibt es noch einen Kontaktor, der für die Abschaltung im Fehlerfall zuständig ist, sodass andere Komponenten im Auto nicht beschädigt werden. Das Thermomanagement gewährleistet, dass die Batterien bei einer optimalen Temperatur betrieben werden. [1]

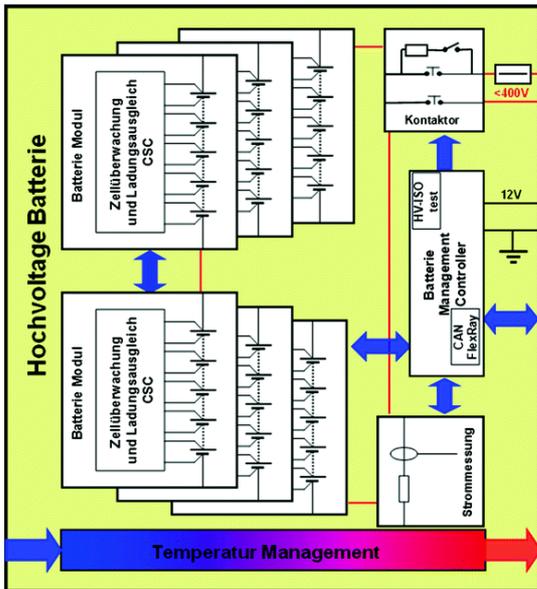


Abbildung 3.1 BMS im Überblick [1]

3.2 Das Batteriemodul

Es gibt zwei Möglichkeiten eine Batterie zusammenzusetzen, den modularen und den Blockaufbau. Beim Blockaufbau werden alle Komponenten (Kühlsysteme, Sensoren, Kollektor) zu einer Einheit verschraubt. Im Gegensatz dazu werden beim modularen Aufbau nur einzelne Zellen miteinander zu einem Untermodul zusammengeschaltet, die dann mit weiteren zu einem

großen Batteriemodul verschraubt werden. Der Vorteil hierbei liegt in der leichten Austauschbarkeit der einzelnen Module und somit auch der Wartung.

Die Zellen eines Moduls können in Serie oder parallel verschaltet werden, wobei beides Vor- und Nachteile aufweist. [1]

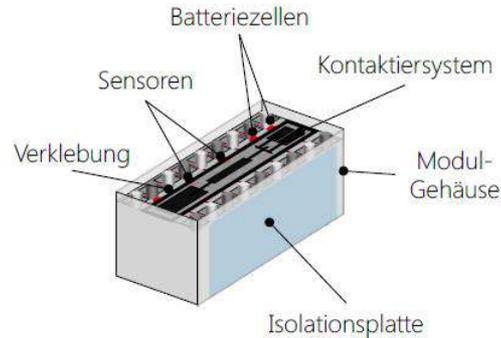


Abbildung 3.2 Aufbau einer modularen Batterie [2]

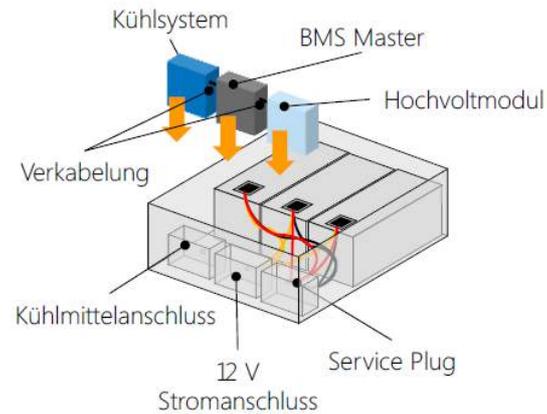


Abbildung 3.3 Aufbau eines Batteriepacks [2]

3.2.1 Herstellung

Die Herstellung von Batteriemodulen und die Weiterverarbeitung zu Packs unterliegt mehreren Arbeitsschritten.



Abbildung 3.4 Fertigungsprozess eines Batteriemoduls [1]

Nach der Einlieferung und Sortierung werden die einzelnen Zellen mit Hilfe von isolierendem Kleber zusammengefügt und gepresst. Anschließend werden Isolationsplatten, welche auch dem Wärmeabtransport dienen, an den Seiten montiert und der Block in einem Gehäuse eingebracht. Im folgenden Schritt werden die einzelnen Zellen elektrisch in Reihe kontaktiert, wobei es unterschiedliche Möglichkeiten gibt [1] [2]. Die Sensorik für Ladung, Spannung, Temperatur sowie die CSC-Platine werden durch Schweißen auf das Modul gesetzt

und anschließend auf Funktionsfähigkeit überprüft. Abschließend wird das Modul mit einer Platte verschlossen und auf Unregelmäßigkeiten des Gehäuses, Dichtheit, Zellspannung und Funktionalität der Steuerung geprüft.



Abbildung 3.5 Fertigungsprozess Batteriepack [1]

Im nächsten Schritt können die Module zu einem Pack zusammengesetzt werden. Dafür werden auf dem Boden eines Gehäuses Kühlplatten montiert, auf die die Module aufgesetzt werden. Die Module werden befestigt und je nach Anwendungsfall und Anbieter parallel oder seriell verschaltet. Anschließend wird das Kühlsystem, der BMS Master und das Hochvoltmodul montiert und verkabelt. Zum Schluss wird das Gehäuse verschlossen und auf Dichtheit sowie Funktionsfähigkeit geprüft. Vor der Auslieferung werden die Packs mit der neuesten Software geflasht und die Zellen auf den gewünschten Ladezustand geladen [2].

3.2.2 Recycling/Second Use

Die Zukunft von Lithium-Ionen-Batterien ist von einem umfassenden Recyclingkonzept abhängig. Die Lebensdauer einer Batterie in der Elektromobilität wird als beendet erklärt, wenn noch 70-80% der ursprünglichen Ladekapazität vorhanden sind [5]. Es gibt im Anschluss die zwei Möglichkeiten, die Batterie zu Recyceln oder sie in einer anderen Anwendung weiterzuverwenden (Second Use).

Zurzeit werden Batterien recycelt, wobei die Materialien (Kobalt, Nickel, Kupfer) wiedergewonnen und das Lithium in Schlacke gebunden und als Baustoff weiterverwendet wird. Der derzeitige Wiedergewinnungsgrad liegt bei 50% [2]. Das Ziel in Zukunft soll sein, einen geschlossenen Kreislauf zu schaffen, sodass das aus Batterien zurückgewonnene Lithium wieder zur Produktion dieser eingesetzt werden kann (s. Abb. 3.6) [5].

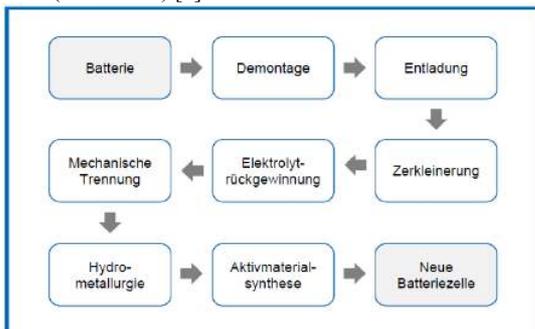


Abbildung 3.6 Angestrebte Recycling Kette einer Batterie [5]

Second Use einer Batterie zelle, -moduls oder -packs sieht vor, diese z.B. in Energiespeicheranlagen weiterzuverwenden, da sie nicht in dem Grad leistungsabhängig sind, wie z.B. Elektroautos. In diesem Fall muss das BMS an die neuen Gegebenheiten

angepasst werden, um es für einen Einsatz und die Einspeisung im Stromnetz vorzubereiten [2].

Eine weitere Möglichkeit ist das Remanufacturing, bei dem die Batterie in einzelne Komponenten zerlegt wird und diese für andere Anwendungen wiederverwendet werden [2].

3.2.3 Markt in Europa

Der Markt für Batteriemodule und -packs in Europa ist zurzeit sehr klein und weist ein großes Defizit im Vergleich zum asiatischen Markt auf.

Dagegen stehen einige große, in naher Zukunft geplante Investitionen namhafter Automobilhersteller wie Tesla, Renault oder Nissan an.

Aktuellen Meldungen zur Folge plant Tesla die Errichtung eines Werkes in Deutschland und ist in Verhandlungen über mögliche staatliche Zuschüsse, da es den deutschen Markt als den wichtigsten in Europa einschätzt [6].

LG Chem will eine Batterieproduktionsstätte in Polen in der Nähe zu anderen bereits vorhandenen LG Fabriken bauen [7]. Alternativ wird eine Kooperation mit Renault am Fertigungsstandort in Frankreich erwogen [8].

Nissan hat bereits 2015 die Batterieproduktion in Sunderland, UK aufgenommen und plant mit 50.000 Batteriepacks/Jahr [9].

3.2.4 Ausblick/Forschungsthemen

Neben ausgereifteren Recycling Konzepten und weiteren Investitionen in neue Produktionsstätten ist eine Weiterentwicklung der Batterie notwendig. Auf lange Sicht müssen neue Materialkombinationen gefunden werden, die eine höhere Energiedichte als Lithium-Ionen-Batterien besitzen. Erste Fortschritte werden bei Lithium-Luft und Lithium-Schwefel gemacht. Diese haben den weiteren Vorteil, dass weniger Selteneren und seltene Metalle wie z.B. Kobalt genutzt werden, welche ein großer Nachteil von Lithium-Ionen-Batterien sind. Es wird prognostiziert, dass auf lange Sicht die auf der Erde vorhandenen Materialien schon 2050 nicht mehr ausreichen könnten, um die Batterieproduktion aufrechtzuerhalten. [4]

Bis zur Marktreife dieser neuen Technologien ist es für die Industrie wichtig, neue, verbesserte und günstigere Herstellungsmethoden zu finden. Dabei muss der Ausschuss verringert und die maximal mögliche Produktionsmenge erhöht werden, sodass die Preise für Batteriesysteme sinken. Als weiterer Punkt muss die Nachhaltigkeit der Batterieproduktion im Hinblick auf die Umweltfreundlichkeit verbessert werden. [5]

4 Kritische Würdigung

Batteriesysteme und -packs werden in Zukunft von immer größerer Bedeutung sein, da sie als Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität und von Energiespeichern für erneuerbare Energien gelten. Die Umsetzung benötigt noch einigen Forschungsbedarf, da sowohl die Bauteile als auch die Produktion optimiert werden müssen.

Die Lithium-Ionen-Batterie ist zurzeit die beste Technologie, die jedoch in Zukunft von Lithium-Schwefel oder Lithium-Luft abgelöst werden könnte, da diese weit höhere Energiedichten aufweisen.

[9] „AMS,“ 14 Januar 2015. [Online]. Available: <http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/technology/taking-charge>. [Zugriff am 2016 Januar 8].

5 Zusammenfassung/Fazit

Die Seminararbeit hat sich mit Lithium-Ionen-Batteriesystemen auseinandergesetzt. Es wurden dabei die einzelnen Komponenten von Modulen und Packs aufgeführt und deren Funktion erläutert. Anschließend wurde das Herstellungsverfahren der beiden Systeme erklärt und auf die weitere Verwendung (Second Use, Recycling) und deren Wichtigkeit für die Nachhaltigkeit eingegangen.

Die Zukunft von Lithium-Ionen-Batterien ist aufgrund der höheren Energiedichten von Lithium-Luft und Lithium Schwefel eingeschränkt, wobei hierbei noch einige Forschungsarbeit geleistet werden muss. Die Arbeit hat außerdem aufgezeigt, dass auch in der Produktion noch einige Forschungsarbeit benötigt wird, um die in Zukunft hohen Stückzahlen bei hoher Qualität nachhaltig produzieren zu können.

Literatur

- [1] R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Berlin Heidelberg: Springer, 2013.
- [2] P. VDMA, „RWTH Aachen,“ Oktober 2015. [Online]. Available: https://www.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaaoqiyk. [Zugriff am November 2015].
- [3] A. Kampker, Elektromobilproduktion, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- [4] „Fraunhofer ISI,“ Oktober 2011. [Online]. Available: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/elektromobilitaet_broschueure.pdf. [Zugriff am Dezember 2015].
- [5] PEM, Fraunhofer ISI, VDMA, „Roadmap Batterieproduktionsmittel 2030,“ VDMA Batterieproduktion, 2014.
- [6] C. Rauwald, „Bloomberg Business,“ 17 November 2015. [Online]. Available: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-11-17/tesla-in-talks-with-germany-over-possible-battery-factory>. [Zugriff am 8 Januar 2016].
- [7] „Inside EVS,“ Oktober 2015. [Online]. Available: <http://insideevs.com/lg-chem-build-battery-plant-europe/>. [Zugriff am 2016 Januar 8].
- [8] „Renault,“ August 2012. [Online]. Available: <http://www.renault.de/renault-welt/produkt/qualitat-bei-renault/batterieproduktion-fuer-e-fahrzeuge-in-frankreich/>. [Zugriff am 2016 Januar 8].



Lithium-Ionen-Batteriesysteme und deren Herstellung in Europa

Sven Ziegler, 03.02.16

Agenda

- Einleitung
- Herstellungsverfahren
- Nutzung
- Produktion in Europa
- Ausblick
- Zusammenfassung

Einleitung

- Lithium-Ionen-Batterien
 - Zusammenschluss mehrerer Zellen
 - führend im Markt für Consumer Electronics
 - Batteriemodule und -packs
 - Energiespeicher für erneuerbare Energien
 - Akkus für Elektroautos
 - Hohe Kosten von Lithium-Ionen-Batteriesystemen
 - Investitionen nötig



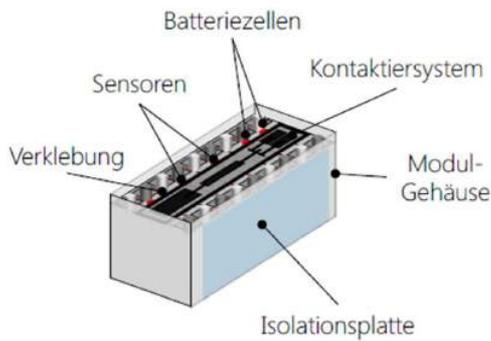
Quelle: R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien

Agenda

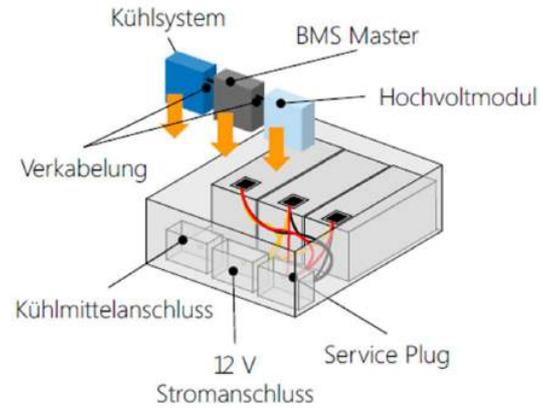
- Einleitung
- Herstellungsverfahren
- Nutzung
- Produktion in Europa
- Ausblick
- Zusammenfassung

Modelle

- Batteriemodul
 - Zellen seriell
 - mehr Sensoren
 - aufwendig
 - Zellen parallel
 - 1 Sensor



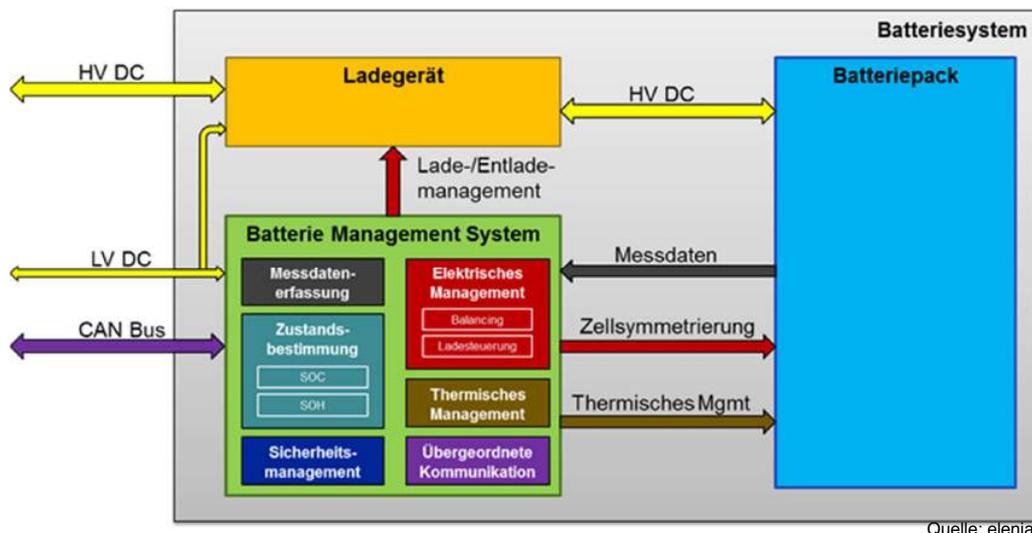
- Batteriepack
 - Seriell- oder Parallelschaltung der Module



Quelle: RWTH Aachen

Batteriemanagementsystem

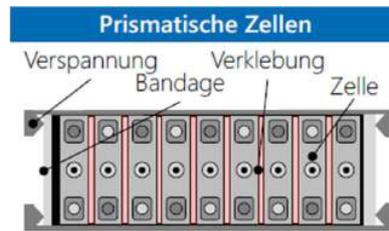
- Überwachung des Batteriemoduls/packs und Datenkommunikation



Quelle: elenia

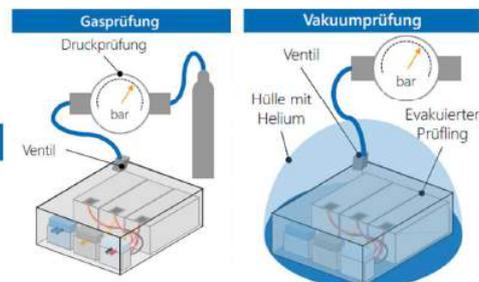
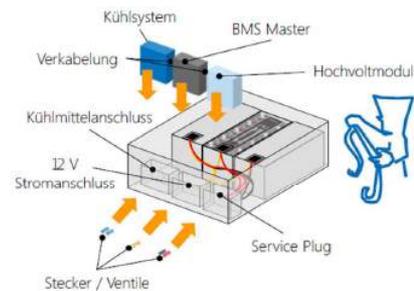
Herstellungsverfahren

- Herstellung von Batteriemodulen
 - Vormontage Zellmodul
 - Kontaktierung
 - Montage Platinen und Sensoren
 - Montage Schlussplatte
 - Prüfung



Herstellungsverfahren

- Fertigung von Batteriepacks
- Einsatz der Zellmodule & Befestigung
- Elektrische und Thermische Integration
- Montage Schlussplatte
- Prüfung
- Laden und Flashen



Quelle: RWTH Aachen

Agenda

- Einleitung
- Herstellungsverfahren
- **Nutzung**
- Produktion in Europa
- Ausblick
- Zusammenfassung

Nutzung

- **Elektromobilität**
 - Individualverkehr
 - Elektroautos (BEV, PHEV)
 - Gabelstapler
 - Rollstühle
 - Gesteuerte Aufladung
 - Anpassung an Energie-
-erzeugung erneuerbarer
Energien
 - Ökologisch?
- Beispielrechnung
- **10 Mio. Elektroautos** mit
10kWh Speicher → **10GWh
Kapazität**
- Ausreichend um Deutschland **8
Minuten** mit Strom zu
versorgen
(bei einem Jahresverbrauch
von 589TWh - 2014)
- Entspricht ungefähr der
Leistung des größten
Pumpspeicherkraftwerks

Nutzung

- Energiespeicher
 - Ausgleichen von Stromspitzen
 - Größter Energiespeicher in Schwerin
 - 5 MW Batterie
 - Insgesamt 25.600 Batteriezellen

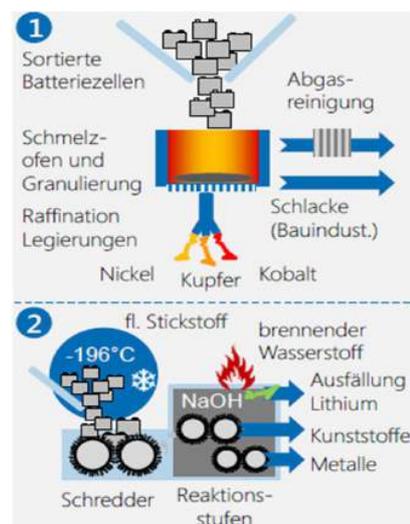


Quellen: Oben: younicos.com, Unten: wemag.com

Nutzung

- **Second Use**
 - Leistungsfähigkeit <80%
 - Energiespeicher mit angepasstem BMS
- **Remanufacturing**
 - Demontage
 - Aufbereitung
 - Wiederverwendung

