



Energiespeicher für Energy Harvesting Systeme

Tobias Letter¹, Fachbetreuer: Prof. Dr.-Ing. Dierk Schoen²

Anforderungen an die Energiespeicher für den Einsatz in Energy Harvesting Systemen

Quellen: [PKB+18], [NeDu19], [RBO+18]

Elektrische Anforderungen



- geringe Selbstentladung / Leckage
- hoher Lade- und Entladewirkungsgrad
- hohe Energie- und Leistungsdichte
- große Anzahl an Ladezyklen

Geometrische Anforderungen



- kompakte Abmessungen
- geringes Gewicht

Umwelteinflüsse



- Umgebungstemperatur
- Feuchtigkeit
- Vibrationen
- geringe Umweltbelastung

Ökologische Anforderungen



- hohe Zuverlässigkeit
- hohe Lebensdauer
- geringe Kosten (Herstellung und Verarbeitung)

Für Energy Harvesting Systeme relevante Speichertechnologien

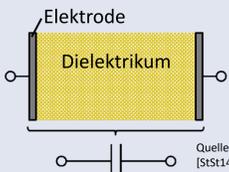
Kondensatoren

Elektrostatische Speicherung:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \cdot U^2$$

E = Energie
 C = Kapazität
 U = elektrische Spannung
 ϵ_0 = absolute Permittivität
 ϵ_r = relative Permittivität
 A = Fläche der Elektroden
 d = Abstand der Elektroden



Quelle: [StSt14]

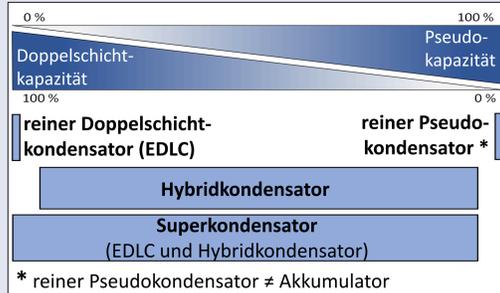
- am häufigsten eingesetzte Kondensatorart: **Elektrolytkondensatoren**

Quellen: [Stin19], [StSt14]

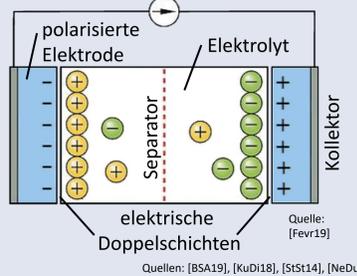
Doppelschicht- bzw. Superkondensatoren

Gesamtkapazität eines Superkondensators

= **Doppelschichtkapazität** (elektrische bzw. Helmholtz-Doppelschicht) + **Pseudokapazität** (chemische Reaktionen)



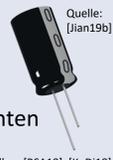
- bilden mit ihren Eigenschaften den Übergang zwischen Kondensatoren und Akkumulatoren
- **Superkondensatoren (Supercaps)** sind auch als **Ultrakondensatoren (Ultracaps)** oder **Goldcaps** bekannt



Quellen: [BSA19], [KuDi18], [StSt14], [NeDu19]

Lithium-Ionen-Kondensatoren:

- Hybridkondensator mit zwei unterschiedlichen Elektroden
- **Übergang zwischen EDLC und Lithium-Ionen-Akkumulator**
- geringere Leckage
- hohe Anzahl an Ladezyklen
- hohe Energie- und Leistungsdichten
- hohe Zuverlässigkeit



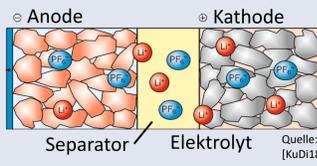
Quelle: [Jian19b]

Akkumulatoren

Elektrochemische Speicherung:

$$E = Q \cdot U$$

E = Energie
 Q = Ladung
 U = elektrische Spannung



Akkumulator	Zellspannung
Nickel-Cadmium (Ni-Cd)	1,35 V
Nickel-Metallhydrid (Ni-MH)	1,35 V
Nickel-Zink	1,73 V
Blei-Säure	2,1 V
Lithium-Schwefel ³	2,24 V
Lithium-Luft ³	3 V
Li-Eisenphosphat ¹	3,2 V
Li-Mangandioxid ^{1/2}	3,5 V
Li-Kobaltdioxid ^{1/2}	3,7 V
Festkörperakkumulatoren	3,9 V

- am häufigsten eingesetzte Akkumulatoren: **Li-Ionen-Akkumulatoren**

¹ Lithium-Ionen-Akkumulator
² Lithium-Polymer-Akkumulator (LiPo)
³ Forschungsansätze

Quellen: [Stin19], [KuDi18], [StSt14], [LiPo18], [Digi16]

Festkörperakkumulatoren:

- feste Elektrolyte und Elektroden
- Elektrolyt: meist LiPON
- im Vergleich zu Li-Ionen-Akkumulatoren wesentlich höhere Sicherheit, geringere Selbstentladung, längere Lebensdauer und geringere Lade-/Entladezeit

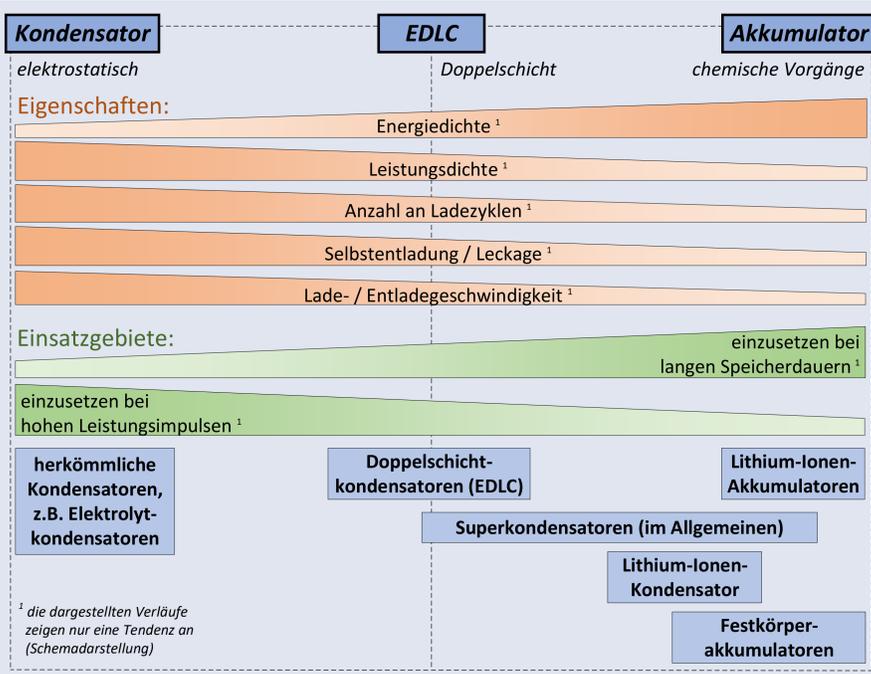


Quelle: [Demb13]

Quellen: [KuDi18], [Digi16], [Demb13]

Vergleich der Energiespeicher

Einordnung und schematischer Vergleich



¹ die dargestellten Verläufe zeigen nur eine Tendenz an (Schemadarstellung)

Vergleich der relevanten Eigenschaften

	(Al-) Elektrolyt-kondensator	Doppelschicht-kondensator	Lithium-Ionen-Kondensator	Festkörperakkumulator	Lithium-Ionen-Akkumulator
Energiedichte [Wh/kg]	0,01 - 0,3	1 - 8	10 - 25	bisher ähnlich den Lithium-Ionen-Akkus mit Potential zu höheren Werten	50 - 250
Leistungsdichte [W/kg]	> 100 000	< 10 000	ca. 30 000		< 1 000
Zellspannung	ca. 3 - 600 V	ca. 2,7 V	ca. 4,0 V	ca. 3,9 V	ca. 3,2 - 3,7 V
Anzahl Ladezyklen	unbegrenzt	> 500 000	> 500 000	ca. 5000	1 000
Lade-/Entladewirkungsgrad	99 %	95 %	k. A.	k. A.	80 - 90 %
Lade-/Entladezeit	sehr schnell	schnell	schnell	langsam	sehr langsam
Selbstentladung	> 60 % pro Tag	ca. 15 % pro Monat	< 5% pro 2500 h	ca. 2 - 3 % pro Jahr	1 - 2 % pro Monat
Temperaturbereich	ca. -40 bis +105 °C	ca. -40 bis +65 °C	ca. -25 bis +60 °C	ca. -40 bis +65 °C	ca. -20 bis +60 °C
Sicherheit	Explosionsgefahr	hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit	hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit	gute thermische Stabilität; nicht brennbar; überladetolerant	Gefahr thermischen Durchgehens, Brandgefahr; Gefahr der Beschädigung durch Überlast oder Tiefentladung
Anmerkungen	ermöglicht hohe Leistungsimpulse	Kompromiss zwischen Kondensatoren und Akkumulatoren	Selbstentladung auch bei höheren Temperaturen konstant	teilweise SMD-bestückbar und Reflow-lötbar; kompakte Bauweise	Selbstentladung nimmt bei steigender Temperatur zu; enthält giftige Substanzen; Lithium-Vorkommen sind begrenzt
	[KuDi18], [NeDu19], [Stin19]	[Jian19], [KuDi18], [Stin19], [BSA19]	[BSA19], [Jian19], [KuDi18]	[Cymb16], [Demb13], [KuDi18], [RBS+19], [STMI14]	[KuDi18], [NeDu19], [Stin19], [StSt14], [Fevr19]

