

**Diese Arbeit wurde vorgelegt am  
Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe**

**Titel der Arbeit**

Bachelor-/Masterarbeit

von

Kuipers Matthias

<Vollständiger Name des/r 1. Prüfer/in>

<Vollständiger Name des/r 2. Prüfer/in>

Aachen, [Veröffentlichungsdatum]

Erklärung

Ich, Kuipers Matthias, versichere, dass ich die vorliegende Arbeit - bis auf die Betreuung durch das Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) der RWTH Aachen - selbst und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Die benutzten Quellen und Hilfsmittel sind vollständig angegeben, Zitate sind kenntlich gemacht.

Aachen, [Veröffentlichungsdatum] \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Diese Seite wird nicht mitgebunden und ist als separate Seite bei der Abgabe der Arbeit mit abzugeben.

Titel der Arbeit

[Abgabedatum]

Bachelor-/Masterarbeit

Autor: Kuipers Matthias

Betreuende/r Mitarbeiter/in:

Betreuender Professor:

Arbeit außerhalb des ISEA angefertigt?  
Wenn ja, wo?

Studienrichtung:

Sprache: Deutsch / Englisch

Vertraulichkeit:

☐ Diese Arbeit fällt unter eine Geheimhaltungsvereinbarung des ISEAs und beinhaltet vertrauliche Daten.

☐ Diese Arbeit steht unter erweiterten Geheimhaltungsvereinbarungen mit Dritten oder zum Schutz von Erfindungsrechten.

Stichworte:

Hier 5 – 10 Stichworte zur Arbeit angeben.

……………………. …………………….

……………………. …………………….

……………………. …………………….

……………………. …………………….

……………………. …………………….

Zusammenfassung:

Hier 5-8 Zeilen schreiben, die den Inhalt der Arbeit kurz zusammenfassen.

…………………………………………………….

Inhaltsverzeichnis

[1. Kurzzusammenfassung 1](#_Toc416712252)

[2. Einleitung 1](#_Toc416712253)

[2.1 Bilder 1](#_Toc416712254)

[2.1.1 Allgemein 1](#_Toc416712255)

[2.1.2 English captions 1](#_Toc416712256)

[2.2 Formeln 1](#_Toc416712257)

[2.3 Tabellen 1](#_Toc416712258)

[3. Zusammenfassung 1](#_Toc416712259)

[4. Zitieren 1](#_Toc416712260)

[4.1 Was sind alles Quellen und was ist davon zitierfähig in meiner Abschlussarbeit? 1](#_Toc416712261)

[4.2 Kennzeichnung der Zitatstellen im Text 1](#_Toc416712262)

[4.2.1 Direktes Zitat 1](#_Toc416712263)

[4.2.2 Indirektes Zitat 1](#_Toc416712264)

[4.3 Zitierweise 1](#_Toc416712265)

[4.3.1 Websites 1](#_Toc416712266)

[4.3.2 Dokumente von Websites 1](#_Toc416712267)

[4.3.3 Bücher 1](#_Toc416712268)

[4.3.4 Zeitschriftenartikel 1](#_Toc416712269)

[4.4 Dissertationen 1](#_Toc416712270)

[4.5 Abschlussarbeiten 1](#_Toc416712271)

[4.6 Vorlesungen 1](#_Toc416712272)

[4.7 Schlussbemerkung 1](#_Toc416712273)

[5. Literaturverzeichnis 1](#_Toc416712274)

Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 2.1 Das ist eine kurze Beschriftung 1](#_Toc416712277)

[Abbildung 2.2 Das ist das ISEA-Logo. 1](#_Toc416712278)

[Abbildung 2.3 Tabellenformatvorlagen 1](#_Toc416712279)

[Abbildung 4 Eingabemaske für Quellen in Word 1](#_Toc416712280)

Tabellenverzeichnis

[Tabelle 2.1 Beispieltabelle in dunkel 1](#_Toc416712275)

[Tabelle 2.2 Beispieltabelle in hell 1](#_Toc416712276)

Table of Figures

[Figure 2.1: Use “Verweise” 🡪 “Beschriftung einfügen” 1](#_Toc416712281)

[Figure 2.2 Then use “Figure” or “Table”. 1](#_Toc416712282)

[Figure 2.3 “Verweise” à “Abbildungsverzeichnis einfügen” 1](#_Toc416712283)

[Figure 2.4 Then use “Figure” or “Table”, too. 1](#_Toc416712284)

Table of Tables

[Table 2.1 This is table with an English caption 1](#_Toc416712285)

# Kurzzusammenfassung

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna.

Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci.

Aenean nec lorem. In porttitor. Donec laoreet nonummy augue.

Suspendisse dui purus, scelerisque at, vulputate vitae, pretium mattis, nunc. Mauris eget neque at sem venenatis eleifend. Ut nonummy.

# Einleitung

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna.

## Bilder

### Allgemein

Bilder werden ganz gewöhnlich eingefügt. **Nach dem Einfügen wird dem Bild die Formatvorlage „Bild“ zugewiesen.**



Abbildung . Das ist eine kurze Beschriftung

#### Beschriftungen

Die Bezeichnung „Abbildung“ und die Beschriftung selbst sollte mit einem Tabulator getrennt werden. Ab und zu kommt es auch vor, dass die Beschriftung mehrzeilig wird. Um einen saubere Ausrichtung der Beschriftung zu erreichen, muss dann nur die Beschriftung im Blocksatz ausgerichtet werden. Der Umbruch erfolgt dann sauber. Hier ein Beispiel mit mehrzeiliger Beschriftung:



Abbildung . Das ist das ISEA-Logo.

Links ist der ISEA-Schriftzug und rechts ist das Logo der RWTH Aachen

**Lange Beschriftungen** werden im Abbildungsverzeichnis umgebrochen. Dies kann umgangen werden, indem man innerhalb der Beschriftung **zunächst mit Return einen Umbruch und dann ein Formatvorlagentrennzeichen mit der Tastenkombination Strg + Alt + Return** einfügt.