Recycling



Quelle: RWTH Aachen

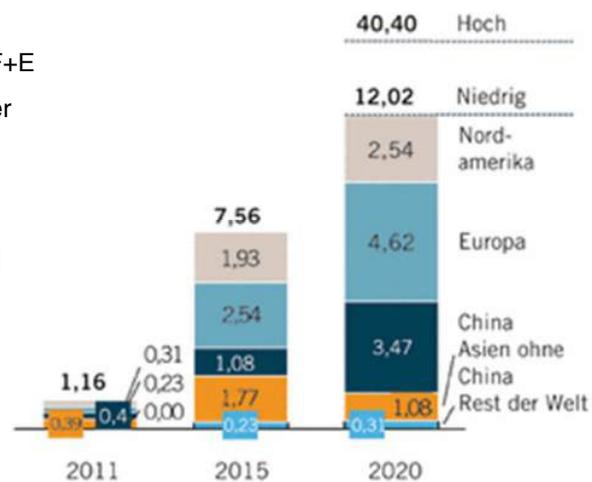
Agenda

- Einleitung
- Herstellungsverfahren
- Nutzung
- Produktion in Europa
- Ausblick
- Zusammenfassung

Produktion/Markt in Europa

- Europäische Produktion gering
- Asien dominant
- Fokussierung auf Maschinenbau & F+E
- Investitionen ausländischer Hersteller
 - Tesla
 - Nissan
 - LG

LiB-Marktvolumen – nach Region (in Mrd. Euro)



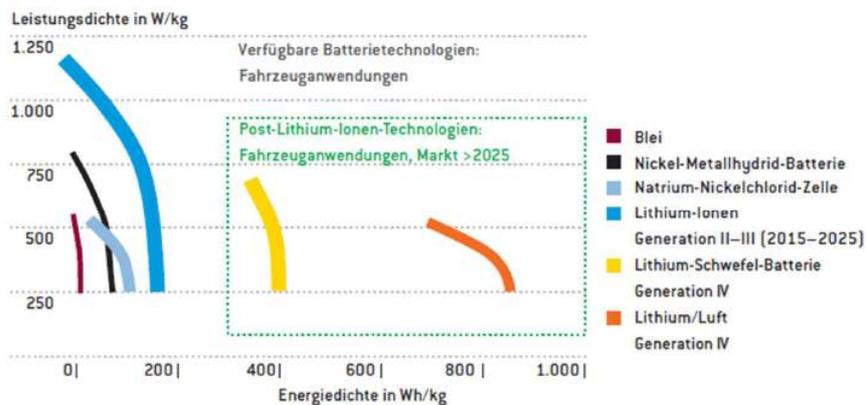
Quelle: Positionierungen in den Märkten der Akkumulatorenhersteller, 2012

Agenda

- Einleitung
- Herstellungsverfahren
- Nutzung
- Produktion in Europa
- **Ausblick**
- Zusammenfassung

Ausblick

- Forschungsthemen:
 - Neue verbesserte Herstellungsverfahren
 - Kostenersparnis
- Produktinnovationen
 - Lithium-Schwefel
 - Lithium-Luft



Quelle: Fraunhofer ISI

Agenda

- Einleitung
- Herstellungsverfahren
- Nutzung
- Produktion in Europa
- Ausblick
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Lithium-Ionen-Batterien im Consumerbereich führend
 - Asien Marktführer
- Nutzung als Energiespeicher und in der Elektromobilität
 - Innovationen nötig
 - Recyclingprozess implementieren & standardisieren
- Herstellungsverfahren Batteriemodule und –packs
 - Europas Chance durch gezielte Investitionen zu Asien aufzuschließen
- Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterie

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Quellen

- R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Berlin Heidelberg: Springer, 2013
- PEM. VDMA, „RWTH Aachen,“ Oktober 2015. [Online]. Available: https://www.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaaoiyk. [Zugriff November 2015]
- A. Kampker, Elektromobilproduktion, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014
- „Fraunhofer ISI,“ Oktober 2011. [Online]. Available: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/elektromobilitaet_broschuere.pdf. [Zugriff Dezember 2015]
- PEM. Fraunhofer ISI. VDMA, „Roadmap Batterieproduktionsmittel 2030,“ VDMA Batterieproduktion, 2014
- C. Rauwald, „Bloomberg Business,“ 17 November 2015. [Online]. Available: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-11-17/tesla-in-talks-with-germany-over-possible-battery-factory>. [Zugriff am 8. Januar 2016].
- „Inside EVS,“ Oktober 2015. [Online]. Available: <http://insideevs.com/lg-chem-build-battery-plant-europe/>. [Zugriff am 8. Januar 2016].
- „Renault,“ August 2012. [Online]. Available: <http://www.renault.de/renault-welt/produkt/qualitat-bei-renault/batterieproduktion-fuer-e-fahrzeuge-in-frankreich/>. [Zugriff am 8. Januar 2016].
- „AMS,“ 14 Januar 2015. [Online]. Available: <http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/technology/taking-charge>. [Zugriff am 8. Januar 2016].

Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien in Deutschland

Overview of Battery Testing Instructions of Lithium-Ion Batteries in Germany

B.Sc. Sascha Wolff, Braunschweig, s.wolff@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Es gibt Prüfungen für elektrische und mechanische Belastbarkeit, sowie für die Zyklusfestigkeit von Batterien. Darüberhinaus existieren auch bestimmte Verfahren um Transportbedingungen wie Vibration, Schläge oder Temperaturschwankungen nachzustellen.

Diese Arbeit gibt einen Überblick über verschiedene, für Lithium-Ionen Batterien angewendete Prüfvorschriften in Deutschland gegeben. Weiterhin wurde die Entstehung einer Norm vorgestellt und welche Normungsorganisationen weltweit tätig sind.

Zusätzlich wurde noch beispielhaft auf verschiedenen Prüfungen der Norm IEC 62660 eingegangen und ein kurzer Ausblick in die Forschung an Lithium-Ionen-Batterie-Technologie gegeben.

Abstract

There are some testings methods for electrical and mechanical load capacity as well as for the cycleability of batteries. Furthermore, there are also certain procedures to readjust transport conditions like vibration, strokes and variations in temperature.

This paper gave an overview of different test specifications for lithium-ion batteries in germany. Also, the emergence of a standard has been set and which standardisation organisations are active worldwide. In addition, some different tests of IEC 62660 have been discussed and a brief glimpse into the research on lithium-ion battery technology has been given.

1 Einleitung

Lithium-Ionen Batterien werden aufgrund ihrer hohen spezifischen Energien in immer mehr Anwendungen eingesetzt. Dies gilt nicht nur für kleine mobile Anwendungen, sondern auch für große Systeme wie Elektrofahrzeuge oder große stationäre Speicher. Mit zunehmender Speichergröße steigt aber auch die potentielle Gefahr in kritischen Situationen.

Aus diesem Grund wurden Prüfverfahren entwickelt, welche die Sicherheit einer Batterie (-zelle, -modul, -system) nachweisen sollen.

2 Theoretische Grundlagen

Als Grundlage für meine Arbeit dienen verschiedene Normen, in denen Prüfverfahren von Lithium-Ionen-Batterien für verschiedene Anwendungszwecke bzw. Transportbedingungen vorgeschrieben sind. Es gibt eine Vielzahl von Normen die sich mit Lithium-Ionen-Batterien beschäftigen. In dieser Arbeit kann nur ein Überblick über die dazugehörigen Normen gegeben werden. Anhand von Beispielen wird ein kurzer Einblick in den Aufbau solcher Prüfungen nach Norm ermöglicht.

3 Normen

3.1 Wann brauche ich eine Norm

Normung ist ein wichtiges Thema in der Welt. Sie wird immer dann benötigt, wenn gleichartige oder ähnliche Gegenstände in mehreren Anwendungen, an verschiedenen Orten von verschiedenen Benutzern gebraucht werden.

Normung dient zur

- Verbesserung des Einsatzes von Produkten weltweit
- Förderung des Austausches von Waren über Ländergrenzen hinaus
- Erleichterung der technischen und kommunikativen Zusammenarbeit. [1]

Die Normung ist allgegenwärtig. So können wir z.B. einen USB-Stick aus Deutschland in jedem anderen Land der Welt, an jeden beliebigen Computer anschließen und brauchen nicht jedes Mal einen Adapter. Ein anderes Beispiel ist die Batterie. Wenn diese überall anders wäre, könnten Kameras oder Taschenlampen, die mit Batterien betrieben werden, nur mit bestimmten Produkten von z.B. nur einem Hersteller bestückt werden.

Normung schafft damit also weltweiten Handel und reduziert auch die Vielfalt von Produkten für denselben Einsatz.

3.2 Normungsgremien

Normung geschieht nicht nur in Deutschland, sondern global. Es gibt verschiedene Normungsorganisationen, die europäisch und international zusammenarbeiten. **Abbildung 3.1** zeigt einen Überblick über die Normungsgremien.



Abbildung 3.1: Überblick über die Normungslandschaft [1]

Das Deutsche Institut für Normung (DIN) hat einen Vertrag mit der Bundesregierung und ist verantwortlich für die Normung in Deutschland. Die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE ist verantwortlich für die Normung im Sektor Elektrotechnik. [1]

3.3 Die Entstehung einer Norm in Deutschland

Jeder kann einen Normungsantrag bei der DIN formlos schriftlich stellen. Im Folgenden klärt der zuständige Ausschuss, ob für das gewählte Thema Bedarf besteht, ob es finanziert wird und ob die Bearbeitung auf nationaler, europäischer oder internationaler Ebene stattfinden soll. Sobald neue Normungsarbeiten beginnen, kann sich die Öffentlichkeit im „DIN-Anzeiger für technische Regeln“ darüber informieren und Stellung nehmen.

Sobald der zuständige Ausschuss darüber entscheidet eine nationale Norm zu erarbeiten und das zuständige Lenkungsgremium zustimmt, wird ein Normentwurf erarbeitet und durch den Beuth Verlag veröffentlicht. Die Öffentlichkeit bekommt diesen Entwurf kostenlos im Norm-Entwurfs-Portal von DIN zur Verfügung gestellt, sodass es kommentiert werden kann.

Die Experten des zuständigen Ausschusses beraten sich im Anschluss über die einzelnen Stellungnahmen und stimmen den Inhalt der geplanten Norm ab. Sobald diese Arbeiten abgeschlossen sind wird die neue Norm veröffentlicht. [2]

3.4 Überblick über bestehende Normen

Insgesamt gibt es zur Zeit ca. mehr als 32.500 DIN-Normen. [3]

Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht über aktuelle Normen im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien.

Anwendung	Normenbezeichnung
Transport	DIN EN 62133-2: <i>Transportsicherheit</i> DIN EN 62281: <i>Transportsicherheit</i> UN 3480/3481: <i>Verpackung</i> UN 38.3: <i>Transporttests</i> VDE-AR-E 2510-2: <i>Anwendungsregel</i>
Industrie	DIN EN 62619: <i>Industr. Anwendung</i> DIN EN 62620: <i>Industr. Anwendung</i>
Stationär	DIN EN 62040: <i>Batterien für USV</i> VDE-AR-E 2510-50: <i>Stat.Energiesp.</i>
Tragbare Geräte	UL 1642 : <i>Lithiumbatterien</i> UL 2054: <i>Household & Commercial</i> DIN EN 60086-4: <i>Sicherheit</i>
Elektromobilität	DIN EN 62660-1-3: <i>E-Straßenfahrz.</i> ECE R100: <i>Batteriebetr. Straßenfahrz.</i> ISO 12405-1-3: <i>E-Straßenfahrzeuge</i> SAE J 2464: <i>Sicherheit BEV & HEV</i> UL 2271: <i>Light Electric Vehicle (LEV)</i> UL 2580: <i>Batterie for Electric Vehicle</i>

Tabelle 3.1: Überblick über vorhandene Normen für Lithium-Ionen-Batterien

3.4.1 Beispiele für Prüfungen nach Norm

In den Normen werden viele Prüfungen dargestellt. Es gibt mechanische, elektrische und Temperaturprüfungen. Zusätzlich gibt es noch Transportprüfungen in der UN 38.3, wobei Höhensimulationen, Vibrationen, Schock und ähnliche Prüfungen durchgeführt werden.

3.4.1.1 Mechanische Tests

Mechanische Tests werden durchgeführt, um unsachgemäße Behandlung der Batterien nachzustellen. Solche mechanische Beanspruchungen werden z.B mit Prüfungen durch Schwingungen, mechanische Stoßeinwirkung oder Quetschen erreicht.

Abbildung 3.2 zeigt den Quetsch-Test.

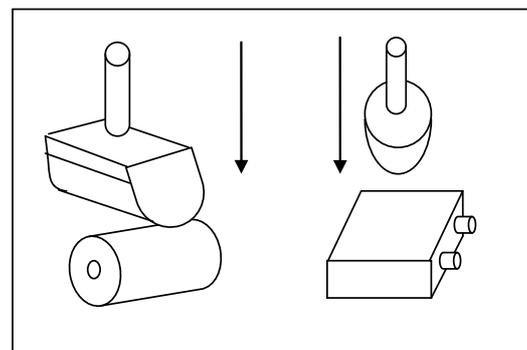


Abbildung 3.2: Prüfung "Quetschen" nach IEC 62660-2 [4]

3.4.1.2 Elektrische Tests

Elektrische Prüfungen dienen dazu, verschiedene Faktoren einer Batterie zu ermitteln. Es gibt Prüfungen um z.B. die Kapazität, die Leistung, die Selbstentladung und die Lebensdauer zu ermitteln.

Abbildung 3.3 und **Abbildung 3.4** zeigen den Lebensdauertest durch Zyklisieren für BEV.

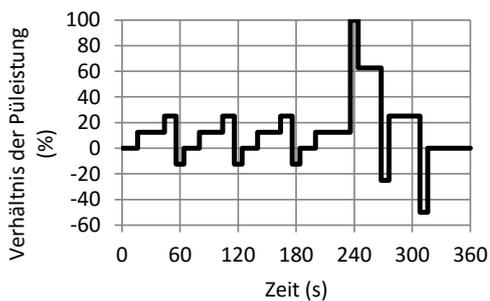


Abbildung 3.3: Dynamisches Entladeprofil für Zyklentest bei BEV nach IEC 62660-1 [4]

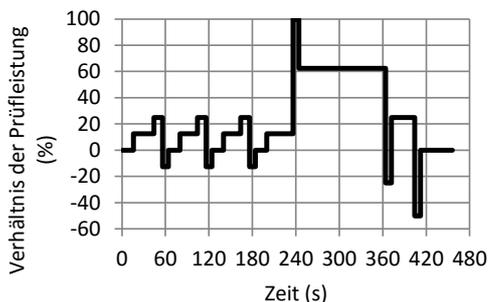


Abbildung 3.4: Dynamisches Entladeprofil für Zyklentest bei BEV, simulierter Berganstieg nach IEC 62660-1 [4]

3.4.1.3 Temperaturprüfungen

Temperaturprüfungen dienen unter anderem dazu, Transportbedingungen nachzustellen, wenn z.B. Batterien in einem Flugzeug transportiert werden und somit großen Temperaturunterschieden ausgesetzt sind.

Tabelle 3.2 zeigt eine solche Temperaturprüfung. Hierbei wird die Zelle bei 25°C Starttemperatur auf $T_{\min} = -40^\circ\text{C}$ (oder Herstellerangabe) abgekühlt. Im Anschluss daran, wird sie wieder auf 25°C erwärmt und dann auf $T_{\max} = 85^\circ\text{C}$ (oder Herstellerangabe) erhitzt. Insgesamt dauert diese Prüfung 480 min, ist ohne elektrischen Betrieb und wird 30 mal wiederholt.

Zeit min	Temperatur °C
0	25
60	T_{\min}
150	T_{\min}
210	25
300	T_{\max}
410	T_{\max}
480	25

Tabelle 3.2: Temperaturzyklisierung ohne Betrieb nach IEC 62660-2 [5]

3.5 Aktuelle Normentwürfe

Neue Entwicklungen in allen Bereichen des Lebens erfordern immer wieder neue Normungsarbeiten. Pro Jahr

werden ca. 2500 neue und überarbeitete Normen veröffentlicht. [3]

Tabelle 3.3 zeigt eine kleine Übersicht über aktuelle Normentwürfe.

Anwendung	Normentwürfe
Stationär	P DIN EN 62485-5: <i>Stat. Anwendung</i>
Tragbare Geräte	DIN EN 62133-2: <i>Tragbare Geräte</i> DIN EN 61960: <i>Tragbare Geräte</i> E DIN IEC 62466: <i>Uhren</i> P DIN EN 63005-2: <i>Knopfzellen&Bat.</i>
Elektromobilität	P DIN EN 62485-6: <i>Traktionsanwend.</i> DIN V VDE V 0510-11: <i>Mob. Anwend.</i>

Tabelle 3.3: Überblick über Normentwürfe für Lithium-Batterien

4 Forschung im Bereich Lithium-Zellen

4.1 Lithium-Feststoff-Akkumulatoren

Die Firma Bosch hat einen neuen Akku vorgestellt, der die Reichweite bisheriger Elektroautos verdoppeln soll. Die Technik wurde durch den Kauf des US-Unternehmens Seeo erlangt. Der neue Lithium-Feststoff-Akku ist derzeit noch weiter in der Entwicklung, um ihn für den Massenmarkt tauglich zu machen.

Die neue Technologie verspricht doppelte Kapazität bei 75% geringerem Volumen und halben Gewicht bisheriger Akkus.

In den kommenden fünf Jahren soll allerdings erst einmal die Haltbarkeit der Zellen getestet werden bevor es in die Massenproduktion und Normung geht. [5]

4.2 Lithium-Luft-Akkumulatoren

Auf der Suche nach dem Superakku ist es britischen Forschern gelungen, eine hohe Energiedichte, eine Energieeffizienz von über 90% und eine Haltbarkeit von 2000 Ladezyklen zu erreichen.

Die Lithium-Luft-Batterie gilt als eine sehr viel energiereichere Technologie um die bisherigen Lithium-Ionen-Batterien abzulösen.

Lithium-Luft-Batterien können theoretisch die zehnfache Kapazität heutiger Batterien erreichen, haben ein geringeres Gewicht und bieten damit die gleiche Reichweite wie herkömmliche Benzinautos an.

Die Technologie wird allerdings frühestens in 10 Jahren erwartet. [6]

5 Kritische Würdigung

Normung ist ein nützliches und wichtiges Thema in unserer heutigen Gesellschaft. Alles soll schnell und einfach funktionieren. Dafür sind einheitliche Standards notwendig, um weltweiten Handel betreiben zu können, Sicherheit von Betriebsmitteln zu gewährleisten und Vergleichbarkeit von Prüfungen zu schaffen.

Standardisierung trägt nicht nur zur Sicherheit und Handelbarkeit bei, sondern schützt auch die Umwelt.

Die immer weiter voranschreitende Entwicklung von Produkten in allen Gebieten erfordert immer neue Normungsansätze damit auch die Sicherheit der neuen Entwicklungen gegeben ist.

Dieses ist der Grund, warum Normung immer ein wichtiges und notwendiges Mittel in der Wirtschaft sein wird!

6 Zusammenfassung/Fazit

Normen werden immer dann benötigt, wenn ein Betriebsmittel in verschiedenen Anwendungen, durch verschiedene Benutzer angewendet, zum Einsatz kommt. In Deutschland werden die Normen von dem Deutschen Institut für Normung (DIN) aufgestellt.

Für den Bereich der Elektrotechnik ist die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik (DKE) im DIN und VDE verantwortlich.

Den Beginn einer Normungsarbeit kann jeder einleiten, wenn der Normungsantrag durch den zuständigen Ausschuss genehmigt und finanziert wird.

Der im Anschluss entstehende Normentwurf wird der Öffentlichkeit zur Stellungnahme freigegeben. Sobald der Ausschuss die Stellungnahmen begutachtet und den Entwurf ggf. angepasst hat wird die neue Norm veröffentlicht.

Im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien gibt es viele verschiedene Normen, in denen Prüfungen beschrieben sind, wie die Batteriezelle mechanisch, elektrisch, sowie in ihrer Temperaturbeständigkeit geprüft werden.

Durch diese Prüfungen lassen sich sehr genaue Aussagen über die Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Batteriezelle treffen.

Zu den bestehenden Normen reihen sich noch diverse Entwürfe, die noch zur Stellungnahme breit liegen oder sich kurz vor der Veröffentlichung in der Prüfung befinden.

Zukünftig könnte die herkömmliche Lithium-Ionen-Batterie durch neue, bessere Technologien abgelöst werden.

Eine dieser neuen Typen ist die Lithium-Feststoff-Batterie.

Diese Batterie befindet sich noch in der Entwicklung, verspricht aber die doppelte Kapazität bei 75% geringerem Volumen und halben Gewicht bisheriger Akkus.

Die andere Technologie ist die Lithium-Luft-Batterie.