Literatur:

[BSA19] O. Björn, A. Schedlock und A. Albertsen: Welche Kondensatoren sich für die Energiespeicherung eignen - Alternative Speichermethoden, Ali-Electronics, 2019, <https://www.ali-electronics.de/weiche-kondensatoren-sich-fuer-die-energie-speicherung-eignen-8/>, Abruf am 27.12.2019

[Cymb16] Cymbet Corporation: EnerChip™ Bare Die - Rechargeable Solid State Bare Die Batteries 2016, <https://www.cymbet.com/wp-content/uploads/2019/02/DS-72-41-v6.pdf>, Abruf am 07.03.2020

[Demb13] K. Dembowski: Energiespeicher für Energy Harvesting - Solid-State-Akkus, Weka Fachmedien GmbH, 2013, <https://www.elektroniknet.de/elektronik/power/energiespeicher-fuer-energy-harvesting-99445.html>, Abruf am 09.02.2020

[Digi16] Digi-Key Electronics: Wiederaufladbarer Lithium-Feststoffdünnschicht-EnFilm™ EFL700A39 - Langlebige papierdünne Batterien von STMicroelectronics zur Versorgung der winzigen Technologien von Morgen Digi-Key Electronics, 2016, <https://www.digikey.de/product-highlight/s/stmicroelectronics/efl700a39-enfilm-rechargeable-battery>, Abruf am 16.02.2020

[Fevr19] P. Le Févre: Energiespeicherung der Zukunft - Die stille Kraft der Superkondensatoren, Weka Fachmedien GmbH, 2019, <https://www.elektroniknet.de/elektronik/power/die-stille-kraft-der-superkondensatoren-161449.html>, Abruf am 04.02.2020

[Jian19a] Jianghai Europe Electronic Components GmbH: Energy Capacitors - Engineered Solutions (Produktübersicht), Krefeld, 2019, https://jianghai-europe.com/wp-content/uploads/Energy-C-Broschuere_DIN-A4_webX.pdf, Abruf am 04.03.2020

[Jian19b] Jianghai Europe Electronic Components GmbH: Energy Capacitors - Radial Type (HBR BR Series), Krefeld, 2019, <https://jianghai-europe.com/wp-content/uploads/IE19-HBR-BR-Series.pdf>, Abruf am 03.04.2020

[KuDi18] P. Kurzweil und O. K. Dietlmeier: Elektrochemische Speicher: Superkondensatoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, Rechtliche Rahmenbedingungen, 2. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018

[LiPo18] LiPo Battery Co. Ltd: Lithium Polymer Batterie Wissen, 2018, <https://www.lithium-polymer-akkus.de/lithium-polymer-batterie-wissen/>, Abruf am 28.02.2020

[NeDu19] D. Newell und M. Duffy: Review of Power Conversion and Energy Management for Low-Power, Low-Voltage Energy Harvesting Powered Wireless Sensors, in: IEEE Transactions on Power Electronics, 2019, 34(10), S. 9794-9805, ISSN: 1941-0107, DOI: 10.1109/TPEL.2019.2894465

[PKB+18] M. Prauzek u.a.: Energy Harvesting Sources, Storage Devices and System Topologies for Environmental Wireless Sensor Networks: A Review, in: Sensors (Basel, Switzerland), 2018, 18(8), 2446, ISSN: 1424-8220, DOI: 10.3390/s18082446

[RBO+18] C. Rusu u.a.: Challenges for Miniaturised Energy Harvesting Sensor Systems, in: 2018 10th International Conference on Advanced Infocomm Technology (ICAIT), 2018, S. 214-217, DOI: 10.1109/ICAIT.2018.8686695

[RBS+19] S. Rahardian u.a.: Review of Solid-State Battery Technology Progress, in: 2019 6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), 2019, S. 310-315, DOI: 10.1109/ICEVT48285.2019.8993863

[Stin19] L. Stiny: Kondensatoren, in: L. Stiny: Passive elektronische Bauelemente: Aufbau, Funktion, Eigenschaften, Dimensionierung und Anwendung, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2019, S. 171-265

[STMI14] STMicroelectronics: EFL700A39 - EnFilm™ - rechargeable solid state lithium thin film battery, 2014, <https://www.mouser.com/datasheet/2/389/efl700a39-973897.pdf>, Abruf am 07.03.2020

[StSt14] M. Sterner und I. Stadler: Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2014

Kontaktinformationen:

- 1 Student der WBH
- 2 Dekan Fachbereich Ingenieurwissenschaften

Wilhelm Büchner Hochschule
Hilpertstraße 31
64295 Darmstadt