### English captions

Figure and table captions are included in the template. Just use the right type if you create a caption:

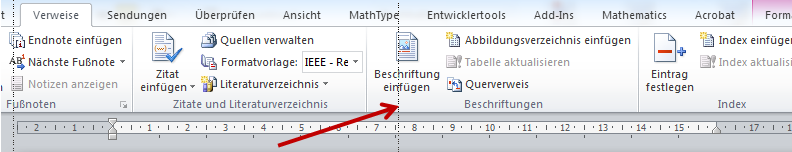


Figure .: Use “Verweise” 🡪 “Beschriftung einfügen”

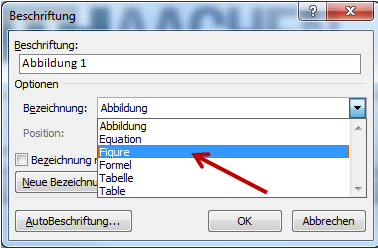


Figure 2.2 Then use “Figure” or “Table”.

If you want to create a Table of Figures or a table of Tables:

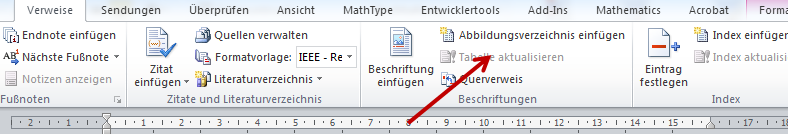


Figure . “Verweise” à “Abbildungsverzeichnis einfügen”

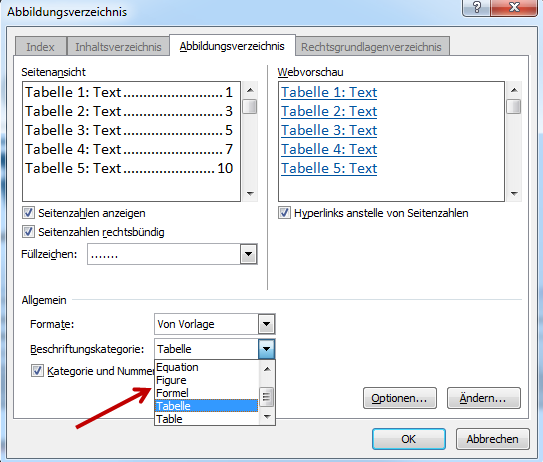


Figure 2.4 Then use “Figure” or “Table”, too.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Table 2.1 This is table with an English caption

## Formeln

Eine Formel kann einfach mit dem Word Formel-Editor eingegeben werden.   
**Die Nummerierung erfolgt mit der Tastenkombination Alt + F**

(1)

Sollen die Formeln je Kapitel nummeriert werden, so kann das mit der **Tastenkombination Alt + K** gemacht werden.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna.

## Tabellen

Tabellen einfügen über Einfügen 🡪 Tabelle

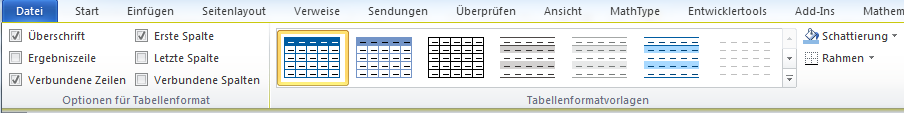


Abbildung . Tabellenformatvorlagen

Falls die Tabelle eine Erste Zeile, Überschrift oder eine Ergebniszeile haben soll, so kann das in den Optionen eingestellt werden. Es stehen die Tabellenformatvorlagen „ISEA dunkel“ und „ISEA hell“ zur Verfügung. Die Tabelle muss als Standard definiert sein, damit die Zeilenabstände passen.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Tabelle . Beispieltabelle in dunkel

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Tabelle . Beispieltabelle in hell

# Zusammenfassung

Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über Speichersysteme für elektrischen Strom und gibt deren Kosten für verschiedene Anwendungsfälle an. Dazu wird eine Vollkostenrechnung verwendet, die einen objektiven Vergleich verschiedener Technologien ermöglicht. Eine Szenarienbetrachtung für die Jahre 2020 und 2030 ermöglicht es, die Entwicklungstendenzen der Technologien zu identifizieren und so Hinweise auf aussichtsreiche Speicheroptionen zu erhalten.

Die Speicherung von elektrischem Strom ist im Allgemeinen ein komplexes Themenfeld und immer mit Verlusten und relativ hohen Kosten verbunden. Es ist daher wichtig, immer auch die Alternativen zur Stromspeicherung mit zu berücksichtigen. Um dies zu systematisieren, wurde eine Klassifizierung der verschiedenen Optionen eingeführt:

* Art und Einsatzort des Speichersystems
  + modulare Speicher mit und ohne Doppelnutzung
  + Zentralspeicher
* Dauer und Häufigkeit des Einsatzes
  + Minutenspeicher
  + Tagesspeicher
  + Langzeitspeicher
* Art der ein- und ausgespeicherten Energie (Bereitstellung von nur positiver und nur negativer Regelenergie sowie gleichzeitige Bereitstellung beider Regelenergiearten)

Wichtig zu bemerken ist, dass Systeme, die sowohl elektrische Energie ein- als auch ausspeichern können, immer durch eine Kombination aus unidirektionalen Speichern ersetzt werden können. So ist beispielsweise eine Kombination aus Gaskraftwerk und Wasserstoffelektrolyse bezüglich des Verhaltens im Stromnetz gleichwertig zu einem Pumpspeicherkraftwerk. Außerdem kann das Verhalten von Großspeichern durch eine große Anzahl zusammengeschalteter modularer Speicher erreicht werden. Durch eine Vielzahl von gesteuerten Elektrofahrzeugbatterien kann so beispielsweise das Verhalten von Pumpspeicherkraftwerken erreicht werden. Diese Konkurrenzsituation wurde im Rahmen der Studie nicht näher untersucht, sollte jedoch bei einer Ergebnisdiskussion immer mit berücksichtigt werden.