Lithium-Luft-Batterien können theoretisch die zehnfache Kapazität heutiger Batterien erreichen, haben ein geringeres Gewicht und bieten damit die gleiche Reichweite wie herkömmliche Benzinautos an.

Bei der Lithium-Feststoff-Technologie werden im Labormaßstab schon gute Ergebnisse erzielt, nur sind sie schwer als Massenprodukt produzierbar. Bis Ende nächsten Jahres wird man sicherlich schon vor Markteinführung stehen.

Diese neuen Entwicklungen werden wieder neue Normungsarbeiten mit sich bringen, sodass auch weiterhin die Sicherheit, Funktionstüchtigkeit und weltweite Einsetzbarkeit gegeben ist.

7 Literatur

- [1] K. Sann, "Überblick der aktuellen Normungslandschaft bei Batteriespeichern Vertrag mit Bundesregierung," p. 19, 2015.
- [2] "Entstehung einer Norm." [Online]. Available: <http://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/din-norm/entstehung-einer-norm-73320>. [Accessed: 23-Jan-2016].
- [3] M. Ringelsiep, "Wirtschaft - Gesellschaft - Planet Wissen," 05-Aug-2013. [Online]. Available: <http://www.planet-wissen.de/gesellschaft/wirtschaft/normen/pwwbnormen100.html>. [Accessed: 23-Jan-2016].
- [4] H. Sattler, "Prüfanforderungen an Li-Batterien für Elektrofahrzeuge," p. 66.
- [5] "Elektroautos: Bosch-Akku verdoppelt Reichweite," *Kronen Zeitung*, 2015. [Online]. Available: http://www.krone.at/Digital/Elektroautos_Bosch-Akku_verdoppelt_Reichweite-Besser_und_leichter-Story-472300. [Accessed: 23-Jan-2016].
- [6] S. Parsch, "Elektromobilität: Wichtige Fortschritte auf dem Weg zu Superakku - DIE WELT," *Die Welt*, 2015. [Online]. Available: <http://www.welt.de/wissenschaft/article148208189/Wichtige-Fortschritte-auf-dem-Weg-zu-Superakku.html>. [Accessed: 23-Jan-2016].



Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien in Deutschland

Sascha Wolff, 03.02.2016

Agenda

- Einleitung
- Wann brauche ich eine Norm?
- Von der Idee bis zur Norm
- Bestehende Normen für Lithium-Ionen-Batterien
- Aktuelle Entwürfe
- Forschung im Bereich Lithium-Zellen
- Zusammenfassung



Agenda

- Einleitung
- Wann brauche ich eine Norm?
- Von der Idee bis zur Norm
- Bestehende Normen für Lithium-Ionen-Batterien
- Aktuelle Entwürfe
- Forschung im Bereich Lithium-Zellen
- Zusammenfassung

Einleitung

- Lithium-Ionen Batterien werden häufig verwendet
- Hohe spezifische Energie
- Je größer der Speicher, desto größer das Risiko



Quelle:
http://comps.canstockphoto.de/canstock-photo_csp8042101.jpg

Quelle:
<https://www.pitopia.de/scripts/pictures/detail.php?pid=37548&>



- Sicherstellung der Funktionsfähigkeit auch in kritischen Situationen
- Normen für einheitliche Prüfstandards notwendig
- Internationale Vergleichbarkeit schaffen

Quelle: <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/boeings-pannen-flieger-dreamliner-wenn-batterien-fliegen/7650190.html>

Agenda

- Einleitung
- Wann brauche ich eine Norm?
- Von der Idee bis zur Norm
- Bestehende Normen für Lithium-Ionen-Batterien
- Aktuelle Entwürfe
- Forschung im Bereich Lithium-Zellen
- Zusammenfassung

Wann brauche ich eine Norm?



Quelle:
http://www.brgkepler.at/~robotik/home/images/ee_p_hysik_batterien.jpg

Normung wird immer dann benötigt, wenn gleichartige oder ähnliche Gegenstände in mehreren Anwendungen, an verschiedenen Orten von verschiedenen Benutzern gebraucht wird.

Normung dient zur:

- Verbesserung des Einsatzes von Produkten weltweit
- Förderung des Austausches von Waren über Ländergrenzen hinaus
- Erleichterung der technischen und kommunikativen Zusammenarbeit



Quelle: http://mic.hit-karlsruhe.de/projekte/SS08_Hoehemesser/USBPort.jpg

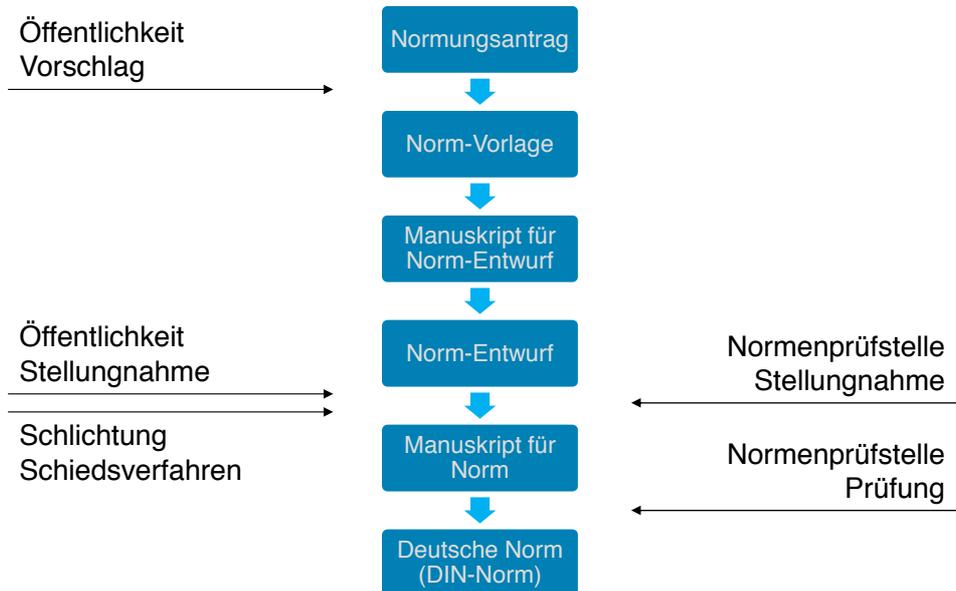
Agenda

- Einleitung
- Wann brauche ich eine Norm?
- Von der Idee bis zur Norm
- Bestehende Normen für Lithium-Ionen-Batterien
- Aktuelle Entwürfe
- Forschung im Bereich Lithium-Zellen
- Zusammenfassung

Normung

Normung	Generell	Elektrotechnologie	Telekommunikation
International	ISO	IEC	ITU
Europäisch (regional)	CEN	CENELEC	ETSI
Deutsch (national)	DIN	DKE	DKE

Die Entstehung einer Norm in Deutschland



Agenda

- Einleitung
- Wann brauche ich eine Norm?
- Von der Idee bis zur Norm
- Bestehende Normen für Lithium-Ionen-Batterien
- Aktuelle Entwürfe
- Forschung im Bereich Lithium-Zellen
- Zusammenfassung

Überblick über bestehende Normen



DIN EN 62133-2: *Transportsicherheit*
DIN EN 62281: *Transportsicherheit*
UN 3480/3481: *Verpackung von Lithium-Batterien*
UN 38.3: Transporttests
VDE-AR-E 2510-2: *Transport, Verpackung und Aufstellung*

Quelle: http://www.flugstatistik.de/images/shop/gross/UPS_Truck_Package.jpg



DIN EN 62619: *Sicherheitsanforderungen für Li-Batterien für die Verwendung in industriellen Anwendungen*
DIN EN 62620: *Li-Batterien für industrielle Anwendungen*

Quelle: <http://www.mayser-schaumstofftechnik.de/branchen/industrie/>



DIN EN 62040: *Batterien für USV*
VDE-AR-E 2510-50: *Stationäre Energiespeichersysteme*



Quelle: http://www.soechtig-elektrotechnik.de/soechtig/auto_cms/original/e3dct1.jpg

03.02.2016 | Sascha Wolff | Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien | Seite 11



UL 1642: *Lithiumbatterien*
UL 2054: *Household and commercial batteries*
DIN EN 60086-4: *Sicherheit von Lithium-Ion-Batterien*

Quelle: <http://media2.giga.de/2015/10/Rechargeable-cell-phone-battery.-isolated-on-white-background.jpg>



DIN EN 62660-1-3: Li-Ion-Zellen für den Antrieb von E-Straßenfahrzeugen
ECE R100: Regelung batteriebetriebener Elektrofahrzeuge
ISO 12405-1-3: *Li-Ion-Batterien in elektrischen Straßenfahrzeugen*
SAE J 2464: *Sicherheits- und Missbrauchsprüfung für BEV & HEV*
UL 2271: *Batteries for use in Light Electric Vehicle (LEV)*
UL 2580: *Batteries for use in Electric Vehicles*

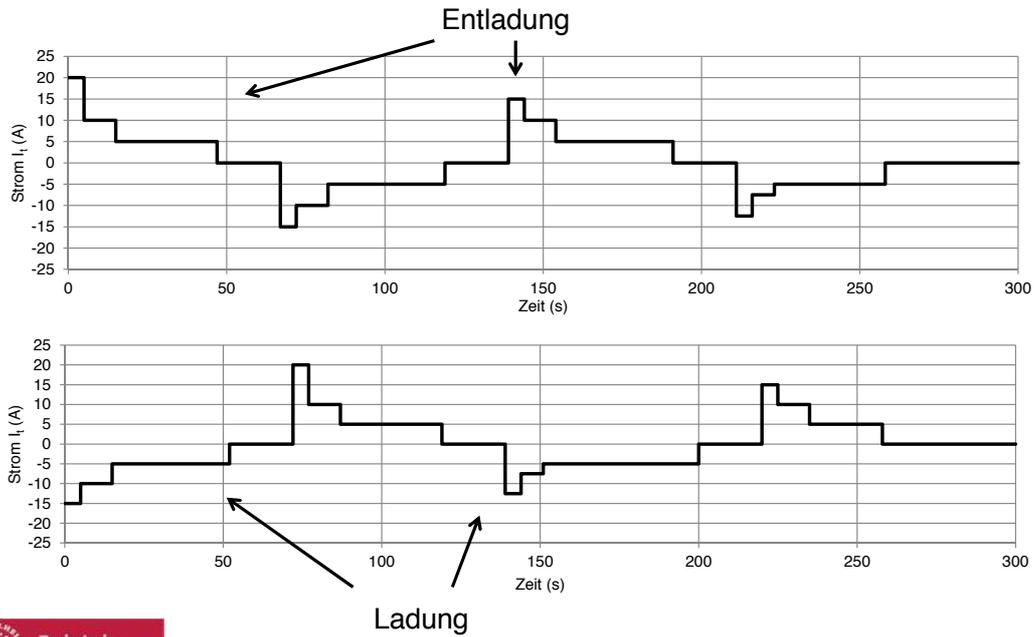


Quelle: http://www.chip.de/fii/2/1/2/4/3/7/7/8/tesla_01-c32155049d873d82.jpg

03.02.2016 | Sascha Wolff | Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien | Seite 12

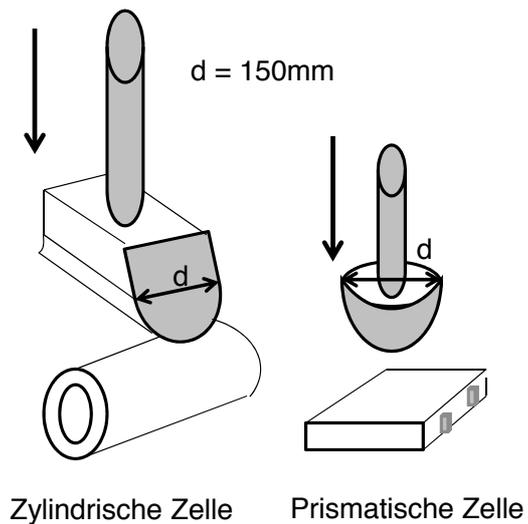


Zyklusprüfung von Batterien für den Einsatz in Hybridfahrzeugen



Mechanische Tests

- Quetschungen
- Schwingungen
- Mechanische Stoßeinwirkung



Zylindrische Zelle

Prismatische Zelle

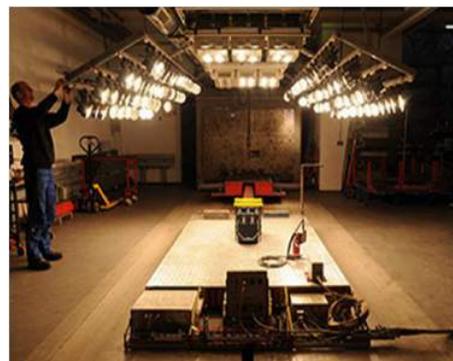
Temperaturprüfung (ohne elektrischen Betrieb)

Zeit min	Temperatur °C
0	25
60	T_{\min}
150	T_{\min}
210	25
300	T_{\max}
410	T_{\max}
480	25

- T_{\min} = -40°C oder Herstellerangabe
- T_{\max} = 85°C oder Herstellerangabe
- 30x wiederholen

ECE R100

- ECE = Economic Commission for Europe
- Regelung für batteriebetriebene Fahrzeuge
- Verschärfung der Zulassungsnorm
- Schwere dynamische und statische Missbrauchsversuche für Systeme (Batterie-Packs)
 - Batteriebrand
 - Crashversuch



Quelle: http://www.tuv-sud.com/uploads/images/1401949753829023051037/dynamic-testing_340x227.jpg

Agenda

- Einleitung
- Wann brauche ich eine Norm?
- Von der Idee bis zur Norm
- Bestehende Normen für Lithium-Ionen-Batterien
- Aktuelle Entwürfe
- Forschung im Bereich Lithium-Zellen
- Zusammenfassung



03.02.2016 | Sascha Wolff | Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien | Seite 17



Normentwürfe

Anwendung	Entwürfe
Stationär	P DIN EN 62485-5: <i>Li-Ion-Batterien für stationäre Anwendungen</i>
Tragbare Geräte	DIN EN 62133-2: <i>Sicherheitsanforderung für Li-Systeme in tragbaren Geräten</i> DIN EN 61960: <i>Lithium-Akkumulatoren und -batterien für tragbare Geräte</i> E DIN IEC 62466: <i>Lithium-Ion-Sekundärzellen für Uhren</i> P DIN EN 63005-2: <i>Sekundäre Lithium-Knopfzellen und -batterien</i>
Elektromobilität	P DIN EN 62485-6: <i>Li-Ion-Batterien für Traktionsanwendungen</i> DIN V VDE V 0510-11: <i>Sicherheitsanforderungen an Li-Ion-Akkus für HEV und mobile Anwendungen</i>



Quelle:
http://www.fraenkische.com/portal/mbd_cumulus.php?id=20235&new_max_width=581



Quelle: http://www.system-technik.info/uploads/pics/titel_normen.jpg



03.02.2016 | Sascha Wolff | Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien | Seite 18



Agenda

- Einleitung
- Wann brauche ich eine Norm?
- Von der Idee bis zur Norm
- Bestehende Normen für Lithium-Ionen-Batterien
- Aktuelle Entwürfe
- Forschung im Bereich Lithium-Zellen
- Zusammenfassung

Neue Lithium-Ionen-Technologien

Lithium-Feststoff-Akkumulator

- Kapazität verdoppelt
- 75% kleineres Volumen
- Halbes Gewicht
- Kein Auslaufen des Elektrolyts möglich



Quelle:
http://imgl.krone.at/Bilder_skaliert/2015/09/16/07aa2f622f0926e333a65cd7d2b80661__bosch-akku_jpg_1324457_1164.jpg

Lithium-Schwefel-Batterien



- Kostenreduktion um ~24% möglich
- Höhere Energiedichten (~ 350 Wh/kg)
- Hohe Zyklenstabilität erreichbar
- Noch unbefriedigende Lebensdauer

Quelle:
<http://www.heise.de/tr/imgs/08/2/5/0/9/7/9/6830a9b83c4d955e.jpg>

Agenda

- Einleitung
- Wann brauche ich eine Norm?
- Von der Idee bis zur Norm
- Bestehende Normen für Lithium-Ionen-Batterien
- Aktuelle Entwürfe
- Forschung im Bereich Lithium-Zellen
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Normung für Gegenstände für verschiedene Anwendungen
 - Normung schafft internationalen Handel
 - Normung dient der Sicherheit von Betriebsmitteln
 - Theoretisch kann jeder eine Norm auf den Weg bringen
 - Es gibt zu praktisch jeder Anwendung oder Entwicklung eine Norm
 - Neue Entwicklungen in der Lithium-Technologie erfordern neue Normen
- ⇒ **Die Normung wird immer ein wichtiges und notwendiges Mittel in der Wirtschaft sein!**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Sensorik zur Charakterisierung von Batteriezellen

Sensors for the characterization of battery cells

Uili Wobeto Reinheimer

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, u.wobeto-reinheimer@tu-bs.de

Kurzfassung

Bei der Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien müssen diese bezüglich ihrer elektrischen Eigenschaften charakterisiert werden. Diese Arbeit hat sich mit der notwendigen Sensorik beschäftigt, bei der die zu bestimmenden Parameter der Strom, die Temperatur und der Druck innerhalb der Zelle sind. Es werden verschiedene Messkonzepte mit entsprechenden Vor- und Nachteilen in Hinblick auf den Messaufbau dargestellt.

Abstract

In the development of lithium-ion batteries they must be electrical characterized. This work has dealt with the necessary sensors to determine the parameters of the current, temperature and pressure within the cell. There are presented the advantages and disadvantages of each measurement concept and the Test setups.

1 Einleitung

Lithium-Ionen-Batterien sind in der heutigen Gesellschaft, besonders wegen ihrer hohen Energiedichte, nicht mehr weg zu denken. Das Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen forscht seit Jahren an der Entwicklung und Herstellung dieser Batterieart. Bei der Charakterisierung von Batteriezellen werden unterschiedliche Messverfahren angewendet, wie die Elektrochemische-Impedanz-Spektroskopie. Mit diesem Verfahren ist es möglich eine quantitative Aussage über die Qualität der Batteriezelle oder über dem Alterungszustand zu geben. Aber auch einfache Messungen mit Lade- und Entladevorgängen zur Bestimmung des Innenwiderstands, sowie Leistungstests können eine Aussage über die Qualität der Batteriezelle geben.

Die Messverfahren benötigen unterschiedliche Arten der Sensorik, welche in dieser Arbeit vorgestellt werden.

2 Theoretische Grundlagen

Lithium-Ionen Batterien speichern Energie, indem elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt wird. Die Optimierung der Eigenschaften einer Zelle wird durch geringfügige Abweichungen verschiedener Parameter erzielt, wie z.B. chemische Bestandteile. Die Zellen werden dann zum ersten Mal geladen und bilden an der negativen Elektrode eine „Solid Electrolyte Interphase“-Schicht (SEI-Schicht). [1, 2]

Der Ladevorgang ist ein Beispiel für einen kritischen Punkt des Prozesses, der zu einer Instabilität der Batterie führen kann. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig die Temperatur der Zelle zu überwachen um schnellstmöglich auf ein Verlassen des sicheren Temperaturbereichs und dem Eintritt eines Thermalrunaways zu reagieren. Bevor die Temperatur

einen kritischen Punkt erreicht, bildet sich ein Gas innerhalb der Zelle und der Druck steigt. [3]

Die Messung von Druck in Batteriezellen befindet sich momentan noch im Bereich der Forschung und hat zum Beispiel das Potential, die Reaktionszeit des Ladesystems zu verkürzen. Die Batterien können im Fehlerfall schneller abgeschaltet werden wodurch das Gesamtsystem sicherer wird.

3 Hauptteil / Erkenntnisse

Die Charakterisierung von Batteriezellen werden bei konstanten Umgebungsbedingungen, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, realisiert. Daher wird die Querempfindlichkeit der Sensoren bezüglich dieser Größen außer Betracht gelassen. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Recherche über die Messaufnehmer vorgestellt.

3.1 Drucksensoren

Wie bereits in den theoretischen Grundlagen erwähnt, wird derzeit daran geforscht, den Druck in Batteriezellen als zusätzliche Größe bei seiner Charakterisierung sowie dem Aufladevorgang zu messen und zu überwachen. Die Auswirkung der mechanischen Belastung auf eine Lithium-Ionen-Batterie während der Auf- und Entladevorgänge und über die Anzahl der Zyklen wurde in [4] untersucht. Der verwendete Messaufbau wird in Abbildung 1 dargestellt und ist ein Stapel aus einer Pouchzelle mit Dimensionen 25mm x 35mm x 6.5mm, einer Aluminiumplatte und einer Wägezelle. Die Aluminiumplatte wird zwischen der Batterie und der Wägezelle positioniert und verteilt die mechanische Last über die ebene Fläche der Wägezelle. Der Stapel wird mithilfe von Schrauben und Muttern festgehalten wodurch auch der Druck auf die Zelle eingestellt wird.

Das verwendete Wägezellemodell wird in [4] nicht spezifiziert, deckt aber einen Messbereich bis mindestens 3Mpa ab, wie Abbildung 2 zeigt. Dieser Wert kann in Kraft umgerechnet werden indem er mit der Batteriefläche multipliziert wird und ergibt:

$$3\text{Mpa} \cdot 25\text{mm} \cdot 35\text{mm} = 2625\text{N}$$

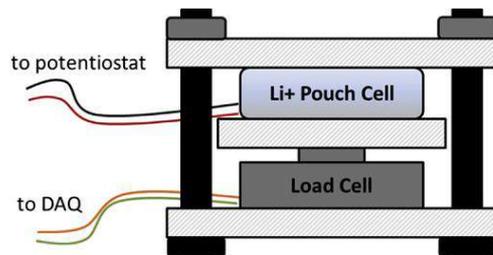


Abbildung 1: Messaufbau für die Druckmessung aus [4]

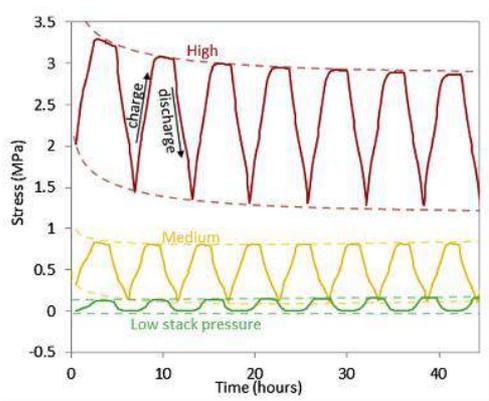


Abbildung 2: Druck als Funktion der Zeit aus [4]

3.1.1 Dehnungsmessstreifen

Die Wägezellen basieren typischerweise auf Dehnungsmessstreifen (DMS) die in eine Wheatstonesche Messbrücke geschaltet werden. Die DMS bestehen aus einer Widerstandsschicht, die auf ein Trägermaterial befestigt wird. Das grundsätzliche Prinzip besteht darin, dass unter Belastung die Dehnungsmessstreifen gedehnt werden und sich dabei der Widerstandswert ändert [5].

Das direkte Aufbringen von DMS auf jede einzelne Batterie wäre wegen der hohen Stückzahl der Zellen, die gleichzeitig charakterisiert werden, viel zu aufwändig. Zusätzlich würde das höchst wahrscheinlich wegen des verformbaren Verbundfoliengehäuses nicht zum Ziel führen. Daher ist es sinnvoll eine kommerzielle Wägezelle zu verwenden oder, auf Basis von DMS, eine maßgeschneiderte Wägezelle zu entwickeln. Es gibt verschiedene DMS-Technologien, wobei die wichtigsten die Folien-, die Halbleiter- und die Dünnschicht-DMS sind.

3.1.1.1 Folien-DMS

Sie bestehen typischerweise aus einer mäanderförmigen Metallfolie auf einem Kunststoffträger und wird mit einem geeigneten Klebstoff auf die Oberfläche der Probe geklebt. Unter Belastung reagiert der DMS auf die Änderung seiner Geometrie. Die mäanderförmige Struktur erhöht den Nennwiderstand und die Empfindlichkeit. Der Nennwiderstand ist modellabhängig und liegt typischerweise zwischen 50Ω und 5kΩ. Die Vorteile dieser Technologie sind die gute Anschmiegung an das Messobjekt, die große Variationsmöglichkeit seiner Geometrie und die niedrige Anschaffungskosten. Nachteilig ist das Kriechen, das durch die Federwirkung des Metallgitters und die Haltekraft von Trägerfolie und Klebstoff zustande kommt. Außerdem ist die Langzeitstabilität von der Qualität des Klebstoffs abhängig. [5, 7]

3.1.1.2 Halbleiter-DMS

In Gegensatz zu den Folien-DMS wird bei der Halbleiter-DMS der spezifische Widerstand des Materials bei mechanischer Belastung verändert. Dabei ist der piezoresistive Effekt um einen Faktor 100 größer als die Widerstandsänderung im Dehnungsmessstreifen, so dass auf die mäanderförmige Struktur verzichtet wird. Nachteilig ist die nichtlineare Kennlinie. [6]

3.1.1.3 Dünnschicht-DMS

Bei den Dünnschicht-DMS sind sowohl metallische als auch Halbleiter-DMS zu finden und qualitativ mit dem Folien-DMS gleichwertig, allerdings mit unterschiedlichen Herstellungsverfahren. Das Messobjekt wird zuerst mit einer dünnen Isolationsschicht beschichtet und darauf wird das DMS-Material und die Kontaktschicht beschichtet. Es ist daher keine Klebstoff notwendig. [6]

3.1.2 Intelligente Unterlegscheiben

Alternativ zur Wägezelle wäre es denkbar Kraftsensoren direkt an den Befestigungsschrauben aus Abbildung 1 an zu bringen. Am Fraunhofer IST in Braunschweig wird an der Entwicklung von intelligenten Unterlegscheiben (Abbildung 3) für die Messung von Spannkraften in Schraubverbindungen geforscht.

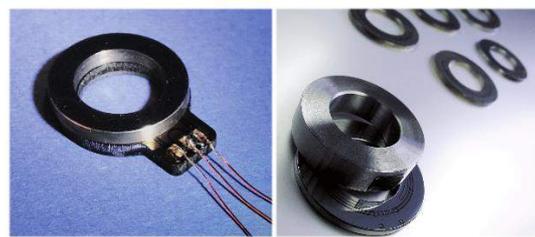


Abbildung 3: Intelligente Unterlegscheiben aus [7]

Diese werden mit Dünnschichttechnologie hergestellt und basieren auf dem piezoresistiven Effekt. Bei den Unterlegscheiben sind zwei unterschiedliche Systeme vertreten, das offene und das geschlossenen

Sensorsystem. Bei dem offenen System liegt die Folienelektrode auf der piezoresistiven Oberfläche und bei dem geschlossenen System wird die Elektrode direkt auf die Sensorschicht abgeschieden. Letzteres weist eine näherungsweise lineare Kennlinie auf, wie die Abbildung 4 zeigt. Der Messbereich erstreckt sich von Null bis einige Kilonewton. Das offene System hat im Gegensatz zum geschlossenen System den Nachteil der nichtlinearen Kennlinie, wie aus der Abbildung 5 ab zu lesen ist. Andererseits ist die Empfindlichkeit des geöffneten Systems bis zu einer Kraft von 300N deutlich höher als die des geschlossenen Systems. Ab 300N weist die Kennlinie eine niedrige Widerstandsänderung auf. Die Sensoren werden, je nach Modell, entweder galvanisch oder drahtlos ausgelesen. [7]

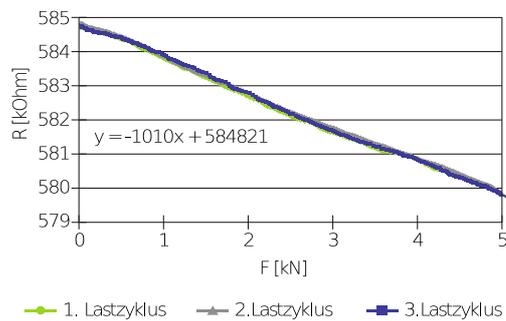


Abbildung 4: Kennlinie des geschlossenen Systems aus [7]

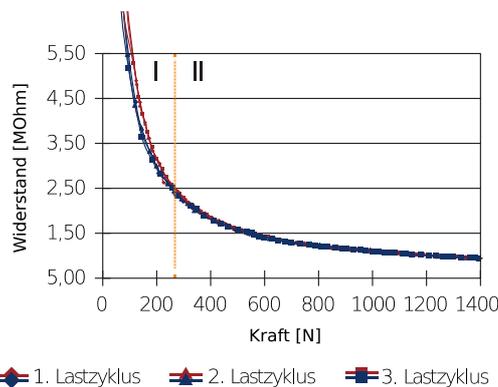


Abbildung 5: Kennlinie des offenen Systems aus [7]

3.2 Temperatursensoren

Die Temperatur ist eine der häufigsten gemessenen Größen, mit einer großen Anzahl von Sensorarten wie Widerstandsthermometer, Schwingquarzthermometer, Thermoelemente und Strahlungsthermometer.

Die Widerstandsthermometer haben einen temperaturabhängigen Widerstand und benötigen daher geringen Schaltungsaufwand. Sie sind in Unterkategorien aufgeteilt wie Metal-Widerstandsthermometer, Dünnschicht-Widerstandsthermometer und die NTC-Widerstände. Diese sind für den Einsatz in Batterien wegen Kosten, Linearität, Temperaturbereich, Masse und

Abmessungen, gut geeignet. Der Temperaturbereich für die Charakterisierung von Batteriezellen geht von -30 bis 80°C.

3.2.1 Metal-Widerstandsthermometer

Die meist verwendeten Materialien für die Herstellung von Metal-Widerstandsthermometer sind Platin und Nickel. Platin besitzt eine leicht degressiv gekrümmte Kennlinie, aber deckt einen sehr großen Temperaturbereich (-200°C bis 850°C) ab. Der Pt100 besitzt einen Widerstand von 100Ω bei 0°C. [9]

Nickel hat einen größeren Temperaturkoeffizient und ist geeignet für Temperaturen zwischen -60°C und 250°C. Die Kennlinie ist progressiv gekrümmt, und kann daher mit einer Parallelschaltung eines geeignet dimensionierten Widerstandes linearisiert werden. Der Typische Drahtwiderstand eines Nickelwiderstandsthermometers ist 10, 25 oder 100Ω. [6]

Die Schaltung zur Auslese von Widerstandsthermometern wird mit einer Vier-Punkt-Messung realisiert und ist in Abbildung 6 dargestellt. Das Widerstandsthermometer wird über eine DC-Stromquelle versorgt und der Spannungsabfall hochohmig gemessen. So werden die Spannungsabfälle über die Leitungswiderstände R_L eliminiert.

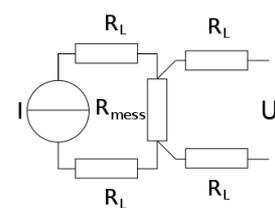


Abbildung 6: Vierleiterschaltung zur Auslese von Widerstandsthermometer

Über den Widerstandsthermometer R_{mess} wird nach der Formel $P = U \cdot I$ eine Wärmeleistung erzeugt, welche die Temperaturmessung verfälscht. Dieser Effekt kann minimiert werden indem der Strom I erst aktiv wird, wenn der Sensor tatsächlich ausgelesen wird und sonst inaktiv bleibt.

Das Widerstandsthermometer und die Leitung bilden ein Thermoelement, das sich mit der Messspannung U überlagert. Durch geeignete Wahl von Leiterwerkstoffen lässt sich die Thermospannung minimieren. Befinden sich die beiden Verbindungsstellen zwischen unterschiedlichen Metallen auf der gleichen Temperatur, dann heben sich die Thermospannungen wieder auf. Wird die Stromquelle mit einem Wechselstrom betrieben, dann ist die DC-Thermospannung vom AC-Nutzsignal $U(t)$ getrennt. Natürlich muss dann $U(t)$ mit einer geeigneten Schaltung ausgewertet werden und kann nicht mehr direkt mit einem AD-Wandler digitalisiert werden. [6]

3.2.2 Dünnschicht-Widerstandsthermometer

Bei Dünnschicht-Widerstandsthermometern wird auf einem guten Wärmeleiter (wie Al_2O_3) eine dünne Schicht Metall abgeschieden und dann fotolithografisch beispielsweise in Mäanderform strukturiert. Diese Temperatursensoren können höhere Nennwiderstände erreichen, haben eine bessere Dynamik wegen geringerer Masse und sind sehr preiswert. Nachteilig ist die Ausdehnung des Substrates, das (wie bei Dehnungsmessstreifen) Einfluss auf den Widerstand hat. Beispiele für Dünnschicht-Widerstandsthermometer sind der Pt100 und der Pt1000. [6]

3.2.3 NTC-Widerstände

NTC ist die Abkürzung für *negative temperature coefficient*. NTC-Widerstände bestehen aus polykristallinen Keramiken und haben grundsätzlich drei verschiedene Bauformen: Scheibe, Stab und Perle. Die Perle hat die kleinsten Abmessungen und die niedrigste Zeitkonstante (höhere Dynamik) von 1,5 bis 8s [6]. Der Temperaturbereich liegt zwischen -50 und 150°C und die Kennlinie ist stark nichtlinear wie Abb. 7 darstellt.

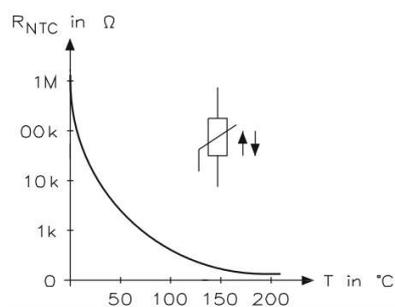


Abbildung 7: Kennlinie NTC aus [9]

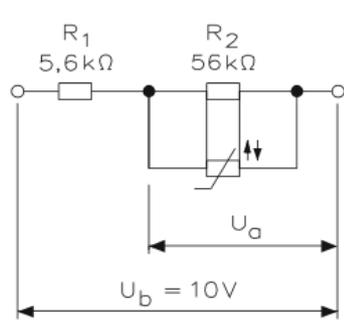


Abbildung 8: Linearisierung der NTC Kennlinie aus [9]

Die Linearisierung kann wie bei den Nickel Metall-Widerstandsthermometer mithilfe von Widerständen realisiert werden wie die Abbildung 8 darstellt. Die Abbildung 9 stellt die linearisierten Kennlinien dar. [9]

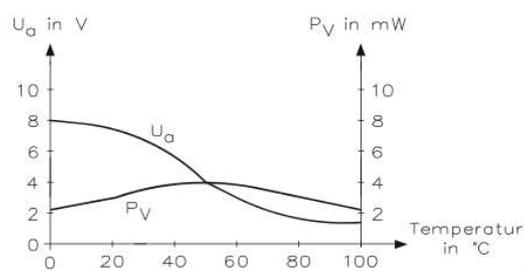


Abbildung 9: Linearisierte NTC Kennlinie aus [9]

3.2.4 Thermoelemente

Die Thermoelemente basieren auf dem Thermoelektrischen Effekt der auch „Seebeck“-Effekt genannt wird. In einem homogenen, metallischen Leiter mit der Thermokraft S entsteht unter Einfluss eines Temperaturgradienten, ein elektrisches Feld \vec{E} .

$$E = S \cdot \text{grad}(T)$$

Die Spannung U ist mit dem elektrischen Feld über die folgende Gleichung verknüpft.

$$U = - \int \vec{E} d\vec{x}$$

Die beiden oberen Gleichungen kombiniert:

$$U = - \int S dT$$

Ein Thermoelement besteht aus zwei unterschiedlichen Metallleitern, die an der Messstelle miteinander verbunden werden, wie in Abbildung 10 dargestellt. Da beide Metalle unterschiedliche Thermokräfte besitzen, entsteht am Ende der Vergleichsstelle eine zu der Temperaturdifferenz proportionale Spannung.

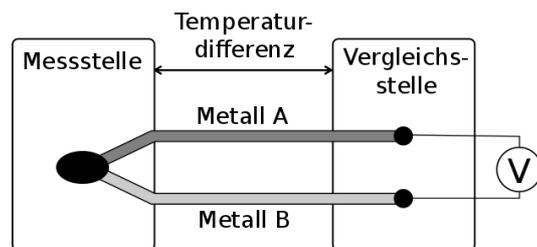


Abbildung 10: Das Thermoelement

Thermoelemente weisen eine sehr lineare Kennlinie (Bsp. NiCr-Ni) und niedrige Ausgangsimpedanz auf. Nachteilig ist die geringe Messspannung und geringe Empfindlichkeit, die im Bereich $10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ liegt. Aus diesem Grund ist ein Anpasser schwierig zu realisieren. Zusätzlich muss die Temperatur an der Vergleichsstelle sein. Zur Hilfe kann das Bauteil AD594 eingesetzt werden. Dieses Bauelement fungiert als Verstärker mit einer Ausgangsempfindlichkeit von

10mV/K. Eine Temperaturkompensation für eine absolute Temperaturmessung ist ebenso möglich.

3.3 Stromsensoren

Der einfachste Weg um einen Strom zu messen ist über einen sogenannten Shunt-Widerstand und einen AD-Wandler. Werden Spannung und Strom gleichzeitig gemessen, kann nur eine der beiden Größen richtig gemessen werden. spannungsrichtige und stromrichtige Messung werden in Abbildung 11 dargestellt.

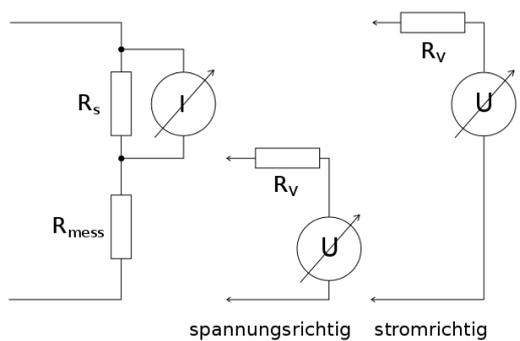


Abbildung 11: strom- und spannungsrichtige Messung

Der Shuntwiderstand R_s kann nicht beliebig klein gewählt werden. Mit heutigen A/D-Wandlern ist hochohmiges Spannungsmessung möglich. Daher entsteht nur ein geringer Fehler bei einer spannungsrichtigen Messung. Für die elektrochemische Impedanzmikroskopie ist ein Messbereich von $100\mu\text{A}$ bis 5A nötig. Die Änderung des Messbereichs kann durch das Wechseln von Shuntwiderständen mithilfe von Schaltern realisiert werden.

Für Alterungs- und Leistungstests müssen Ströme bis zu 100A gemessen werden. Bei so hohen Strömen sind Shuntwiderstände höherer Leistung nötig, folglich haben sie eine größere Bauform und sind teuer. Alternativ dazu können Stromsensoren, die auf dem Hall-Effekt basieren, verwendet werden wie z.B. der Allegro ACS756. Sie haben kleine Messfehler, kleine Bauformen, benötigen wenig Leistung, haben kleine Hysteresekurven und können sowohl Gleich- als auch Wechselstrom messen [8]. Sie benötigen nur wenige Komponenten für die äußere Beschaltung wie die Abbildung 12 zeigt.

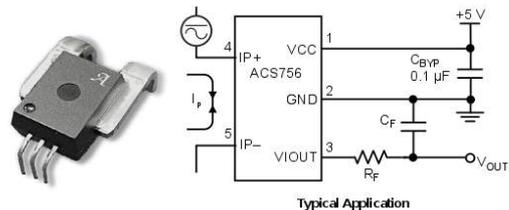


Abbildung 12: Halleffekt Stromsensor ACS756 aus [8]

Als Ausgang wird eine analoge Spannung, abhängig vom Eingangsstrom, der sowohl AC als auch DC sein kann, gemessen.

4 Kritische Würdigung

Die Auseinandersetzung mit der benötigten Sensorik zur Charakterisierung von Batteriezellen ist ein wichtiger Schritt für die Entwicklung und Weiterentwicklung des bestehenden Messsystems. Sie stehen am Anfang der Messkette und bestimmen den maximalen Messbereich und Dynamik der Messeinrichtung. Erst nach der Sensorwahl können weitere Komponenten wie Anpasser und Wandler dimensioniert werden.

5 Zusammenfassung/Fazit

In dieser Arbeit wurden verschiedene Sensoren zur Messung von Temperatur, Druck und Strom, die zur Charakterisierung von Batteriezellen dienen, vorgestellt. Jeweilige Vor- und Nachteile der Sensoren wurden erläutert, sowie ein Ansatz für das Auslesen der Sensoren. Außerdem wurde die Einsetzbarkeit der Sensoren in die bestehenden Einrichtungen mitberücksichtigt.