Bei den in der Studie betrachteten Technologien kann im Wesentlichen zwischen zentralen Speichersystemen (Großspeichern) und elektrochemischen Speichern unterschieden werden. Als Großspeicher wurden dabei Pumpspeicherkraftwerke, adiabate Druckluftspeicher und die Wasserstoffspeicherung betrachtet. Bei den elektrochemischen Systemen wurden Blei-Säure-, Nickel-Cadmium- und Lithium-Ionen-Batterien sowie Natrium-Schwefel- und Natrium-Nickelchlorid-Batterien (Hochtemperatur) und Redox-Flow-Batterien untersucht. Zusätzlich wurden Thermoelektrische Energiespeicher (TEES) betrachtet, die sich nicht einer der beiden oben genannten Gruppen zuordnen lassen. SWOT-Analysen der einzelnen Technologien stellen die wichtigsten Charakteristika zusammen. Allen Großspeichern sind die relativ langen Genehmigungsprozesse und Unsicherheiten hinsichtlich der Akzeptanz in der Bevölkerung sowie hohe Investitionssummen, lange Abschreibungsdauern und die Notwendigkeit gewisser geographischer Voraussetzungen gemein. Demgegenüber weisen beispielsweise Pumpspeicherkraftwerke bereits heute konkurrenzfähige Speicherungskosten auf. Elektrochemische Speicher bieten den Vorteil der Skalierbarkeit und der schnellen Errichtung, allerdings müssen Kostensenkungspotenziale bei diesen Systemen erst noch ausgeschöpft werden.

Fokus der Studie ist die Berechnung von Speicherungskosten für die genannten Technologien anhand definierter Anwendungsfälle und Szenarien. Dazu wurde eine annuitätische Vollkostenrechnung durchgeführt. Ausgehend vom definierten Anwendungsfall (Zyklenzahl, Leistung, Energie, Strompreis und Kapitalzinssatz) wird mithilfe eines technologie­spezifischen Parametersatzes eine Dimensionierung des Speichersystems vorgenommen und die Berechnung der Speicherlebensdauer durchgeführt. Anhand dieser erfolgt die Berechnung der Annuitäten, die sich mit den Kosten für Verluste, Selbstentladung und Wartung zu den jährlichen Gesamtkosten summieren. Mithilfe der durchgesetzten Energiemenge können differenzielle kilowattstunden-bezogene Speicherungskosten angegeben werden, welche einen wirtschaftlichen Vergleich der Speichersysteme für den gegebenen Anwendungsfall ermöglichen. Jeder Anwendungsfall wurde für jede Technologie zu den Zeitpunkten 2010, 2020 und 2030 betrachtet. Es werden jeweils Referenz-, worst- und best-Kosten für durchschnittliche, unterdurchschnittliche und überdurchschnittliche Produkte angegeben.

Der Fall „Saisonaler PV-Speicher“ (192 GW, 110 TWh, 1 Zyklus pro Jahr) berechnet die Speicherungskosten für einen Energiespeicher, der eine Vollversorgung mit Photovoltaik in Deutschland ermöglicht. Dabei zeigt sich, dass diese Speicherungsaufgabe nur von Pumpspeichern und Wasserstoffspeichern übernommen werden kann. Es entstehen dabei im günstigsten Fall Kosten im Bereich von 20 bis 40 €ct/kWh. Es ist allerdings fraglich, ob die benötigte Kapazität von 110 TWh überhaupt realisiert werden kann.

Im Fall „Langzeitspeicher“ (500 MW, 100 GWh, 1-2 Zyklen pro Monat) zeigt sich, dass eine Speicherung ebenfalls am wirtschaftlichsten mit Pumpspeichern und Wasserstoffspeichern bewerkstelligt werden kann. Diese Systeme weisen Kosten im Bereich von 5 bis 20 €ct/kWh auf. Elektrochemische Speicher können hier im günstigsten Fall mit Kosten im Bereich von 50 €ct/kWh arbeiten.

Bei Speichern für Load-leveling-Aufgaben im Hochspannungsnetz (1 GW, 8 GWh, 1 Zyklus pro Tag) spielen nun auch elektrochemische Speicher eine wichtige Rolle. Es sind damit perspektivisch (2030) Kosten im Bereich von 5 €ct/kWh zu erreichen, heute liegen diese noch deutlich höher. Das größte Kostensenkungspotenzial zeigen Natrium-Schwefel-Batterien, aber auch der Einsatz von Blei- und Lithium-Ionen-Batterien ist denkbar. Die günstigste Option für diesen Anwendungsfall sind Pumpspeicher, die heute schon Kosten im Bereich von 4 €ct/kWh erreichen, jedoch nur ein begrenztes Ausbaupotenzial besitzen. Auch adiabate Druckluftspeicher können eingesetzt werden, mit im Vergleich zu Pumpspeichern in etwa doppelt so hohen Kosten. Perspektivisch erfährt der Einsatz von Druckluftspeichern vor allem durch Blei-Säure-, Lithium-Ionen- und Natrium-Schwefel-Batterien Konkurrenz.

Im Anwendungsfall Peak-Shaving im Mittelspannungsnetz (10 MW, 40 MWh, 2 Zyklen pro Tag) zeigen sich bei Pumpspeichern in etwa die gleichen Kosten wie im Fall Load-leveling. Druckluftspeicher und Batteriespeicher können aufgrund der höheren Zyklenzahl ihre Wirtschaftlichkeit erhöhen und erreichen Kosten, die im Bereich von Pumpspeichern liegen. Blei-Säure- und Lithium-Ionen-Batterien erreichen diese Kosten erst im Jahr 2030, bei Natrium-Schwefel ist dies bereits früher denkbar. Dieser Fall ist der einzige, in dem thermo-elektrische Speicher als konkurrenzfähig erscheinen. Sie weisen ähnliche Kosten auf wie Druckluftspeicher.

Der Anwendungsfall Primärregelung (1 MW, 1 MWh, 1 Zyklus pro Tag) stellt für Pumpspeicher eine ungünstige Dimensionierung dar (nur einstündige Entladung), was sich in den relativ hohen Kosten von ca. 20 €ct/kWh widerspiegelt. Batteriespeicher (Blei-Säure, Lithium-Ionen und Natrium-Schwefel) können Primärregelung mit der genannten Dimensionierung heute im Bereich 20 bis 40 €ct/kWh anbieten. Perspektivisch kann von Kosten im Bereich von 5 bis 10 €ct/kWh ausgegangen werden.