6 Literatur

- [1] R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Berlin, Springer Vieweg, 2013.
- [2] Prof. Dr.-Ing. M. Kurrat, Skript zur Vorlesung Gleichstrom- und Speichersysteme, Braunschweig, 2015.
- [3] Martyn Ottaway, Stability of Li-Ion Batteries; Internal Pressure Measurement, Bletchley England.
- [4] J. Cannarella, C. B. Arnold, Stress evolution and capacity fade in constrained lithium-ion: Journal of Power Sources, 2014.
- [5] Stefan Keil, Beanspruchungsermittlung mit Dehnungsmessstreifen, Zwingenberg, CUNEUS, 1995.
- [6] Dr. Frank Ludwig, Skript zur Vorlesung Elektrische Messaufnehmer für nichtelektrische Größen, Braunschweig, 2013.
- [7] Fraunhofer IST, Broschüre Dünnschichtsensorik Universell und Individuell, Braunschweig.
- [8] Allegro MicroSystems, Datenblatt Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC, Massachusetts, 2015.
- [9] H. Bernstein, Messelektronik und Sensoren, München, Springer Vieweg, 20



Sensorik zur Charakterisierung von Batteriezellen

Uili, Wobeto Reinheimer, 04.02.2016

Agenda

- Einleitung
- Temperatursensoren
- Drucksensoren
- Stromsensoren
- Zusammenfassung



Agenda

- Einleitung
- Temperatursensoren
- Drucksensoren
- Stromsensoren
- Zusammenfassung

Einleitung

- Herstellung
 - Elektromobilität
 - Verbundfolien gehäuse
 - 30cm x 21cm (DIN A4)
 - 15cm x 11cm (DIN A5)
 - 7cm x 5cm (DIN A6)
- Charakterisierung
- Alterung
- Fertigungskette

 **BLB** BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG

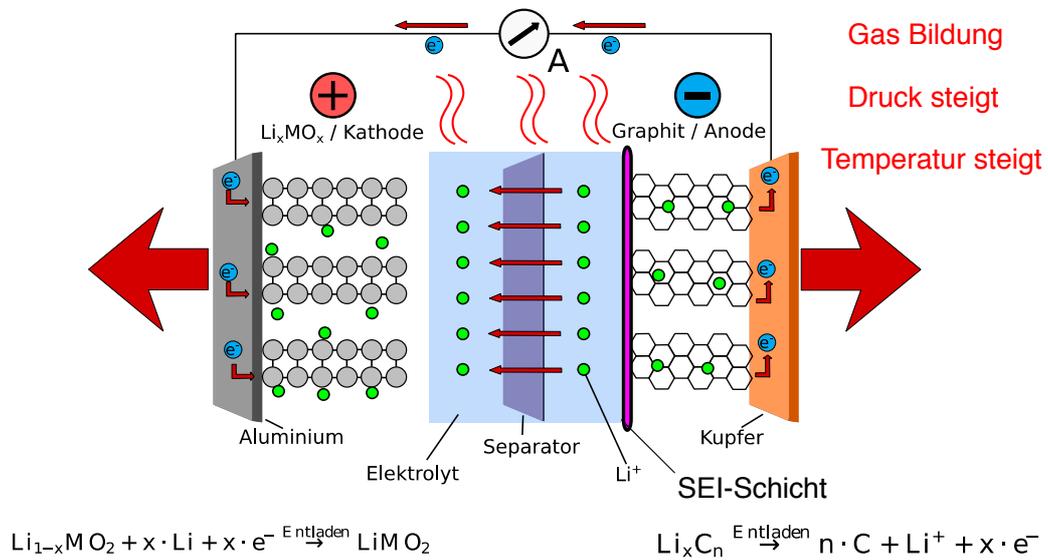
EINE EINRICHTUNG DES  NFF



Quelle: BLB

 elenia
Institut für Hochspannungstechnik
und Elektrische Energieanlagen

Lithium-Ion-Batterie



Agenda

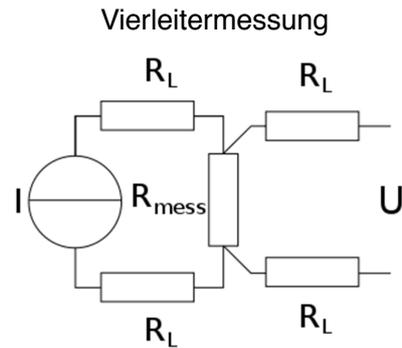
- Einleitung
- Temperatursensoren
- Drucksensoren
- Stromsensoren
- Zusammenfassung

Metall-Widerstandsthermometer

- Temperaturabhängiger Widerstand
- Absolute Temperaturmessung
- Dünnschicht (hohe Dynamik)

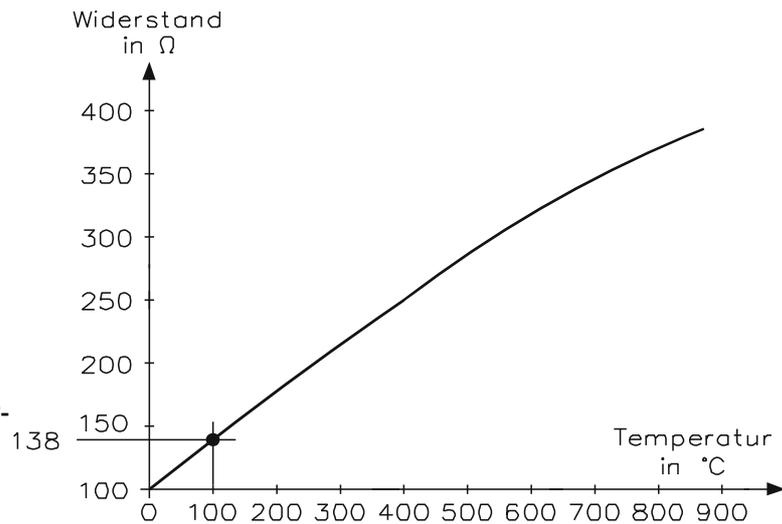
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad \rho \propto T$$

- Fehlerquellen:
 - Joulesche Wärme
 - Wärmeleitung (Versorgungsleitungen)
 - Thermospannungen
 - Mechanische Einflüsse



Metall-Widerstandsthermometer: Platin

- Platin (Pt 100)
- 100 Ω bei 0°C
- -200°C bis 850°C
- Kennlinie leicht degressiv gekrümmt
- Niedriger Temperaturkoeffizient

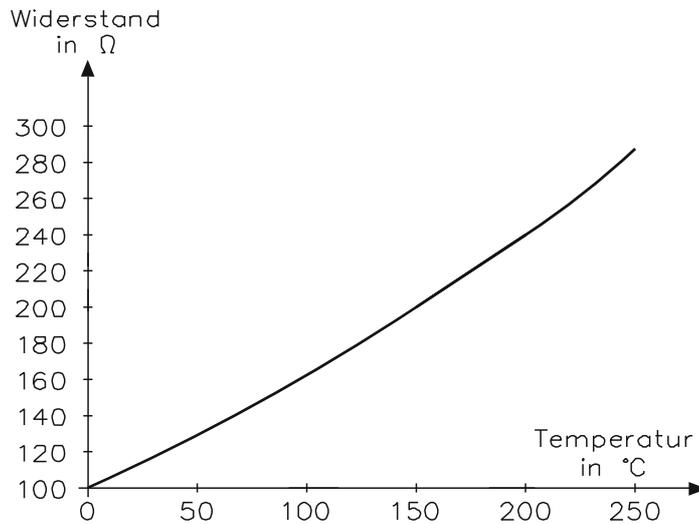


Quelle: Vlg. H. Bernstein, Messelektronik und Sensoren, 2014

Kennlinie Pt100

Metal-Widerstandsthermometer: Nickel

- Nickel
- -60°C bis 250°C
- Kennlinie leicht progressiv gekrümmt
- Linearisierung durch Parallelwiderstand
- Höherer Temperaturkoeffizient als Platin
- R_0 : 10Ω, 25Ω, 100Ω

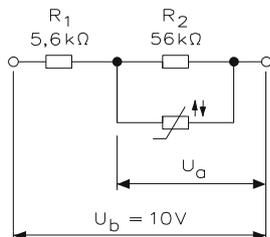


Quelle: Vlg. H. Bernstein, Messelektronik und Sensoren, 2014

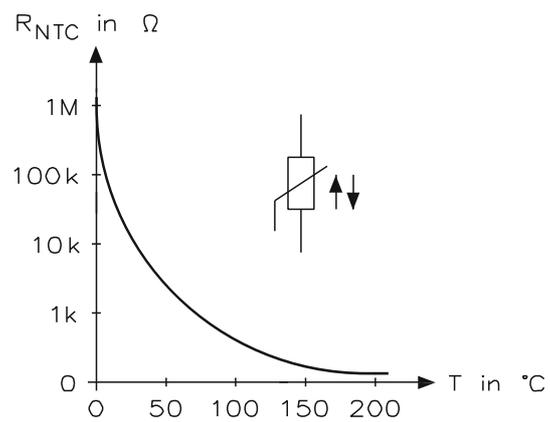
Kennlinie Ni100

NTC-Widerstände

- Negativer Temperaturkoeffizient
- Polykristalline Keramiken
- Bauform: Perle
- Linearisierung der Kennlinie



Quelle: H. Bernstein, Messelektronik und Sensoren, 2014



Quelle: H. Bernstein, Messelektronik und Sensoren, 2014

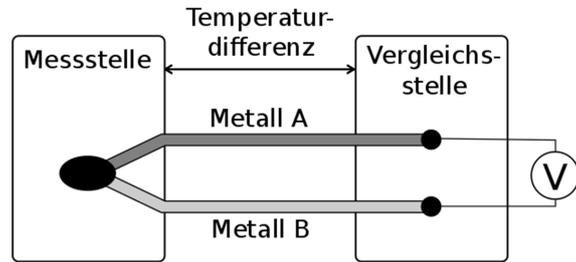
Kennlinie NTC

Thermoelement

Thermoelektrischer Effekt

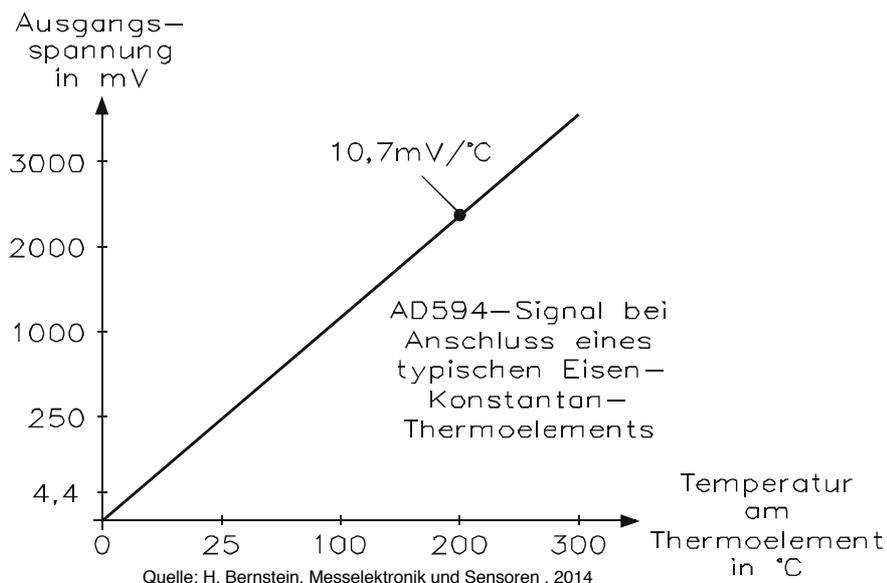
$$\vec{E} = S \cdot \nabla T \quad U = -\int \vec{E} \cdot d\vec{x}$$

$$U = -\int_{T_1}^{T_2} S \cdot dT$$



- Messung von Temperaturdifferenzen
- Lineare Kennlinie
- Niedrige Ausgangsimpedanz
- Kleinere Empfindlichkeit und Ausgangsspannungen
- Aufwändige Verstärkerelektronik
- AD594
 - Instrumentenverstärker
 - Kompensationsschaltung
 - 10mV/°C
 - Absolute Temperatur

Thermoelement

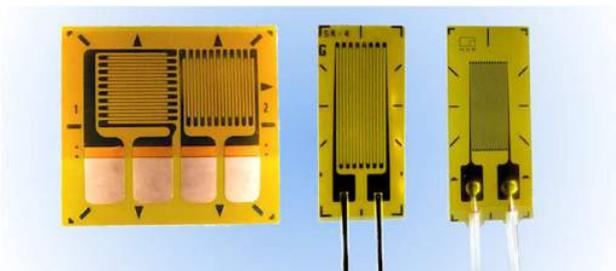


Agenda

- Einleitung
- Temperatursensoren
- Drucksensoren
- Stromsensoren
- Zusammenfassung

Dehnungsmesstreifen DMS

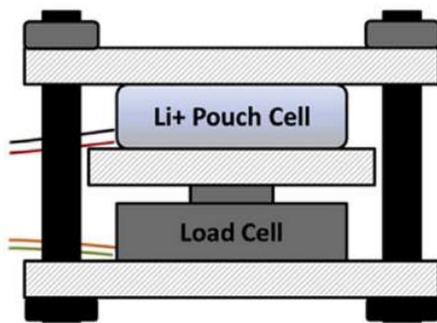
- Funktionsprinzip
 - Änderung der Geometrie
- Folien DMS
- Mäanderförmige Struktur
- Aufkleben
- Aufwändiges Aufkleben bei jeder einzelnen Batterie
- Plastische Verformung wegen Verbundfoliengehäuse



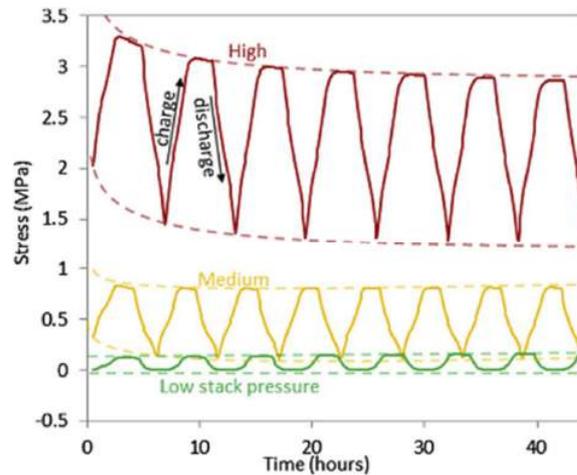
Quelle: me-systeme

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Wägezelle



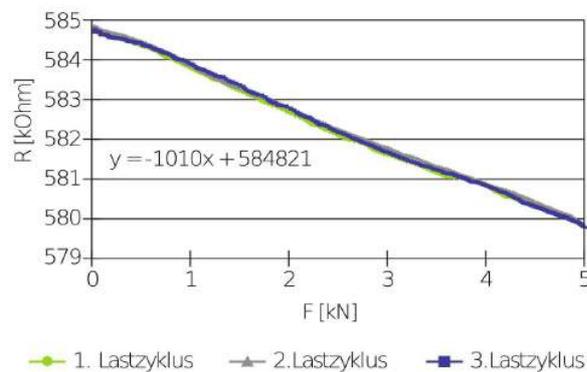
$$3\text{Mpa} \cdot 25\text{mm} \cdot 35\text{mm} = 2625\text{N}$$



Quelle: J. Cannarella, C. B. Arnold, Stress evolution and capacity fade in constrained lithium-ion, 2014

Intelligente Unterlegscheiben

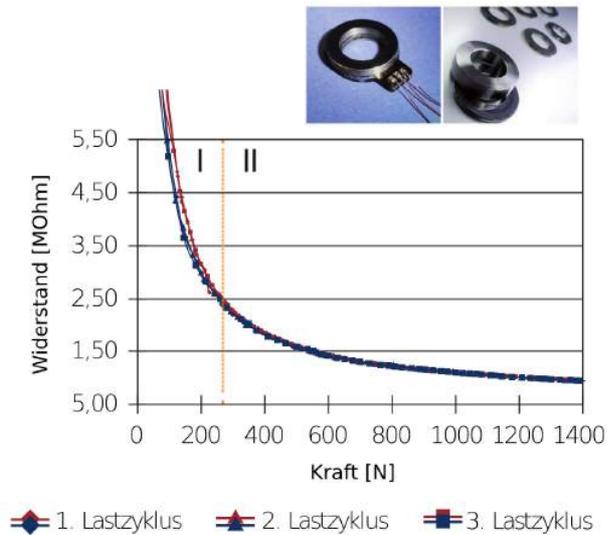
- Fraunhofer IST
- Spannkkräfte in Schraubverbindungen
- Piezoresistiver Effekt
- Geschlossenes Sensorsystem
 - Elektrode auf Sensorschicht abgeschieden
 - Lineare Kennlinie



Quelle: Fraunhofer IST

Intelligente Unterlegscheiben

- Offenes Sensorsystem
- Nichtlineare Kennlinie
- Hohe Empfindlichkeit bis 300 N
- Großer Messbereich
- Sensor auslesen
 - Galvanisch
 - Drahtlos



Agenda

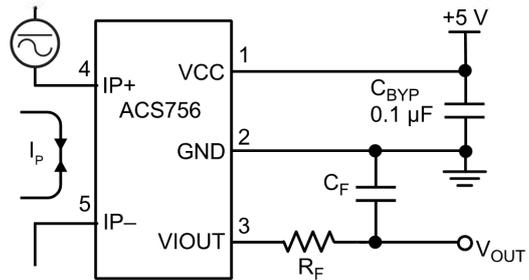
- Einleitung
- Lithium-Ion-Batterie
- Temperatursensoren
- Drucksensoren
- Strommessung
- Zusammenfassung

Halleffekt Stromsensoren

- Messen ohne Shunt-Widerstände
- Kleine Baugröße
- Kleine Leistungsverluste wegen niederohmigem Eingang von $100\ \mu\text{Ohm}$
- Messung von AC und DC Strömen
- Wenige extra Bauelemente
- Kleine Hysterese und Temperaturabhängigkeit



Quelle: Allegro



Quelle: Allegro

Agenda

- Einleitung
- Lithium-Ion-Batterie
- Temperatursensoren
- Drucksensoren
- Strommessung
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Einführung in die Grundlagen der Lithium-Ionen Technologie
- Für den Temperaturbereich von -30°C bis 80°C folgende Sensoren identifiziert:
 - Widerstandsthermometer wie der Pt100, Pt1000, Ni100, Ni1000 oder NTC
 - Thermoelemente wie der NiCr-Ni oder Eisen-Konstantan kombiniert mit AD594
- Drucksensoren für einen Referenzdruck von 3,5 MPa identifiziert:
 - Komerzielle Wägezelle
 - Intelligente Unterlegscheiben
- Halleffekt basierte Stromsensoren für bis zu 100 A, sowohl AC als auch DC

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prüffelder in der Hochspannungstechnik

Ou Xu

Braunschweig, Deutschland, o.xu@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

In diesem Bericht werden Prüffelder bzw. Prüflaboratorien in der Hochspannungstechnik präsentiert. Im ersten Abschnitt wird der übliche Aufbau der Hochspannungs- und Leistungsprüffelder dargestellt. Prüffelder werden nach der nationalen und regionalen Standards aufgebaut. In einem Prüffeld werden Absperrung eines Hochspannungsraums mit ausreichenden Abstände und der Berührungsschutz als wichtig genormte Schutzmaßnahmen berücksichtigt. Prüffelder bieten eine Vielzahl von Prüfungsmöglichkeiten. Es werden drei grundsätzliche Hochspannungsprüfungen und Leistungsprüfungen beschrieben. Das Ziel des Vortrags ist, die wichtigen genormten Abgrenzungen des Prüfbereichs, Schutzmaßnahmen für die prüfende Person und die Spannungserzeugungen in Hochspannungsprüfungen zu verstehen.

Abstract

In this report, test laboratories in high-voltage technology are presented. The usual structure of high-voltage test laboratories and power test laboratories are in the first section introduced. Test facilities are constructed according to the national and regional standards. In a test field barrier of a high-voltage area with adequate distances and the touch protection are considered as important standardized protective measures. Laboratories offer a variety of test options. Three basic high-voltage tests and High-power test are described. Subsequently, the test laboratories of IPH in Berlin and Kema in Arnhem are shown graphically for the high-voltage test and power test. The aim of the lecture is to understand the major standardized boundaries of the test area, protective measures for the examiner and the voltage generations in high-voltage tests.

1 Einleitung

Die hochspannungstechnische Fertigung ist in besonderer Weise anfällig gegen kleine Fehler, die zur verheerend Wirkung führen können. In der Hochspannungstechnik bewirken die auftretenden Fehler für die elektrischen Komponenten eine Schädigung und meist bereiten sich aus. Prüffelder werden im Industriebereich für die Qualitätssicherung und Sicherstellung von Grenzwerten bei energietechnisch angewendete Komponente eingesetzt. Sie werden auch im Forschungsbereich für die Hochspannungstechnik und Energietechnik aufgebaut.