Für den Anwendungsfall dezentrale Speicher (5 kW, 10 kWh, 2 Zyklen pro Tag) wurden nur Batteriespeicher betrachtet. Betrachtet man den Kostenstand heute, sollten hierfür vorzugsweise Blei-Säure-Batterien eingesetzt werden, die die Speicherungsaufgabe für Kosten von ca. 20 €ct/kWh erfüllen können. Günstiger sind Natrium-Schwefel-Systeme, wobei die betrachtete Dimensionierung nicht marktverfügbar, jedoch technisch realisierbar ist. Auf lange Sicht können Kosten im Bereich von 4 bis 6 €ct/kWh mit Blei-Säure-, Lithium-Ionen- und Natrium-Schwefel-Batterien erreicht werden.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass für die Anwendungsfälle mit sehr langen Speicherzeiten und wenigen Speicherzyklen nur Pumpspeicher und Wasserstoffspeicher in Frage kommen. Bei höheren Zyklenzahlen werden zukünftig auch Batteriespeicher zu geringen Kosten arbeiten können, allerdings müssen dafür noch erhebliche Kostensenkungen erzielt werden. Diese Kostensenkungen sind getrieben durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologien und die Einführung einer vollautomatischen Massenfertigung in hohen Stückzahlen. Der Einsatz von thermoelektrischen Energiespeichern könnte für Anwendungen mit hohen Zyklenzahlen interessant werden, allerdings müssen für diese Technologie noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten unternommen werden, um ein marktfähiges Produkt zu erhalten.

Die durchgeführten Sensitivitätsanalysen zeigen, dass eine hohe Sensitivität bezüglich des Strompreises besteht, wenn der Anteil der Verluste und der Selbstentladung hoch ist. Dies ist bei der Wasserstoffspeicherung der Fall. Die Batterietechnologien zeigen hinsichtlich des Strompreises eine geringere Sensitivität. Der angenommene Kapitalzinssatz hat dann einen hohen Einfluss, wenn der Anteil der Investitionskosten hoch ist und die Lebensdauer lang ist. Dies ist bei Pumpspeichern und Druckluftspeichern der Fall. Ein geringerer Einfluss zeigt sich bei der Wasserstoffspeicherung, da hierbei die Verlustkosten dominieren und diese nicht vom Zinssatz abhängig sind. Zuletzt wurde noch der Einfluss der Zyklenzahl untersucht. Anwendungsfälle mit hohen Zyklenzahlen weisen im Allgemeinen immer eine bessere Wirtschaftlichkeit auf. Ab welcher Zyklenzahl keine weitere Senkung der Speicherungskosten auftritt, ist technologie- und anwendungsfallabhängig.

Es kann davon ausgegangen werden, dass durch den schnellen Ausbau der Erneuerbaren Energien Speicher in allen Netzebenen nötig werden. Die großen Potenziale, die Demand-Side-Management von z.B. Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen bietet, können kurz- und mittelfristig noch nicht ausgeschöpft werden, da die genannten Geräte noch keine hohe Marktdurchdringung aufweisen. Vor der Installation von stationären Speichersystemen muss genau untersucht werden, wo diese benötigt werden und welche Auswirkungen dies auf einen etwaigen Netzausbau hat. Großspeicher werden beispielsweise einen Netzausbau nicht verhindern, da dadurch auch der Transport größerer Energiemengen mit einhergeht. Im Niederspannungsnetz können dezentrale Speicher mit intelligenten Managementverfahren zu einer Netzentlastung beitragen, allerdings sollten auch hier Alternativen wie die Installation intelligenter Ortsnetzstationen mit Spannungsregelung untersucht werden.

Durch das Zusammenwirken verschiedenster Faktoren wie der zukünftige Kraftwerksmix, der künftige Anteil von Elektrofahrzeugen und der Anteil erneuerbarer Erzeugung und deren Zusammensetzung sind keine verlässlichen Aussagen über den zukünftigen Speicherbedarf und die Verteilung dieser Speicher möglich. Dies ist ein Haupthemmnis für die Investition in Energiespeicher. Es müssten hier also verlässliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, um für Investoren und Speicherbetreiber Planungssicherheit zu schaffen.

Für den Markteintritt von Speichern sehen wir insbesondere zwei Märkte als vielversprechend an. Dies ist zum einen der Primärregelmarkt und zum anderen ist es der Ersatz von Gaskraftwerken mit geringer Volllaststundenzahl. Im Primärregelmarkt können Speicher dazu beitragen, die Effizienz von konventionellen Kraftwerken zu erhöhen. Diese müssen dann nicht mehr angedrosselt gefahren werden, wodurch sich der Wirkungsgrad und die Wirtschaftlichkeit erhöhen. Außerdem werden relativ bald Situationen im Netz auftreten, in denen durch den Einspeisevorrang von Erneuerbaren Energien nahezu keine konventionellen Kraftwerke im Betrieb sind. Zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität sind dann z.B. primärregelfähige Batteriespeicher nötig. Gaskraftwerke werden in Zukunft zum Beispiel für den Ausgleich längerer Windflauten eingesetzt. Da Gaskraftwerke mit geringer Volllaststundenzahl hohe Stromgestehungskosten aufweisen, könnten alternativ hierzu auch Energiespeicher eingesetzt werden. Die Wirtschaftlichkeit für diesen Fall sollte näher untersucht werden.

Der wirtschaftliche Betrieb von Speichern hängt stark vom zukünftigen Marktdesign ab. Eine wichtige Frage ist zum Beispiel, ob Stromspeicher zukünftig netzentgeltpflichtig sind. Diese Frage muss langfristig geklärt werden, um Investitionssicherheit herzustellen. Derzeit ist der Betrieb von Batteriespeichern in nur einem Marktsegment wirtschaftlich schwer darstellbar. Es müssen demnach Rahmenbedingungen geschaffen werden, um in verschiedenen Märkten aktiv zu werden. Dies ist beispielsweise in Deutschland mit der Absenkung der minimalen Angebotsleistung für Primärregelung auf 1 MW geschehen.

Die Förderung von Investitionen in Batteriespeicheranlagen würde eine Markteinführung und Kostensenkung beschleunigen. Bei der Gestaltung des Fördermechanismus sollte dafür gesorgt werden, dass im Gegensatz zum Ausbau der Erneuerbaren Energien keine Maximierung des Speicherausbaus durchgeführt, sondern eine volkswirtschaftlich sinnvolle Kapazität aufgebaut wird. Dies wird beispielsweise dadurch erreicht, dass eine Pflicht zur Integration in Energiemärkte besteht, so dass eine Preisbildung für Speicherdienstleistungen stattfindet.