2 Überblick von Prüffelder

Es gibt unterschiedliche Prüffelder für verschiedene Prüfungen. Hierzu werden Hochspannungsprüffelder für Gleich-, Wechsel- und Stoßspannungsprüfungen und Leistungsprüffelder für synthetische Prüfungen, Kurzschluss und Gleichstromprüfungen als vorwiegend angewendete Prüffelder vorgestellt. Ein hochspannungstechnisches Prüffeld ist ein fest umschlossener Raum oder abgeschlossener Bereich. Die Prüfhallen des Hochspannungsprüffeldes sind mit elektrisch leitfähigen Böden und Wänden geschirmt, um bei empfindlichen Messungen einen geringen Störpegel zu halten. Ein Hochspannungsprüffeld bzw. Hochspannungsprüfkreis besteht üblicherweise aus Hochspannungserzeugern,

Prüfling, Hochspannungsmesseinrichtung, Verbindungs-kabel und Messgerät. Aus Spannungserzeugern werden die drei grundsätzlichen Prüfspannungsarten Wechsel-, Gleich- und Stoßspannung erzeugt. Ein Leistungsprüffeld wird mit Stromerzeugern wie Generator mit Hochstrom-Kondensatorbank, Speisekreis, Lastkreis, Sicherheitsschalter bzw. Erdungsschalter, Draufschafter und Blockierschalter und Prüfling aufgebaut. In einem Leistungsprüffeld können elektrische Anlagen in einem synthetischen Prüfkreis geprüft werden.

3 Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld

Prüffelder werden anhand der nationalen und regionalen Standards aufgebaut. Um Schäden von elektrischen Anlagen im Fehlerfall zu verhindern und die prüfende Person zu schützen sind Schutzmaßnahmen für ein Prüffeld notwendig. In diesem Abschnitt werden wichtige Schutzmaßnahmen eines Prüffeldes beschrieben, die nach VDE 0104 genormt sind.

Prüffelder sind mit dem in Abb.1 gezeigten Warnzeichen W08 zu kennzeichnen, bei Spannung > 1 kV mit Zusatzschild "Hochspannung Lebensgefahr". Zugänge zu Prüffelder sind mit dem Schild P06, das Abb.2 zeigt, "Zutritt für unbefugte Verboten" zu versehen. Von jeder begehbaren Stelle im Prüffeld müssen Rettungswege



Abbildung 1 Warnzeichen W08



Abbildung 2 Verbotsschilden P06

von maximal 35 m zu Ausgängen oder Notausgängen ins Freie oder in gleichwertig sichere Bereiche führen. Betriebszustände müssen bei Spannungen > 1 kV durch rote und grüne Signalleuchten in ausreichender Anzahl an den entsprechenden Orten deutlich gemacht werden.

Die zwei wichtigsten Sicherheitselemente in einem Hochspannungsprüffeld sind Abgrenzung des Hochspannungsraums mit ausreichenden Sicherheitsabständen zu Hochspannung stehende Teile und der Berührungsschutz für die Prüfende Person.

3.1 Abgrenzung eines Prüffeldes

Leitfähige Abgrenzungen der Verbotszone und des Prüfbereiches sind in die Maßnahmen zum Schutz im Fehlerfall einzuziehen. In einem Prüffeld werden Verbotszone und Hochspannungsraum durch bestimmte Maße begrenzt. Verbotszone ist der Abstand in Luft zu unter Spannung führenden Teilen, die nicht erreicht werden dürfen, wenn gegen direktes Berühren kein vollständiger Schutz besteht. Die Maße für die Verbotszone sind abhängig von Prüfspannungen gegen Erde. Nach der in Abb.3 gezeigten Tabelle A.2 werden die entsprechenden Maße der Verbotszone für die vorgegebenen Prüfspannungen festgestellt. Der waagerechte Abstand der Abgrenzung von der Verbotszone ist von der Höhe der Abgrenzung und dem Bodenabstand der Gefahrstelle abhängig. Gefahrstelle ist der Punkt an der Grenze der Verbotszone mit dem kürzesten Abstand zur Abgrenzung. Die Maße der Sicherheitsabstände von Abgrenzungen sind nach VDE 0104 Tabelle A.3 zu bestimmen. Die Abb.4 zeigt ein Beispiel einer bestimmten Abgrenzung. Wenn die Höhe der Abgrenzung mit 1.8 m und der Abstand der Gefahrstelle vom Boden 1.6 m sind, wird die Abgrenzung nach Tabelle A.3 mit dem waagerechten Abstand von 0.5 m aufgebaut.

3.2 Berührungsschutz eines Prüffeldes

Als andere wichtigste Schutzmaßnahmen werden Berührungsschutzmaßnahmen zum Schutz von Personen in einem Prüffeld umgesetzt. Absperrgitter und andere geredeten Anlagenteile müssen zuverlässig und sichtbar mit dem Erdungssystem des Labors verbunden sein. Die Zugänge der Kante müssen in einen Sicherheitskreis einbezogen werden, dessen Öffnen zum sofortigen Abschalten der Hochspannungserzeuger führt. Restspannungen müssen zwangsläufig auf einen ungefährlichen Wert abgebaut sein. Ein einzelner Fehler darf beim Öffnen der Schutzeinrichtung die Ausschaltung der Prüfkreise nicht verhindern. Es muss sichergestellt sein, dass ein Wiedere-

Prüfwechelspannung 50/60 Hz (Effektivwert)		Blitzstoßspannung 1,2/50 us (Scheitelwert)		Schaltstoßspannung 250/2500 us (Scheitelwert)	
U kv	S mm	U kv	S mm	U kv	S mm
10	60	20	100	500	2000
60	335	60	250	700	3300
110	620	100	400	1000	5800
220	1300	200	700	1500	11200
380	2450	400	1200	1600	12500
700	5600	1000	2700
1000	9900	1500	4000		
...		

Für Prüfgleichspannungen bis 1000 kv sind die Abstände wie für Blitzstoßspannungen einzuhalten. Die Tabelle gilt nicht für hochfrequente oder andere nicht aufgeführte Spannungen

Abbildung 3 VDE 0104 Tabelle A.2 [2]

inschalten der Prüfspannungen unter auftretenden Fehler nicht möglich ist.[2] Vor dem Betreten des Hochspannungsraums müssen die Hochspannungserzeuger über Leistungs- und Trennschalter sichtbar und zweistufig abgeschaltet werden. Kondensatoren und andere Kapazitäten können nach Abschalten der Hochspannungserzeuger noch Ladung tragen oder nach einem vorübergehenden Kurzschluss durch wiederkehrende Spannungen nachgeladen werden. In Verbindung mit Gleichspannungserzeuger bilden Kapazitäten damit eines der größten Sicherheitsrisiken, deshalb werden die Ladungen der Kapazitäten durch Entladungswiderstände oder Erdungsschalter rasch entladen.[1]

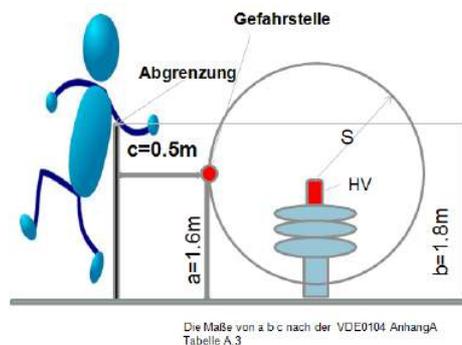


Abbildung 4 Beispiel für eine Abgrenzung mit dem bestimmten waagerechten Abstand

4 Prüfungen in Prüffeldern

Bei der Betriebssicherheit von hochspannungstechnischen Geräten, Anlagen und Systemen sowie die Qualität der Isolation nimmt die Prüfung im Prüffeld eine besondere Stellung ein. Hierzu werden drei grundsätzliche Hochspannungsprüfungen und Leistungsprüfung vorgestellt.

4.1 Gleichspannungsprüfungen

Bei der hohen Gleichspannungsprüfung werden HGÜ-Geräten und Isolieranordnungen mit großer Kapazität wie Kondensatoren oder Kabel im Prüffeld geprüft. Die Erzeugung der Hochgleichspannungen erfolgt im Allgemeinen durch Gleichrichtung hoher Wechselspannungen. Für die Gleichspannungserzeugung werden Einweg-Gleichrichterschaltung und Greinacher-Verdopplungsschaltung folgend beschrieben.

Einweg-Gleichrichterschaltung

Das Schaltbild der Einweg- Gleichrichterschaltung und der Spannungsverlauf sind in der Abb.5 dargestellt. Bei der Einweggleichrichterschaltung wird nur eine Diode vor der Eingangsspannung geschaltet. Durch ein Hochspannungstransformator T wird eine sinusförmige Hochwechselspannung erzeugt. Die negative Halbwelle der Wechselspannung wird durch ein ideal angenommenes Gleichrichterventil gefiltert. Durch den Kondensator C wird die gefilterte Spannung geglättet. Der Einweggleichrichter hat den Nachteil, dass die zweite Halbwelle verloren geht.

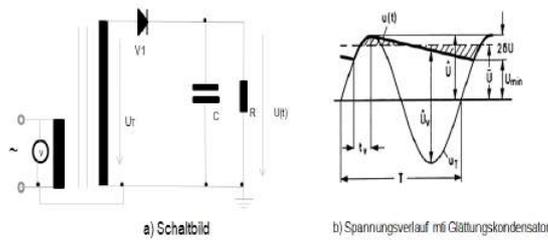


Abbildung 5 Einweg-Gleichrichterschaltung

Greinacher-Verdopplungsschaltung

Abb.6 zeigt die Greinacher-Verdopplungsschaltung. Diese Schaltung besteht aus einer Einweggleichrichterschaltung (C1 und V1), der eine Diode und ein Kondensator (D2 und C2) nachgeschaltet ist. Der Schubkondensator C1 lädt sich auf den Scheitelwert der Hochwechselspannung und erhöht das Potential der Hochspannungsklemme gegenüber der Spannung des Transformators um diesen Betrag. Die Diode D1 dient der Gleichrichtung. Der Glättungskondensator C2 schließt sich mit den Ventil V2 an, das als Entladesperre geschaltet ist. Bei dieser Schaltung wird eine verdoppelte Ausgangsspannung bewirkt. Die Greinacher-Verdopplungsschaltung kann nach mehr stufiger Greinacher-Kaskadenschaltung zur Erzeugung hoher Gleichspannungen erweitert werden.

4.2 Wechselspannungsprüfungen

Im Laboratorien werden hohe Wechselspannungen für die Prüfungen mit Wechselspannungen und die meisten Schaltungen zur Erzeugung hoher Gleich- und Stoßspannungen benötigt. Durch eine zusätzliche Wechselspannungsprüfung kann das Betriebsmittel im Hinblick auf

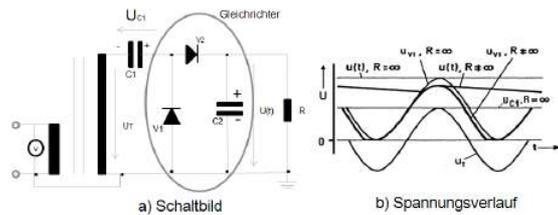


Abbildung 6 Greinacher-Verdopplungsschaltung

Alterung, Verschmutzung oder Schaden untersucht werden. Die Erzeugung hoher Wechselspannungen erfolgt über einem Prüftransformator, die aus einem Stelltransformator und einem Hochspannungstransformator besteht. Das Ersatzschaltbild eines Prüftransformators ist in der Abb.7 gezeigt. Stelltransformatoren werden vom Versorgungsnetz bzw. kleinere Nennleistungen erregt. Durch ein viel höheres Übersetzungsverhältnis von Hochspannungstransformatoren werden hohe Wechselspannungen erzeugt.

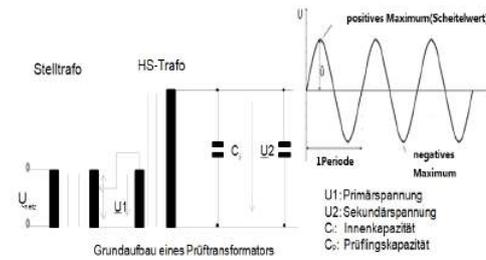


Abbildung 7 Wechselspannungserzeugung

4.3 Stoßspannungsprüfungen

Hochspannungstechnische Anlagen sind anfällig für äußere, vor allem kurzzeitige Störung. Z.B kann ein Blitzeinschlag bei unzureichender Dimensionierung der Anlage zu längerfristigen Ausfällen führen. Bei Stoßspannungsprüfungen werden Überspannungen in Drehstromnetzen simuliert, um die elektrischen Anlagen gegen einen Blitzeinschlag auf ausreichende Spannungsfestigkeit zu testen. Stoßspannungen werden hauptsächlich durch zwei Grundschaltungen a und b erzeugt. In Abb.8 werden die Schaltungen a und b für die Stoßspannungserzeugung dargestellt. Der Unterschied der zwei Schaltungen liegt in der Anordnung des Dämpfungswiderstandes R_d . Der Kondensator C_s wird über einen hochohmigen Ladewiderstand R_s auf die Gleichspannung aufgeladen. Durch Schaltfunkenstrecke wird C_s entladen und lädt den Belastungskondensator C_b auf, an dem die gewünschte Stoßspannung erzeugt wird. Um Stoßspannungen mit möglichst hohem Scheitelwert zu erreichen, wird die Vervielfachschaltung angewendet, die als ein Anwendungsbeispiel in dem letzten Abschnitt anschaulich gezeigt ist.

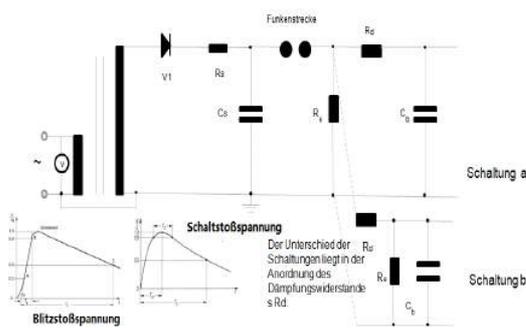


Abbildung 8 Stoßspannungserzeugung

4.4 Leistungsprüfungen

Im Hochleistungsprüffeld werden Geräte und Anlagen der Hochspannungstechnik auf thermische und dynamische Kurzschlussfestigkeit, Ein-/Ausschalt- und Isolationsvermögen hin geprüft. Abb. 9 zeigt ein synthetisches Leistungsprüfkreis, bei dem Schaltvermögen in dem Strombereich und Spannungsbereich geprüft wird. Der Prüfkreis ist mit Hochstrom-Kondensatorbank, Hochspannungs-Kondensatorbank, Sicherheitsschalter, Versuchsschalter und Funkenstrecke aufzubauen. In der Abb.10 wird die Kurvenform des Leistungsprüfkreises gezeigt. Der Strom des Versuchsschalters wird mit der roten Farbe bezeichnet. Bei dem Zünden der Funkenstrecke besteht der Strom des Versuchsschalters aus der Ströme von dem Hochstrombereich und Hochspannungsbereich.

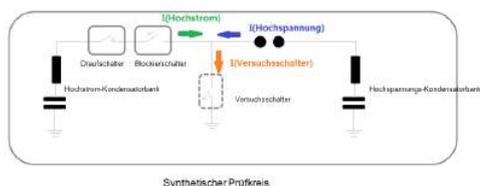


Abbildung 9 Leistungsprüfkreis

5 Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik

In diesem Abschnitt werden Anwendungsbeispiele von Prüffelder der IPH in Berlin und der Kema in Arnhem anschaulich gezeigt. Die Abb. 11 zeigt einen Marxgenerator von Elenia mit der Vervielfachschaltung. Mehre gleiche Stoßkondensatoren werden in Parallelschaltung geladen und nach dem Zünden in Reihenschaltung entladen, wodurch eine entsprechend der Stufenzahl vervielfachte Summenladespannung erzeugt wird. Eine Wechselspannungsanlage der IPH wird in der Abb.

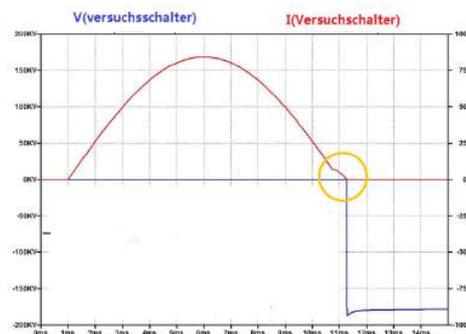


Abbildung 10 Kurvenform des Leistungsprüffeldes [3]

12 dargestellt. Über die Durchführung wird die geprüfte Anlage mit dem Hochspannungstransformator verbunden.

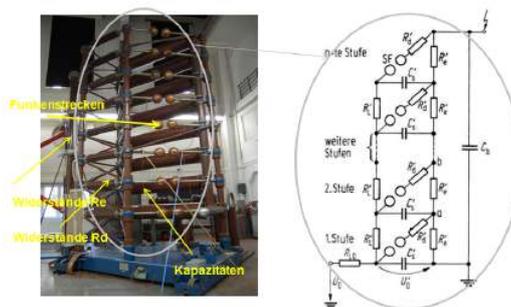


Abbildung 11 Stoßspannungsanlage

Abbildung 13 zeigt ein Leistungsprüffeld der Kema in Arnhem. Das Laboratorium war das erste Prüffeld, in dem Leistungskomponenten mit bis 1200 kV auf Kurzschlussfestigkeit geprüft werden kann. Die höchste Leistung kann beim Kurzschluss von bis zu 10000 MVA erreichen, die durch vier Generatoren bei einem Kurzschluss erzeugt wird.

6 Zusammenfassung

In der Hochspannungstechnik kommen Prüffelder für die untersuchende Qualitätssicherung und Sicherstellung zum industriellen Gemeingut und die Forschung der Qualitäten von elektrischen Komponenten und Anlagen eine besondere Bedeutung zu. In jedem Fall erfordert das Prüffeld mit hohen eingespeisten Spannungen oder Ströme ganz besondere Sicherheitsmaßnahmen, die den jeweils

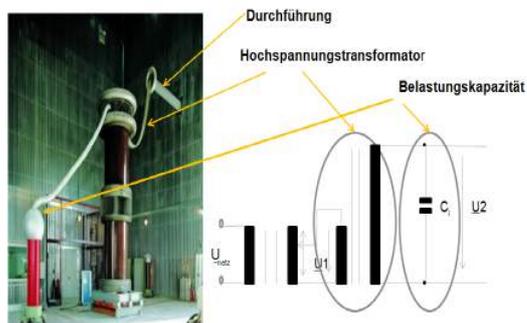


Abbildung 12 Wechselspannungsanlage [3]



Abbildung 13 Leistungsprüffeld [4]

aktuellen gültigen Normen zu entnehmen sind und die eine besondere Qualifikation und Unterweisung des Personals erfordern. Absperrung des Prüfbereiches und der Berührungsschutz werden als die zwei wichtigsten Schutzmaßnahmen in dem Bericht dargestellt. Bei dem Abschnitt 4 werden Erzeugungsschaltungen von Gleich-, Wechsel- und Stoßspannungen und Schaltgerätesprüfung im synthetischen Prüfkreis beschrieben, um die große Bedeutung von Prüffelder für die Hochspannungstechnik besser zu verstehen.

7 Literatur

- [1] Hochspannungstechnik: Grundlagen-Technologie-Anwendung A.Küchler, Spring Verlag 2009
- [2] Errichten und Betreiben von elektrisch Prüfanlagen: BGHM BGI 891 Februar 2006
- [3] Hochspannungstechnik 2 (Folien): Hochspannungsprüfung
- [4] Highlight: Kema Laboratories (Magazin) 2015
- [5] BG ETEM Elektrische Prüfanlagen (Folien) Dipl.-Ing. Falk Florschütz
- [6] Grundlagen zur Norm ISO/IEC 17025 und deren Implementierung Dr.Ludwig Huber



Prüffelder in der Hochspannungstechnik

OU, XU, 02.02.2016

Agenda

- Einleitung
- Überblick von Prüffelder
- Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld
- Prüfungen in Prüffelder
- Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik
- Zusammenfassung

Agenda

- Einleitung
- Überblick von Prüffelder
- Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld
- Prüfungen in Prüffelder
- Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik
- Zusammenfassung

Einleitung

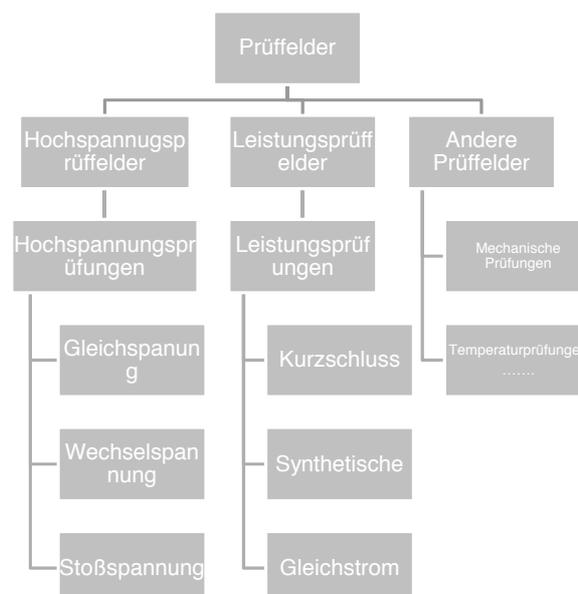
- Warum werden Prüffelder für die Hochspannungstechnik benötigt ?
- Wo werden Prüffelder eingesetzt oder eingerichtet?
- Wie wird ein Prüffeld aufgebaut?
- Welche Normen bestimmen den Aufbau eines Hochspannungsprüffeldes?
- Was wird in Prüffelder geprüft?