# Zitieren

Um mit der eigenen Arbeit einen sinnvollen Beitrag zur wissenschaftlichen Weiterentwicklung zu leisten, ist die Auseinandersetzung mit dem Stand der Technik und damit mit den Erkenntnissen anderer eine zwingende und auch gewünschte Voraussetzung. Daher werden in jeder wissenschaftlichen Arbeit Ideen, Ergebnisse, Daten und Materialien bereits getätigter Veröffentlichungen anderer herangezogen, verglichen und als Grundlage der eigenen Arbeit verwendet [[1](#Kla13)]. Dementsprechend ist die Verwendung fremden Wissens am Institut keinesfalls unerwünscht, sondern tatsächlich unbedingt notwendig, um unnötige Doppelarbeit zu vermeiden und direkt auf dem Stand der Technik mit der eigenen Arbeit beginnen zu können. Sie müssen also innerhalb Ihrer Arbeit das Rad nicht neu erfinden. Allerdings ist hierbei das zentrale Grundprinzip der wissenschaftlichen Arbeit, dass **alle verwendeten Quellen deutlich genannt sind**, um diese zum einen für weitergehende Hintergrundinformationen einsehen zu können und zum anderen um die Eigenleistung deutlich von der anderer abgrenzen zu können. Dies bedeutet auch, dass Sie sicherlich in der Schilderung des Stands der Technik, also zu Beginn Ihrer Arbeit, einen deutlich höheren Anteil an Zitaten haben werden, als in Ihrer tatsächlichen Eigenleistung und der Diskussion der Ergebnisse. Eine starke Häufung an Zitatstellen im ersten Teil der Arbeit ist also nicht kritisch, sondern zeigt vielmehr, dass Sie sich umfassend mit dem Thema beschäftigt haben.

Im Rahmen Ihrer Abschlussarbeit versichern Sie mit folgendem Passus, dass Sie diese Kenntlichmachung gemäß den Ihnen vorgegebenen Zitierregeln einhalten:

*„Ich, XXX, versichere, dass ich die vorliegende Arbeit - bis auf die Betreuung durch das Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) der RWTH Aachen - selbst und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Die benutzten Quellen und Hilfsmittel sind vollständig angegeben, Zitate sind kenntlich gemacht.“*

**Eine Unterschlagung wird daher als Betrugsversuch gewertet und dementsprechend geahndet. In der Regel wird die Arbeit dann mit 5,0 (nicht bestanden) bewertet.** Richtiges Zitieren von Quellen im Rahmen Ihrer Abschlussarbeit, ist daher für einen erfolgreichen Abschluss Ihrer Arbeit zwingend erforderlich. Hierbei gilt: alle für die Anfertigung der Arbeit herangezogenen Quellen sind im Text deutlich kenntlich zu machen und im Literaturverzeichnis mit exakten Quellenangaben zu belegen.

Um Ihnen hierzu einen Handlungsleitfaden an die Hand zu geben, sind im Folgenden die Vorgaben für Zitate zusammenfassend genauer erläutert und mit Beispielen unterstützt. Lesen Sie sich diese aufmerksam durch und halten Sie im Zweifelsfall Rücksprache mit Ihrem betreuenden Assistenten. Sie bestätigen die Aushändigung dieser Unterlagen durch Unterschrift bei der Anmeldung zur Abschlussarbeit in unserem Sekretariat.

Zudem sei auf die umfassende Literatur hinsichtlich richtigen Zitierens verwiesen, die Sie auch in der Hochschulbibliothek der RWTH Aachen (z.B. [[2](#Jel03)]) einsehen können. Um eine gerechte Bewertung aller Studenten zu gewährleisten und den Arbeitsaufwand auf Assistentenseite in schwerwiegenden Fällen zu minimieren, werden gravierende Zitierfehler folgendermaßen behandelt:

* Ihr betreuender Assistent korrigiert Ihnen Ihre Arbeit üblicherweise bereits während des Verfassens, vor der finalen Abgabe und gibt Ihnen wertvolle Hinweise für die Verbesserung Ihrer Arbeit. Auch in diesen Vorabversionen müssen jedoch bereits alle Quellen entsprechend der Vorgaben in diesem Leitfaden gekennzeichnet sein. Fallen Ihrem betreuenden Assistenten in diesen Vorabversionen noch fehlende Quellenangaben auf, wird dieser dies an den **zuständigen Oberingenieur/Abteilungsleiter melden und die Korrektur von Vorabversionen an dieser Stelle beenden**. In diesem Fall sind Sie selbst dafür verantwortlich, dies in der gesamten Arbeit bis zur finalen Abgabeversion zu korrigieren und müssen zudem auf die Hinweise des Assistenten zur Verbesserung Ihrer schriftlichen Arbeit verzichten. Bewertet wird dann die abgegebene Arbeit. Werden vom betreuenden Assistenten in den Vorabversionen fehlende Quellenangaben übersehen, kann daraus in keiner Weise abgeleitet werden, dass damit diese Stellen gebilligt sind. Von Relevanz für die Bewertung ist nur die Endfassung mit der von Ihnen unterzeichneten Erklärung.

**Finden sich in Ihrer finalen Abgabeversion dennoch fehlende Quellenangaben, so wird dies als Betrugsversuch gewertet und mit 5.0 als nicht bestanden bewertet.**

## Was sind alles Quellen und was ist davon zitierfähig in meiner Abschlussarbeit?

Generell gilt hier, dass alle Stellen, an denen Sie sich auf Leistungen Dritter (Erkenntnisse, Daten, Ergebnisse, Graphiken, Bilder, …) stützen, kenntlich gemacht werden müssen. Zitierfähig ist hierbei strenggenommen alles, was veröffentlicht und dabei allgemein und dauerhaft zugänglich ist. Dementsprechend gibt es einige Grenzfälle wie elektronische Publikationen, bei denen beispielsweise die dauerhafte Speicherung unsicher ist. Ebenso sind Diplomarbeiten strenggenommen unveröffentlichte Prüfungsarbeiten und daher nur bedingt zitierfähig. Wenn Sie dementsprechend eine solche verhältnismäßig unsichere Quelle benutzen, was im Rahmen Ihrer Abschlussarbeit am ISEA zulässig und häufig auch nötig ist, ist es zwingend erforderlich, die genaue Bezugsquelle (URL mit Datum des Abrufs bzw. Bezugsmöglichkeit der Diplomarbeit, so diese nicht am ISEA entstanden ist) zu nennen. Auch Ergebnisse und Erkenntnisse aus Gesprächen mit Kollegen oder Dritten können verwendet werden, wenn sie kenntlich gemacht werden. Typischerweise wird im Literaturverzeichnis dann angegeben: [X] Max Mustermann, persönliche Kommunikation, xx.xx.xxxx (Datum). Gerade bei Internetquellen ist es zudem zwingend erforderlich, die Quellen einer kritischen Prüfung zu unterziehen, sprich genau auf Richtigkeit, Vollständigkeit und Objektivität usw. zu untersuchen [1].

Lesen Sie diese Anleitung gut durch. Sie bestätigen die Aushändigung dieser Unterlagen durch Unterschrift bei der Anmeldung zur Abschlussarbeit in unserem Sekretariat.

## Kennzeichnung der Zitatstellen im Text

Zitate können entweder wörtlich (=direkt) oder sinngemäß (=indirekt) erfolgen. **Unabhängig von dieser Einordnung ist jedes Zitat unmittelbar durch einen Hinweis (vgl. Abschnitt** Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) zu kennzeichnen.** Die Besonderheiten der beiden Zitierformen sind im Folgenden genauer erläutert. **Bei übernommenen Bildern, ist ebenfalls eine Quellenangabe direkt in der Bildunterschrift anzugeben.**

### Direktes Zitat

Unter einem wörtlichen Zitat versteht man die vollständige oder teilweise wörtliche Übernahme aus einer anderen Veröffentlichung. Diese ist durch Anführungs- („) und Abführungszeichen (“) und hinter dem Zitat kenntlich zu machen, um klar zu Kennzeichen, was noch zum Zitat gehört.

*Beispiel 1:*

Gemäß Lorenz müssen wörtliche Zitate „*wortwörtlich und zeichengetreu* der Vorlage entsprechen, d.h. eine authentische Kopie der Vorlage darstellen“ [[1](#Kla13)].

Zeichengetreu heißt in diesem Zusammenhang, dass auch fehlerhafte/untypische Schreibweisen beibehalten werden und die Hervorhebungen (Kursiv, Fett etc.) ebenfalls wiederzugeben sind. Direkte Zitate können hierbei gekürzt werden, wenn dadurch der Sinn nicht verändert wird. Diese ausgelassenen Stellen sind durch drei eng gesetzte Punkte zu Kennzeichen (…), wie in Beispiel 2 dargestellt. Diese können nur entfallen, wenn die Auslassung zu Beginn des Zitates ist, also nur der hintere Satzteil übernommen wird (vgl. das vorangegangene Beispiel 1).

Längere direkte Zitate, die sich über mehrere Zeilen erstrecken, können als beidseitig eingerückter Text in kleinerer Schriftgröße mit kleinerem Zeilenabstand dargestellt werden. In diesem Fall können die Anführungs- und Abführungszeichen entfallen. Die Angabe der Zitatstelle bleibt aber auch bei einer derartigen optischen Kenntlichmachung zwingend notwendig.

*Beispiel 2:*

Wegen des schon oben erwähnten Gebots der Zeichentreue müssen im Original vorgefundene Textauszeichnungen genau so im Zitat wiedergegeben werden. Meistens verfügt man aber nicht über die satztechnischen Hilfsmittel des Originals und muss darum …zu Ersatzdarstellungen greifen [[1](#Kla13)].

Generell sollten Sie wörtliche Zitate möglichst sparsam einsetzen und nur an wirklich sinnvollen Stellen z.B. wenn Sie eine Aussage eines Fachmanns in Ihrer Motivation hervorheben wollen. Zudem sollte die Länge der wörtlichen Zitate begrenzt sein, d.h. Sie sollten keine halbe Seite am Stück einfach aus einer anderen Arbeit kopieren. Hier ist Ihre Aufgabe vielmehr das wirklich essentielle, also die Kernaussage aus dem Absatz zu extrahieren. Der Leser hat dann über die Quellenangabe ja bei Interesse die Möglichkeit sich die Theorie im Original detailliert durchzulesen. Die Herleitung von Zusammenhängen und Gleichungen in Ihrer Ausarbeitung sollte dabei dennoch so detailliert sein, dass ein Nachvollziehen der Grundidee auch ohne diese zusätzliche Literatur möglich ist.

### Indirektes Zitat

Beim sinngemäßen Zitieren, also der Wiedergabe des Inhalts einer Quelle in eigenen Worten, ist darauf zu achten, dass nicht sinnentstellend zitiert wird, d.h. dass die ursprüngliche Intention des Verfassers erhalten bleibt. Daher darf ein Zitat auch nicht vollkommen aus dem Kontext gerissen werden. Das sinngemäße Zitieren stellt den Hauptteil der Zitate im ingenieurwissenschaftlichen Bereich dar.

*Beispiel 3 (weitere Beispiele finden sich an den Zitatstellen in diesem Leitfaden):*

Indirekte Zitate sind genauso zu belegen, wie die direkte wörtliche Übernahme [[2](#Jel03)].

Bei widersprüchlichen Meinungen zu einem Thema (z.B. der Preisentwicklung eines Produkts in den kommenden Jahren), sollte zudem darauf geachtet werden, dass nicht zu einseitig zitiert wird um die eigenen Schlüsse zu stützen, sondern die Bandbreite aufgezeigt wird. Nur dies lässt einen Rückschluss auf die Signifikanz der Ergebnisse zu. Im Beispiel der Preisentwicklung heißt dies, dass bei unterschiedlichen verfügbaren Datensätzen z.B. in einer Optimierung nicht nur mit der für die eigene Berechnung günstigsten Preisentwicklung gerechnet werden darf, sondern auch aufgezeigt werden muss, welche Ergebnisse sich bei zugrunde legen eines anderen ebenfalls veröffentlichten Datensatzes ergeben würde.