Agenda

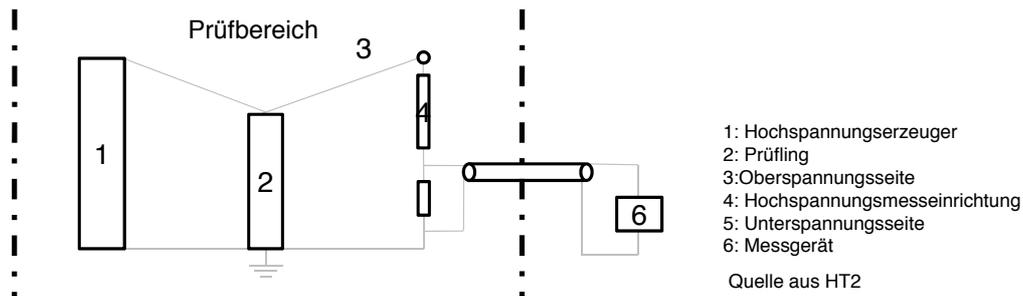
- Einleitung
- Überblick der Prüffelder
- Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld
- Prüfungen in Prüffelder
- Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik
- Zusammenfassung

Überblick von Prüffelder



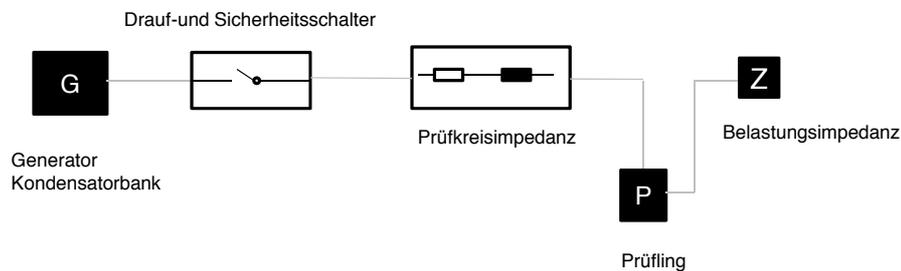
Überblick von Prüffelder

- Hochspannungsprüffelder
 - Ein hochspannungstechnisches Prüffeld ist ein fest umschlossener Raum oder abgeschlossener Bereich.
 - Die Prüfhallen des Hochspannungsprüffeldes sind mit elektrisch leitfähigen Boden und Wänden geschirmt.
 - Ein Hochspannungsprüfkreis besteht aus Hochspannungserzeugern, Prüfling, Hochspannungsmesseinrichtung, Verbindungskabel und Messgerät



Überblick von Prüffelder

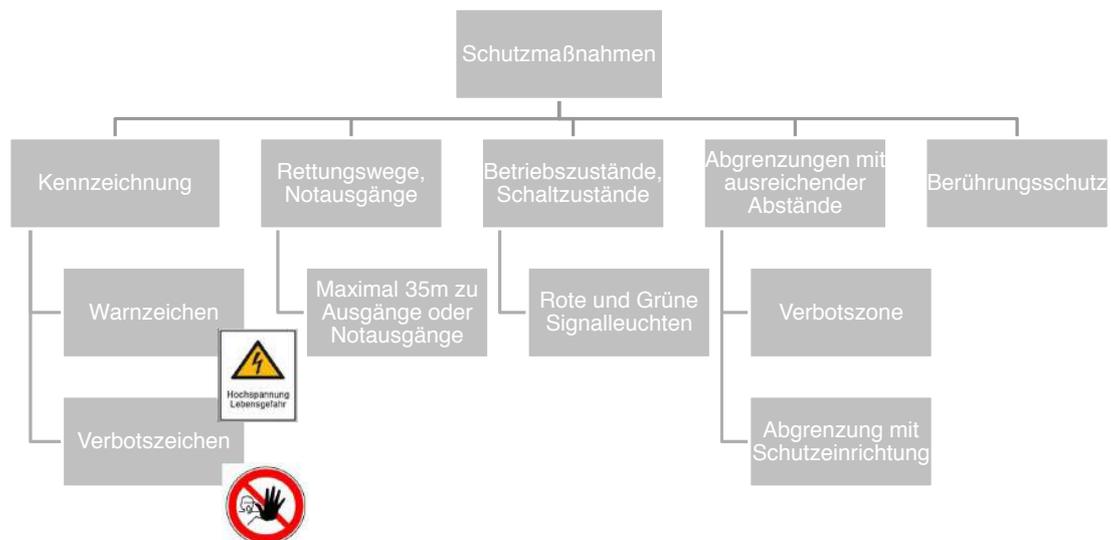
- Leistungsprüffelder
 - Ein Leistungsprüffeld wird mit Stromerzeugern, Speisekreis, Lastkreis, Sicherheitsschalter und Prüfling aufgebaut.
 - In einem Leistungsprüffeld können elektrische Anlagen in einem synthetischen Prüfkreis geprüft.



Agenda

- Einleitung
- Überblick von Prüffelder
- Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld
- Prüfungen in Prüffelder
- Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik
- Zusammenfassung

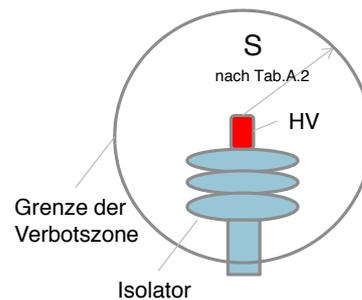
Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld



Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld

➤ Abgrenzungen

- Leitfähige Abgrenzungen sind in die Maßnahmen zum Schutz im Fehlerfall einzuziehen. Die Maße für die Verbotzone und den Abstand der Abgrenzungen sind nach VDE 0104 Anhang A zu bestimmen.
- Definition der Verbotzone (S)
S ist der Abstand in Luft von unter Spannung stehenden Teilen



Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld

VDE 0104 Tabelle A.2: Verbotzone S in Abhängigkeit von Prüfspannungen (U) gegen Erde

Prüfwechselspannung 50/60 Hz (Effektivwert)		Blitzstoßspannung 1,2/50 µs (Scheitelwert)		Schaltstoßspannung 250/2500 µs (Scheitelwert)	
U kv	S mm	U kv	S mm	U kv	S mm
10	60	20	100	500	2000
60	335	60	250	700	3300
110	620	100	400	1000	5800
220	1300	200	700	1500	11200
380	2450	400	1200	1600	12500
700	5600	1000	2700
1000	9900	1500	4000		
...		

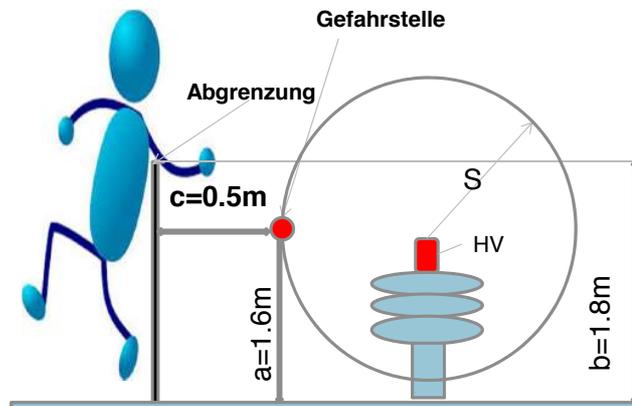
Für Prüfgleichspannungen bis 1000 kV sind die Abstände wie für Blitzstoßspannungen einzuhalten. Die Tabelle gilt nicht für hochfrequente oder andere nicht aufgeführte Spannungen

Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld

Sicherheitsabstände von Schutzeinrichtungen

Der Waagerechte Abstand der Abgrenzung von der Verbotszone ist von der Höhe der Abgrenzung und dem Bodenabstand der Gefahrstelle abhängig.

- **a** ist der Abstand der Gefahrstelle vom Boden
- **b** ist die Höhe der Kante der Schutzeinrichtung
- **c** ist der Waagerechte Abstand der Kante der Schutzeinrichtung von der Gefahrstelle



Die Maße von a b c nach der VDE0104 Anhang A Tabelle A.3

Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld

➤ Berührungsschutz

- Zugänge in einen Sicherheitskreis
- Abschalten der Hochspannungserzeuger nach dem Öffnen der Schutzeinrichtung
- Abbauen der Restspannungen auf einen ungefährlichen Wert
- unmögliches Wiedereinschalten der Prüfspannungen
- Abschalten der Hochspannungserzeuger über Leistungs- und Trennschalter vor dem Betreten des Hochspannungsraumes

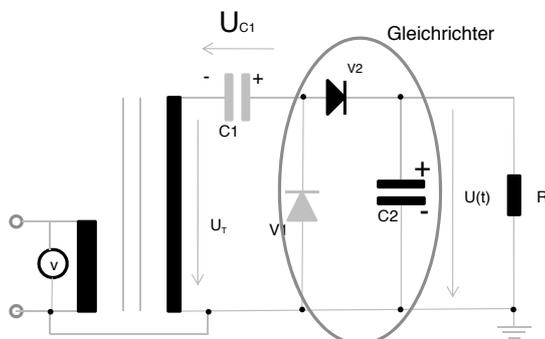
Agenda

- Einleitung
- Überblick von Prüffelder
- Schutzmaßnahmen in einem Prüffeld
- Prüfungen in Prüffelder
- Anwendungsbeispiele von Prüffelder in de Hochspannungstechnik
- Zusammenfassung

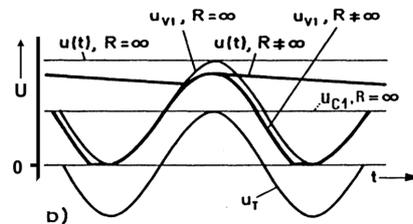
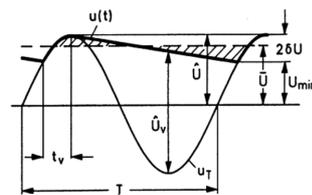
Prüfungen in Prüffelder

- Hochspannungsprüfung
 - Gleichspannungsprüfung
für die Prüfung von HGÜ-Geräten und Isolieranordnungen mit großer Kapazität wie Kondensator oder Kabel

Greinacher-Verdoppelungsschaltung



a) Schaltbild

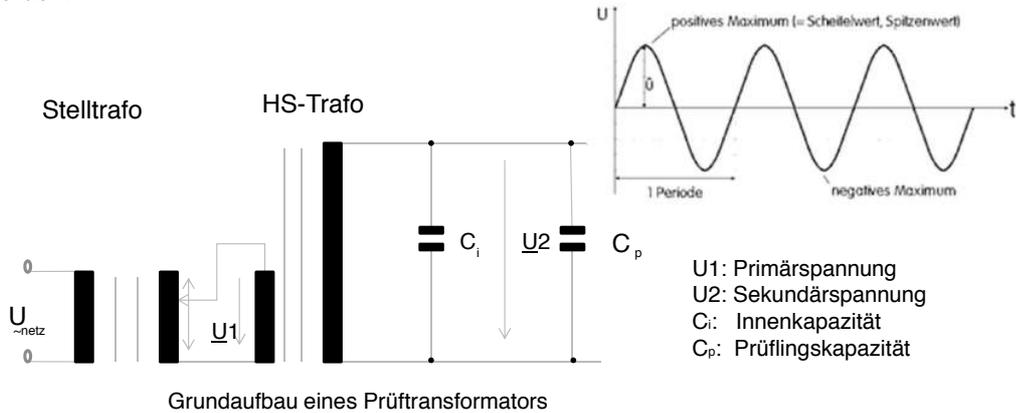


d)

b) Spannungsverlauf

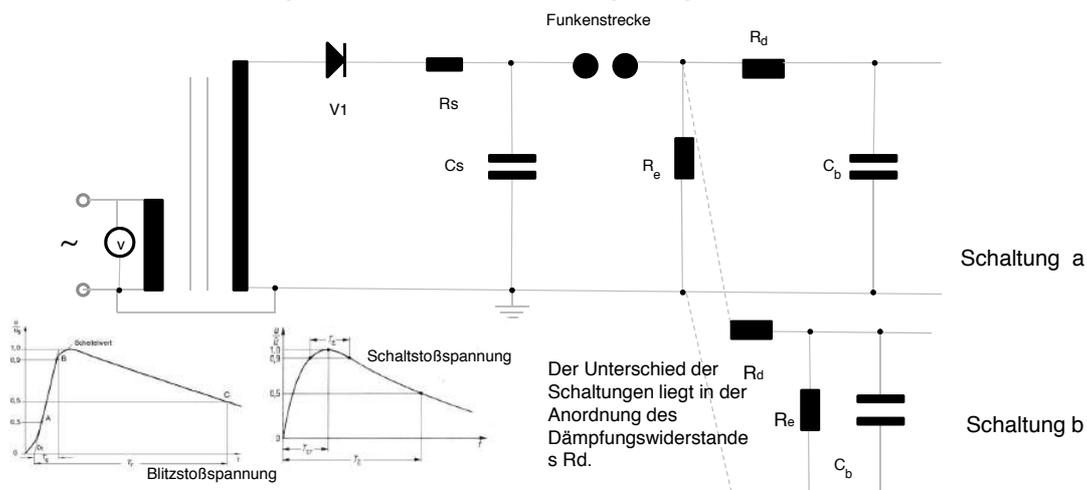
Prüfungen in Prüffelder

- Hochwechselfspannungsprüfung
für die Untersuchung des Betriebsmittels im Hinblick auf Alterung, Verschmutzung oder Beschädigung
Die Erregung erfolgt meist über Stelltransformatoren, die vom Versorgungsnetz gespeist werden.



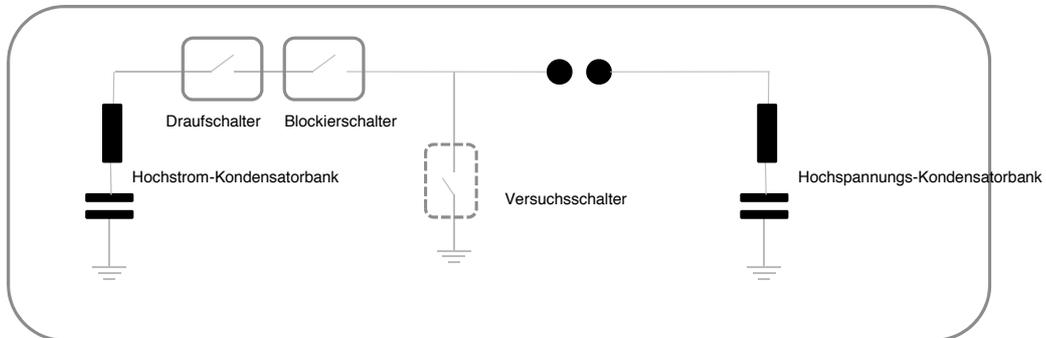
Prüfungen in Prüffelder

- Hochstoßspannung
Überspannungen in Drehstromnetzen simulieren, um die elektrischen Anlagen gegen einen Blitzeinschlag auf ausreichende Spannungsfestigkeit zu testen



Prüfungen in Prüffelder

- Hochleistungsprüfung
Geräte und Anlagen der Hochspannungstechnik auf thermische und dynamische Kurzschlussfestigkeit, Ein/Ausschalt- und Isolationsvermögen prüfen



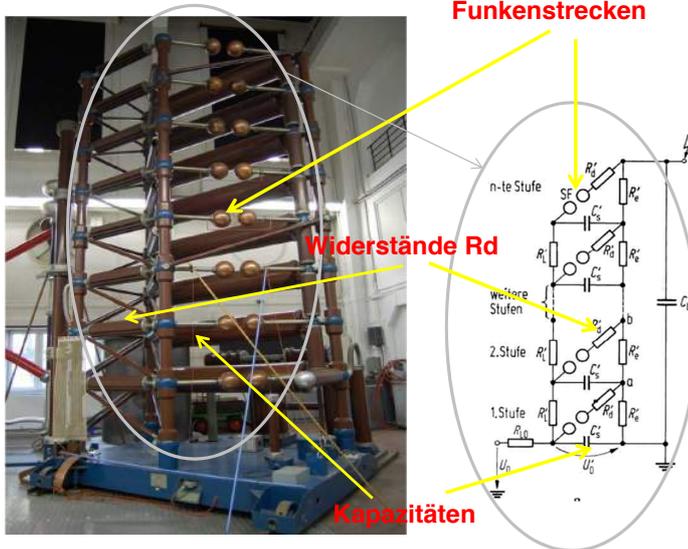
Synthetischer Prüfkreis

Agenda

- Einleitung
- Überblick von Prüffelder
- Sicherheitselemente in einem Hochspannungsprüffeld
- Prüfungen in Prüffelder
- Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik
- Zusammenfassung

Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik

- Marx-Generator im elenia

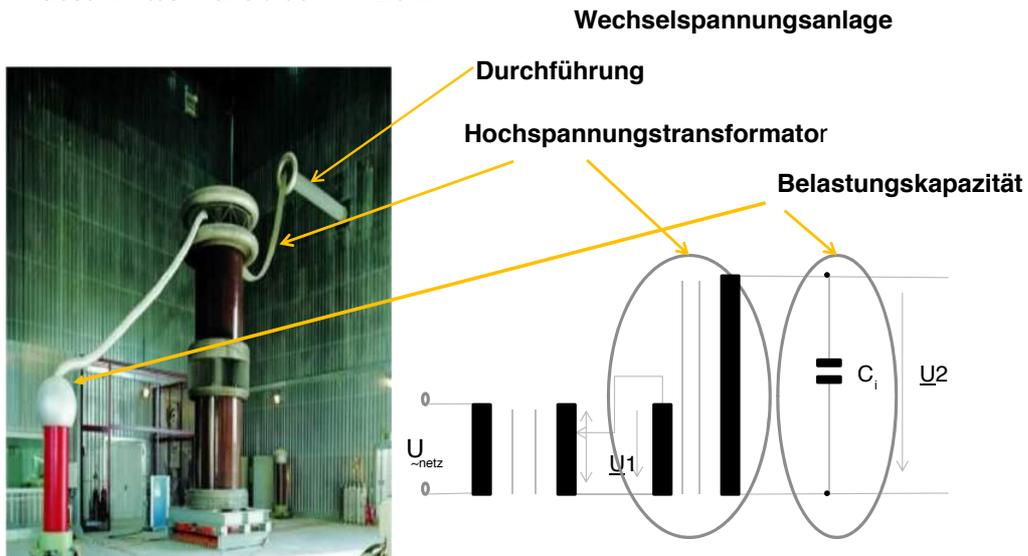


Stoßspannungsanlage

Bei der entwickelte Vervielfachschaltung werden mehrere gleiche Stoßkondensatoren in Parallelschaltung geladen und nach dem Zünden in Reihenschaltung entladen, wodurch eine entsprechend der Stufenzahl vervielfachte Summenladespannung erzeugt wird.

Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik

- Geschirmtes Prüffeld der IPH Berlin



Wechselspannungsanlage

Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik

- Leistungsprüffeld der Kema Arnhem



- Kurzschlussfestigkeit der Leistungskomponenten mit bis 1200 KV
- mit einer Leistung beim Kurzschluss von bis zu 10000 MVA

Zusammenfassung

- Aufbau der Hochspannungsprüffelder und Leistungsprüffelder
- Abgrenzungen des Hochspannungsraums mit ausreichender Abstände und Berührungsschutz als wichtige Schutzmaßnahmen
 - Verbotzone in Abhängigkeit von Prüfspannungen gegen Erde
 - Schutzeinrichtung mit ausreichender Abstände
 - Berührungsschutz für die prüfende Person
- Prüfungsmöglichkeiten in Prüffelder
 - Gleichspannungsprüfungen
 - Wechselfeldspannungsprüfungen
 - Stoßspannungsprüfungen
 - Leistungsprüfungen
- Anwendungsbeispiele von IPH und Kema

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Anhang

VDE 0104 Tabelle A.2: Verbotzone S in Abhängigkeit von Prüfspannungen (U) gegen Erde

Prüfwechselspannung 50/60 Hz (Effektivwert)		Blitzstoßspannung 1,2/50 µs (Scheitelwert)		Schaltstoßspannung 250/2500 µs (Scheitelwert)	
U kV	S mm	U kV	S mm	U kV	S mm
≤ 1	keine Berührung	20	100	500	2 000
3	20	40	175	600	2 600
5	30	60	250	700	3 300
6	35	80	325	800	4 100
10	60	100	400	900	4 900
15	85	150	550	1 000	5 800
20	115	200	700	1 100	6 800
25	140	250	850	1 200	7 800
30	170	300	1 000	1 300	8 900
35	195	350	1 110	1 400	10 000
40	225	400	1 200	1 500	11 200
45	250	450	1 300	1 600	12 500
50	280	500	1 400		
55	305	600	1 650		
60	335	700	1 950		
70	390	800	2 200		
80	450	900	2 450		
90	510	1 000	2 700		
100	560	1 100	2 950		
110	620	1 200	3 250		
130	740	1 300	3 500		
150	860	1 400	3 750		
170	980	1 500	4 000		
190	1 100				
210	1 240				
220	1 300				
260	1 550				
300	1 850				
340	2 150				

Anhang

Prüfwechselfspannung 50/60 Hz (Effektivwert)		Blitzstoßspannung 1,2/50 µs (Scheitelwert)		Schaltstoßspannung 250/2500 µs (Scheitelwert)	
U kV	S mm	U kV	S mm	U kV	S mm
380	2 450				
420	2 750				
460	3 100				
500	3 500				
600	4 500				
700	5 600				
800	6 900				
900	8 300				
1 000	9 900				

Zwischenwerte dürfen durch Interpolation gewonnen werden, eine lineare Extrapolation über die größten angegebenen Werte hinaus ist jedoch nicht zulässig.
Für Prüfgleichspannung bis 1000 kV sind die Abstände s wie für Blitzstoßspannungen einzuhalten.
Die Tabelle gilt nicht für hochfrequente oder andere nicht aufgeführte Spannungen.

Anhang

VDE 0104 Tabelle A.3: Waagerechter Abstand der Abgrenzung von Verbotzone in Abhängigkeit von der Höhe der Abgrenzung und dem Bodenabstand der Gefahrstelle

Boden- abstand der Gefahrstelle a mm	Höhe der Kante der Schutzeinrichtung (Abgrenzung) b mm							
	2 400	2 200	2 000	1 800	1 600	1 400	1 200	1 000
	Waagerechter Abstand c der Schutzeinrichtung (Abgrenzung) von der Gefahr- stelle mm							
2 400	100	100	100	100	100	100	100	100
2 200		250	350	400	500	500	600	600
2 000			350	500	600	700	900	1100
1 800				600	900	900	1000	1100
1 600				500	900	900	1000	1300
1 400				100	800	900	1000	1300
1 200					500	900	1000	1400
1 000					300	900	1000	1400
800						600	900	1300
600							500	1200
400							300	1200
200							200	1100

Werte für die Kante b unter 1000 mm sind nicht aufgeführt, weil die Reichweite nicht mehr größer wird und außerdem die Gefahr des Hineinstürzens in den Prüfbereich besteht.

Umsetzung von Überspannungsschutz für Photovoltaikanlagen

Ou Xu, xuou88@yahoo.de

1 Notwendigkeit eines Schutzes für Photovoltaikanlagen

Für Photovoltaikdachanlagen oder Photovoltaicfreilandkraftwerke tritt ein höheres Blitzschlagrisiko auf. Wenn PV-Anlage auf einem Flachdach installiert wird, schlagen Blitze immer am höchsten Punkt eines Gebäude ein. Dadurch werden nicht nur PV-Anlagen selbst sondern auch die elektrische Installation beschädigt und Stromausfall verursacht. Für PV-Kraftwerke werden die PV-Komponenten durch nach direktem Blitzeinschlag verursachte Spannungsspitzen aus Schaltheilung des Wechselstromnetzes zerstört.[1] Die finanzielle Schäden bzw. Wiederbeschaffungskosten und Reparaturkosten sind sehr größer, wenn kein entsprechende Schutz vorhanden ist. Außerdem können Verdienstaufälle verursacht werden, da Reparaturen bisweilen lange Zeit dauern. Deswegen ist ein Blitzschutz für PV-Anlagen sehr notwendig.

2 Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaikdachanlagen

Der Schutz gegen Blitze basiert auf zwei Strategien bzw. äußeren und inneren Schutz.

2.1 Äußerer Schutz

Der äußere Blitzschutz dient dazu, Blitzeinschläge in die Anlage so weit wie möglich zu verhindern. Im Prinzip wird ein einschlagender Blitz durch ein geerdetes Metallmontagesystem in die Erde abgeleitet. PV-Versorgungssystem wird durch Fangeinrichtung, die wie ein isolierter Aufbau zu realisieren, gegen direkte Blitzeinschläge geschützt. Bei einem Blitzeinschlag können gefährliche Überschläge in benachbarte metallische Teile auftreten,[1] deswegen ist der Trennungsabstand zwischen äußerem Blitzschutzsystem und PV-Anlagen zu berücksichtigen. Wenn der erforderliche Trennungsabstand nicht eingehalten werden kann, werden geeignete Verbindungen zwischen dem Blitzschutzsystem und den Komponenten des PV-Versorgungssystems hergestellt und geeigneten inneren Blitzschutz ausgewählt.

2.2 Innerer Blitzschutz

Der innere Blitzschutz dient dem Zweck, die Folgen eines Blitzschlags zu minimieren. Bei Blitzentladung werden Überspannungen in elektrische Leiter induziert,[1] die zu einer vollständigen Zerstörung der Anlage führen können.

Zum Schutz des PV-Versorgungssystems sind Spannungsspitzen durch Überspannung-Schutzeinrichtungen (SPDs) abzuleiten. Ein Einsatz von SPDs ist auf der Wechsel- und Gleichstromseite, die Signal- und Kommunikationskreise erforderlich. Hierzu sind zwei vorwiegend angewendete Überspannungsschutzgeräte vorzustellen. SPDs Typ 1 ist mit Funkenstrecken einzubauen und leitet den vollen Blitzstrom ab. Dieser Ableiter kombiniert Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter in einem Gerät. SPDs Typ 2 reduziert das Spannungsniveau weiter. Für SPD Typ 2 werden häufig leistungsstarke Varistoren eingesetzt.

2.3 Auswahl von Überspannungsschutzgeräten

Der äußere Schutz kann den inneren Schutz nicht ersetzt werden, weil PV-Anlagen nicht nur durch direkten Blitzeinschlag gefährdet sind. Wenn ein Blitz in der Nähe einschlägt, werden Schäden der PV-Anlagen auch verursacht. Die Zwei Schutzstrategien sind nicht alternativ sondern in Kombination anzuwenden. Folgend werden drei Situationen über unterschiedliche Blitzschutzmaßnahme für PV-Anlagen als Beispiele beschrieben.

Situation A: Gebäude ohne äußeren Blitzschutz

Abb.1 zeigt den Überspannungsschutz-Konzept für eine PV-Anlage auf einem Gebäude ohne äußeren Blitzschutz. Durch in die Nähe einschlagenden Blitz werden Überspannungen in elektrischer Leitern induziert und in die PV-Anlage eingekoppelt. Ein Schutz wird mittels SPDs Typ 2 erreicht. Einbauorte sind: DC-Bereich der Module und Wechselrichter, AC-Ausgang des Wechselrichters, Niederspannungs-Hauptverteiler und Drahtgebundene Kommunikationsschnittstellen. [1] In dieser Situation nachteilig sind die PV-Anlage und elektrische Hausinstallation gegen direkten Blitzeinschlag zu beschädigen.

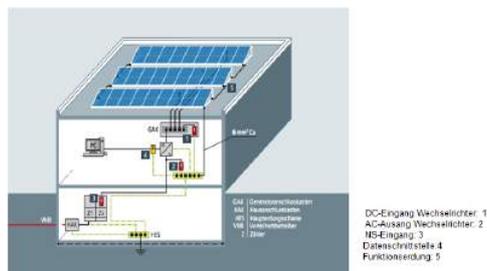


Abbildung 1 Situation A: Gebäude ohne äußeren Blitzschutz [1]

Situation B: Gebäude mit äußerem Blitzschutz und Einhaltung des Trennungsabstands

In der Abb.2 wird Überspannungsschutz-Konzept für eine PV-Anlage mit äußerem Blitzschutz und eingehaltenem Trennungsabstand zwischen dem PV-System und Fangeinrichtungen dargestellt. Blitzschutz-Potentialausgleich als Bestandteil des Blitzschutzsystems wird mit aller metallischen Systeme direkt und mit der Erdungsanlagen über SPD Typ 1 indirekt verbunden. Jeder DC-Eingang des Wechselrichters wird mit Typ 2 Ableiter geschützt. AC-Ausgang des Wechselrichters und Niederspannung-Eingang werden Typ 1 Ableiter zum Schutz eingesetzt. Bei größeren Leistungslängen (>10 m) wird Typ 2 bei AC-Eingang des Wechselrichters ausgerüstet, da ein SPD Typ 1 keinen ausreichenden Überspannungsschutz besteht.[1]

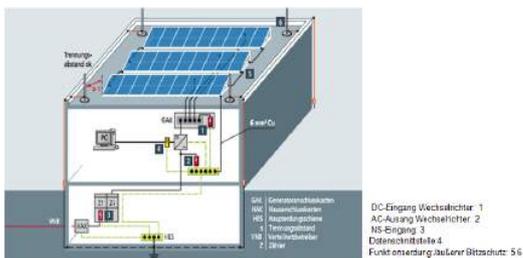


Abbildung 2 Situation B: Gebäude mit äußerem Blitzschutz und Einhaltung des Trennungsabstands [1]

Situation C: Gebäude mit äußerem Blitzschutz ohne Einhaltung des Trennungsabstands

Die Abb.3 beschreibt den Überspannungsschutz-Konzept mit äußerem Blitzschutz und nicht eingehaltenem Trennungsabstand. Wenn die Dachhaut aus Metall oder durch die PV-Anlagen aufgebaut wird, kann der Trennungsabstand nicht eingehalten werden.[1] Die metallene Komponenten müssen über eine blitzstromtragfähige Verbindung mit dem äußeren Blitzschutz verbunden werden. Wenn der Trennungsabstand nicht eingehalten wird, können DC-Leitungen vollständig geschirmt außen an der baulichen Anlage bis auf Erdniveau geführt werden. In diesem Fall werden induktiv eingekoppelte Spannungen reduziert.[3] Der DC-Eingang des Wechselrichters kann durch den kombinierten Schutzableiter Typ 1 + Typ 2 geschützt werden. Der Blitzschutz-Potentialausgleich muss in der NS-Einspeisung ausgeführt werden. Im AC-Bereich des Wechselrichters wird Typ 1 eingesetzt.

3 Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke

Ein Blitzschutzsystem für PV-Kraftwerke besteht aus Fangeinrichtung, Erdungsanlage, Blitzschutz-Potentialausgleich und Überspannungsschutzgeräten auf der Energie- und Datenseite.

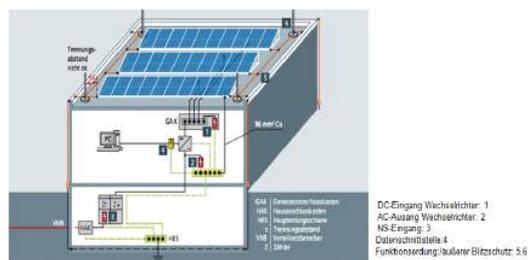


Abbildung 3 Situation C: Gebäude mit äußerem Blitzschutz ohne Einhaltung des Trennungsabstands [1]

3.1 Fangeinrichtungen

Fangstangen bilden ein Schutzraum über Module, Betriebsräume und Verkabelung aus. Sie sind mit den Anschlussfahnen der Erdungsanlagen zu verbinden. Zur Verhinderung von Störungen sollen dezentrale Wechselrichter entfernt von Fangeinrichtung aufgebaut werden.[1]

3.2 Erdungsanlagen

Eine Erdungsanlage mit geringer Impedanz reduzierte die Potentialdifferenz zwischen der baulichen Anlagen. Damit wird die Störeinkopplung in die elektrischen Verbindungen verringert. Es wird empfohlen ein Erdungswiderstand von kleiner 10 Ohm einzusetzen. Die einzelnen Erdungsanlagen von Betriebsgebäude und PV-Module sollen miteinander verbunden werden, um durch ein vermaschtes Erdungssystem eine Äquipotentialflächen zu erhalten.[1] Dadurch ist die Spannungsbeanspruchung der elektrischen Verbindung zwischen PV-Modulfeld und Betriebsgebäude bei Blitzbeeinflussung reduziert.

3.3 Blitzschutz-Potentialausgleich

Durch Blitzschutz-Potentialausgleich sind alle metallischen Teile miteinander zu verbinden, damit diese ein annähernd gleiches Potential aufweisen. Um bei einem Blitzeinschlag Überschläge in einem Betriebsgebäude zu verhindern werden die elektrische Anlage, Erdungsanlagen und Blitzschutzanlage direkt bzw. indirekt mit geeigneten Schutzgeräten verbindet.

3.4 Überspannungsschutzgeräten für unterschiedliche Wechselrichter-Technologien

Innerhalb von PV-Kraftwerken werden Überspannungsschutzgeräten zum Schutz der elektrischen Systeme angewendet. Die Blitzteilströme fließen bei einem PV-Kraftwerk mit Zentralwechselrichter-Technologie auf den DC-Leitungen. Die SPDs Typ 1 sind auf die DC-Seite einzusetzen. PV-Kraftwerken können auch mit Stringwechselrichter-Technologie ausgeführt. Der Unterschied zur Anlage mit Zentralwechselrichter liegt darin, dass die Blitzteilströme auf den AC-Leitung fließen. Die SPDs Typ 1 werden entsprechend auf der AC-Seite installiert.

4 Literatur

- [1] DEHN+SÖHNE GmbH: Blitzplaner Überspannungsschutz Blitzschutz/Erdung Arbeitsschutz, 2013
- [2] DIN EN 62305/VDE 0185-305: Die Blitzschutz-Normen, 2006
- [3] DIN EN 62305 Beiblatt 5: Blitzschutz für PV-Anlagen.
- [4] VDE 0675-39-11: Normgerechte Überspannungsschutz-Lösungen für PV-Anlagen bis 1500 V



Umsetzung von Überspannungsschutz für Photovoltaikanlagen

Ou,Xu, 03.02.2016

Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaikdachanlagen

- **Notwendigkeit eines Blitzschutz für Photovoltaikanlagen**
 - Erhöhen des Blitzschlagrisiko durch Installieren der Photovoltaikanlagen
 - Zerstören der PV-Anlagen und elektrischer Installation durch Blitzeinschlag auf ein Gebäude
 - Schäden der PV-Komponenten durch verursachte Spannungspitzen aus Schalthandlung des Wechselstromnetzes
 - Wiederbeschaffungs- und Reparaturkosten
 - Verdienstauffälle
- **Äußerer Blitzschutz**
 - Funktionserdung der metallenen Unterkonstruktion
 - Fangeinrichtungen als Isolierung
- **Innerer Blitzschutz**
 - Überspannungsschutzgeräte
 - SPD Typ 1: Funkenstreckenbasis
 - Ableitung der Blitzströme bei PV-DC-System
 - SPD Typ 2: Minimierung der Vielzahl kleinerer Spannungspitzen
 - häufig Einsetzen mit Varistoren

Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaikdachanlagen

➤ Auswahl von Überspannungsschutzgeräten

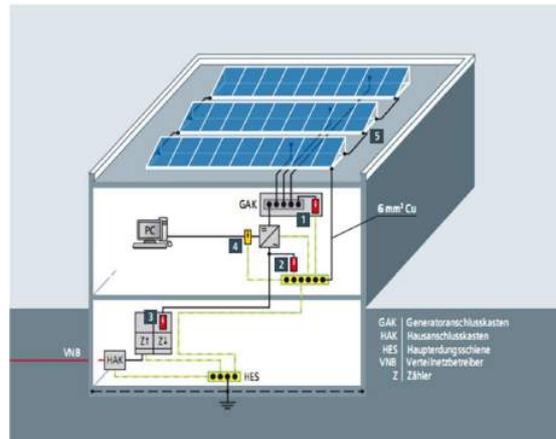
Situation A: Gebäude ohne äußeren Blitzschutz

- Ein Schutz wird mittels SPDs Typ 2 erreicht.

Einbauorte sind:

- DC-Bereich der Module und Wechselrichter
- AC-Ausgang des Wechselrichters
- Niederspannungs-Hauptverteiler
- Drahtgebundene Kommunikations-schnittstellen

DC-Eingang Wechselrichter: 1
 AC-Ausgang Wechselrichter: 2
 NS-Eingang: 3
 Datenschnittstelle: 4
 Funktionserdung: 5



Quelle: Blitzplaner



03.02.2016 | Ou Xu | Umsetzung von Überspannungsschutz für Photovoltaikanlagen | Seite 3



Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaikdachanlagen

Situation B: Gebäude mit äußerem Blitzschutz und Einhaltung des Trennungsabstands

Der Blitzschutz-Potentialausgleich wird mit aller metallenen Systeme direkt und über SPD Typ 1 mit der Erdungsanlagen indirekt verbunden.

DC-Eingang Wechselrichter:

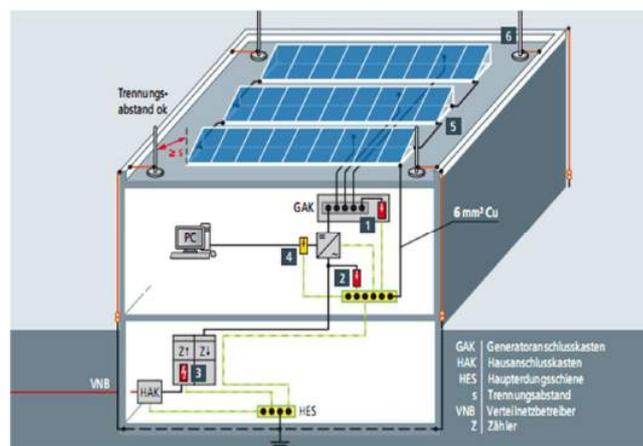
- Typ2 PV-Ableiter

AC-Ausgang Wechselrichter:

- Typ1 Ableiter
- (Bei größeren Leistungslängen (>10m) werden SPD Typ 2 vor dem AC-Eingang der Wechselrichter ausgerüstet.)

NS-Eingang: Typ1 Ableiter

DC-Eingang Wechselrichter: 1
 AC-Ausgang Wechselrichter: 2
 NS-Eingang: 3
 Datenschnittstelle: 4
 Funktionserdung/äußerer Blitzschutz: 5, 6



Quelle: Blitzplaner



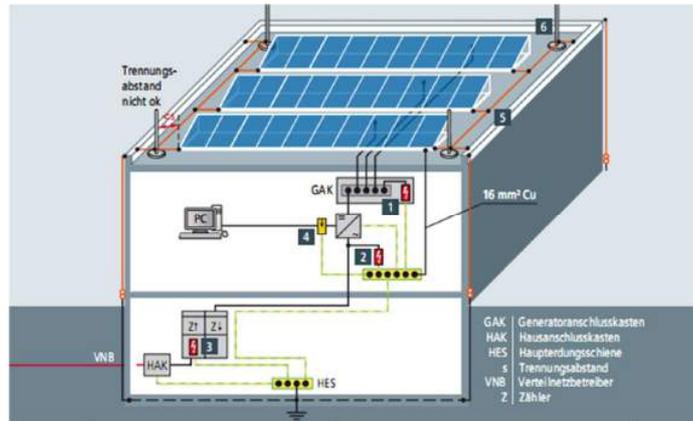
03.02.2016 | Ou Xu | Umsetzung von Überspannungsschutz für Photovoltaikanlagen | Seite 4



Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaikdachanlagen

Situation C: Gebäude mit äußerem Blitzschutz ohne Einhaltung des Trennungsabstands

- Verbinden der metallenen Komponenten des PV-Montage-Systems mit dem äußeren Blitzschutz
- Ausführen des Blitzschutz-Potenzialausgleiches in der NS-Einspeisung
- DC-Eingang Wechselrichter: Schutzableiter Typ 1 + Typ 2
- AC-Ausgang Wechselrichter: Typ1



DC-Eingang Wechselrichter: 1
AC-Ausgang Wechselrichter: 2
NS-Eingang: 3
Datenschnittstelle: 4
Funktionserdung/äußerer Blitzschutz: 5, 6

Quelle: Blitzplaner

Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke

➤ Blitzschutzsystem von PV-Kraftwerken

Fangeinrichtung

Ausbilden eines Schutzraumes über Modultische, Betriebsräume und Verkabelung
Entfernen dezentraler Wechselrichter von Fangeinrichtungen
Verbinden mit der Erdungsanlage

Erdungsanlage

Erdungswiderstand von kleiner 10 Ohm
Vermaschung von Erdungsanlagen

Blitzschutz-Potentialausgleich

Verbindung aller metallenen Systeme
indirektes Verbinden mit Erdungsanlagen über Überspannungsschutzgeräten

Überspannungsschutzgeräten

Zentralwechselrichter : Blitzströme auf den DC-Leitungen
TYP 1 DC-SPD

Stringwechselrichter: Blitzströme auf den AC-Leitungen
Typ 1 SPDs auf der AC-Seite der Stringwechselrichter und der
Niederspannungsseite des Einspeisetransformators