Wenn Sie sich bei einer Herleitung insgesamt auf ein Grundlagenkapitel in einem Fachbuch oder ähnliches stützen, können Sie dies kenntlich machen, indem Sie am Anfang des betreffenden Abschnitts einen Verweis auf dieses Buch und Unterkapitel einfügen. Dies kann folgendermaßen geschehen: „Die Ausführungen im folgenden Abschnitt basieren auf XXX“. Auch hier gilt, dass die Herleitung auch ohne ein zusätzliches Studium der genannten Quelle nachvollziehbar bleiben soll. Prüfen Sie also einerseits genau, welcher Detailgrad für das Verständnis nötig ist und was Sie andererseits zusammenfassend wiedergeben können.

## Zitierweise

In den Vorlagen des ISEA sind bereits Vorlagen sowohl für die Referenz im Text, als auch für das Literaturverzeichnis gegeben. Diese stützen sich auf die Kurzzitierweise mit numerischem Index, also einer Referenz in eckigen Klammern im Text, wie Beispielsweise „[1]“. Im Literaturverzeichnis ist hierzu unter „[1]“ die entsprechende Quelle genauer benannt. Abweichend von der Kurzzitierweise mit numerischen Index können Sie auch die Zitierregeln nach dem Harvard System (siehe z.B. [[3](#Beh13)]) verwenden.

Wir empfehlen Ihnen jedoch, die vorgegebenen Einstellungen zu nutzen, um Fehler zu vermeiden. Unter Word empfiehlt es sich hierbei unter dem Reiter „Verweise“ mit dem Button „Zitat einfügen“, den numerischen Index im Text zu setzen, da dieser dann mit aktualisiert wird. Hier können auch die unterschiedlichen Quellenangaben durch „Neue Quelle hinzufügen…“ eingetragen werden, wobei Felder für die benötigten Angaben in Abhängigkeit vom durch Sie ausgewählten Quellentyp vorgegeben sind. Die Eingabemaske hierzu ist in Abbildung 4 dargestellt. In der LaTeX-Vorlage finden Sie ebenfalls eine entsprechende Anleitung.

Sollten Sie hiermit Schwierigkeiten haben, hilft man Ihnen sicherlich im Studentenlabor oder im Zweifelsfall auch der Betreuer weiter. Anhand dieser angelegten und verlinkten Quellen wird automatisch ein korrektes Literaturverzeichnis erstellt. Als allgemeine Hilfe für die korrekte Erfassung und Darstellung von Literaturquellen empfiehlt sich die Verwendung eine Literaturverwaltungsprogramms wie z.B. JabRef, Citavi oder Endnote.

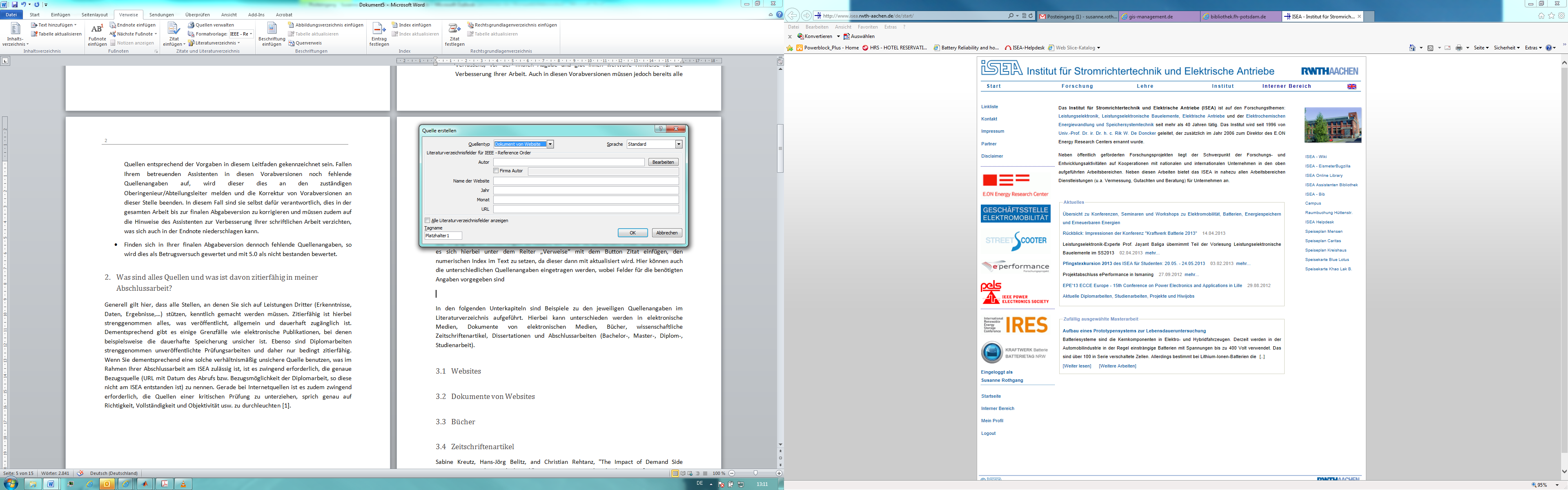


Abbildung Eingabemaske für Quellen in Word

In den folgenden Unterkapiteln sind Beispiele zu den jeweiligen Quellenangaben im Literaturverzeichnis aufgeführt. Hierbei kann unterschieden werden in elektronische Publikationen, Dokumente von Websites, Bücher, wissenschaftliche Zeitschriftenartikel, Dissertationen, Abschlussarbeiten (Bachelor-, Master-, Diplom-, Studienarbeit) und Vorlesungen.

### Websites

EnergieAgentur.NRW (2013, 29. April). Brennstoffzelle NRW. [Online]. <http://brennstoffzelle-nrw.de/>

### Dokumente von Websites

Klaus F. Lorenzen. (letzter Aufruf 2013, 29. April) Bibliothek FH Potsdam. [Online]. [http://bibilothek.fh-potsdam.de/fileadmin/fhp\_bib/dokumente/Schulungen/wissenschaftliches \_Arbeiten/Zitieren\_Lorenzen.pdf](http://bibilothek.fh-potsdam.de/fileadmin/fhp_bib/dokumente/Schulungen/wissenschaftliches%20_Arbeiten/Zitieren_Lorenzen.pdf).

### Bücher

Jele Harald, *Wissenschaftliches Arbeiten: Zitieren*., 1. Auflage, München: Oldenbourg, 2003.

### Zeitschriftenartikel

J. Vetter et al., “Ageing mechanisms in lithium-ion batteries”, *J. of Power Sources*, H. 147, S. 269-281, 2005.

Die korrekten Abkürzungen der Fachzeitschriften finden Sie Beispielsweise unter <http://scieng.library.ubc.ca/coden/>. Zudem ist es beispielsweise bei IEEE möglich, direkt die Literaturangabe als BibTeX herunterzuladen.

## Dissertationen

Dissertationen haben eine ISBN Nummer und werden meist in gedruckter Form veröffentlicht. Sie können dementsprechend wie reguläre Bücher angegeben werden. Bei internen, gegebenenfalls noch nicht gedruckten Arbeiten:

Jochen Bernhard Gerschler, „Bestimmung der anisotropen Wärmeleitfähigkeit von Lithium-Ionen Zellen unter spezieller Berücksichtigung der Batteriealterung“, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen, Dissertation 2012.

## Abschlussarbeiten

O. Klawikowski, „Messdatenerfassung für Brennstoffzellenserienhybridbusse“, Bachelorarbeit, ISEA, RWTH Aachen, 2011.

## Vorlesungen

Prof. Dr. rer. nat. Dirk Uwe Sauer, Batteriespeichersystemtechnik, 2012, Vorlesung RWTH Aachen.

## Schlussbemerkung

Wir hoffen Ihnen hiermit einen verständlichen Leitfaden für die Erstellung Ihrer Abschlussarbeit an die Hand gegeben zu haben. Für Ihre Arbeit wünschen wir Ihnen **viel Erfolg**!

# Literaturverzeichnis

x

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Klaus F. Lorenzen. (2013, April) Bibliothek FH Potsdam. [Online]. <http://bibliothek.fh-potsdam.de/fileadmin/fhp_bib/dokumente/Schulungen/wissenschaftliches_Arbeiten/Zitieren_Lorenzen.pdf> |
| [2] | Jele Harald, *Wissenschaftliches Arbeiten: Zitieren*. München: Oldenbourg, 2003. |
| [3] | Franz-Josef Behr. (2013, April) GIS Management. [Online]. <http://www.gis-management.de/downloads/Zitieren.pdf> |
| [4] | FZ Sonick. (2011) [Online]. <http://www.fzsonick.com/uploads/scheda_tecnica_Zebra_Sonick.pdf> |
| [5] | Gerhard Angerer, Frank Marscheider-Weidemann, Matthias Wendl, and Martin Wietschel, "Lithium für Zukunftstechnologien," Karlsruhe, 2009. |
| [6] | Marian Klobasa, Carlo Obersteiner, Mario Ragwitz, and Hans Auer. (2006, Juni) Strategies for an efficient integration of wind power considering demand response. [Online]. <http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-454656.pdf> |
| [7] | F. Crotogino and R. Hamelmann, "Wasserstoff-Speicherung in Salzkavernen zur Glättung des Windstromangebots," in *14. Stralsunder Symposium "Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik"*., 2007. |
| [8] | [Online]. <http://www.gravitypower.net> |
| [9] | Eduard Heindl. [Online]. <http://www.eduard-heindl.de> |
| [10] | Michael Sterner, *Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems*. Kassel: kassel university press, 2009. |
| [11] | Michael Specht and Michael Sterner, "Specht et al, 2010," *IRES 2009*, 2010. |
| [12] | Christian Rehtanz and Johannes Rolink, "Charging Systems for a Sustainable Integration of Electric Vehicles," *European Conference Smart Grids and Mobility*, 2009. |
| [13] | Serafin von Roon and Thomas Gobmaier, "Demand Response in der Industrie - Status und Potenziale in Deutschland," Dezember 2010. |
| [14] | Sabine Kreutz, Hans-Jörg Belitz, and Christian Rehtanz, "The Impact of Demand Side Management on the Residual Load," *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES*, Oktober 2010. |
| [15] | W. Kempton, J. Tomic, S. Letendre, A. N. Brooks, and T. E. Lipman, "Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California," *Institute of Transportation Studies, University of California, Davis*, 2001. |
| [16] | Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, "Leistungsbilanz 2008," 2009. |
| [17] | Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, "Verkehr in Zahlen," 2010. |
| [18] | Andreas Bitschi and Klaus Fröhlich. Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ETH Zürich. [Online]. <http://www.eeh.ee.ethz.ch/uploads/tx_ethpublications/Bitschi_Thermoelektrische_Systeme_in_der_Stromerzeugung.pdf> |
| [19] | Florian Hannig et al., "Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie - Ableitung von Anforderungen an und die Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie," Fraunhofer ISE, Fraunhofer AST, VKPartner, 2009. |
| [20] | USGS. (2011) U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2011. [Online]. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lead/mcs-2011-lead.pdf> |
| [21] | Gerhard Angerer et al., "Rohstoffe für Zukunftstechnologien," IZT, Fraunhofer ISI, Stuttgart, 2009. |
| [22] | USGS. (2009) U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2009. [Online]. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vanadium/mcs-2009-vanad.pdf> |
| [23] | Benjamin Schott, "Lithium - begehrter Rohstoff der Zukunft," ZSW Ulm, 2010. |
| [24] | Christoph Kuhrt, "Operation of a 34 MW NaS battery system for a 51 MW wind farm," *3rd Internatioanl Renewable Energy Storage Conference*, 2008, 3rd International Renewable Energy Storage Conference. |
| [25] | Thomas Kunz, "Energiespeicher Riedl," *VBEW-Informationstag "Stromspeicher", Nürnberg*, 2011. |
| [26] | Christian Buck, "Vorratskammern für Strom," *Pictures of the Future*, 2009. |
| [27] | Fritz Crotogino, "Wasserstoff-Speicherung in Kavernen," *Pro H2-Technologie Forum 2011*, 2011. |

x