Histogramm-Verfahren für die Signalsaussteuerung bei der Impedanzspektroskopie für Fahrzeugbatterien

10k sample | 10 periods | lpha = 0.9

0.1% Sättigungsgrad

Tobias Frahm, Florian Rittweger, Thorben Schüthe, Karl-Ragmar Riemschneider Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Berliner Tor 7

— HAW — HAMBURG

DOI: 10.5162/sensoren2024/P13

Motivation

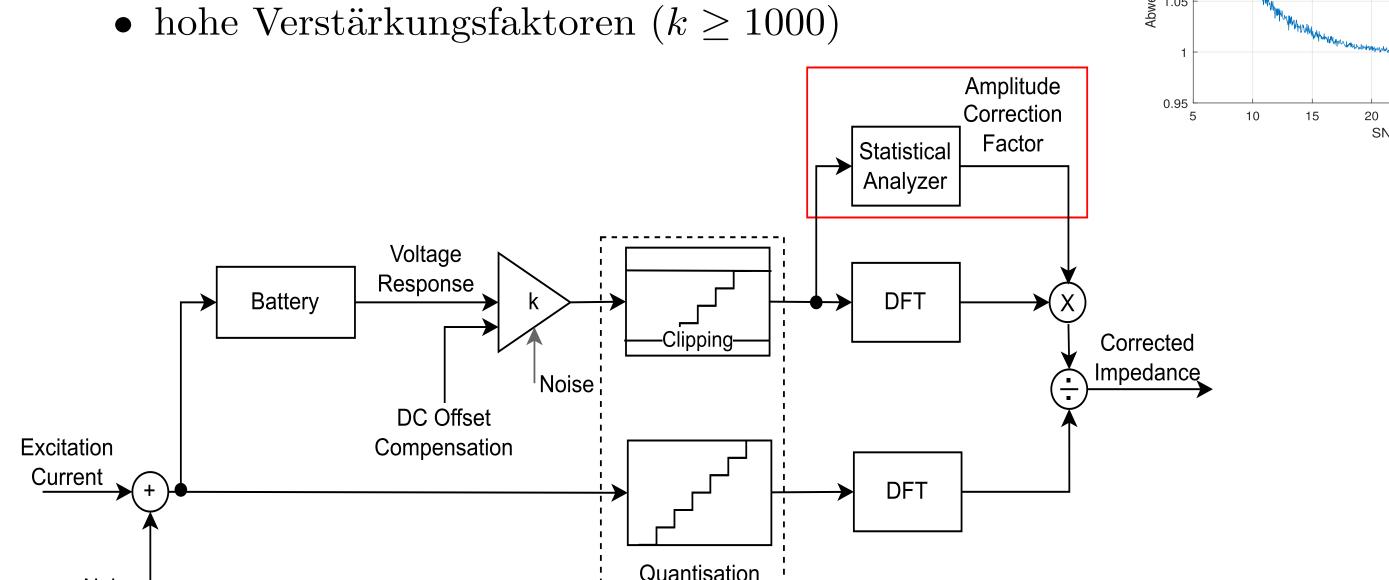
In Elektrofahrzeugen der nächsten Generation soll auch das Batterie-Management-System (BMS) weiter verbessert werden. Zu diesem Zweck gibt es das Bestreben, die im Labor etablierte Methode der Elektrochemischen Impedanzspektroskopie (EIS) einzusetzen. Mithilfe der EIS lassen sich wertvolle Informationen über den Zustand der Batteriezelle ableiten, hierzu gehören der aktuelle Ladezustand, die Zellalterung, die Leistungsprädiktion und die Innentemperatur. Im Fahrzeug werden die Batteriezellen mit niederfrequenten Wechselströmen angeregt, die an jeder Batteriezelle eine Spannungsantwort erzeugen. Aus dem Wechselstrom und der Spannungsantwort wird die Impedanz für ein Spektrum von Anregungsfrequenzen errechnet. In Elektrofahrzeugen werden Batteriezellen mit sehr geringem Innenwiderstand bis unter einem Milliohm eingesetzt. Zudem ist der Anregestrom aus Gründen der verfügbaren Energie und des Schaltungsaufwands limitiert. Der ADC benötigt hierfür einen analogen Vorverstärker. Weil Vorverstärkungsfaktoren in der Größenordnung von 1000 mitunter erforderlich sind, werden unter Praxisbedingungen starke Stör- und Rauscheinflüsse auftreten. In der Gesamtheit führt das zu einem Zielkonflikt. Entweder wird auf Signalauflösung verzichtet oder es wird ein Fehler durch teilweise Ubersteuerung des ADC unvermeidbar. Diese gegensätzliche Problematik besteht auch in anderen Anwendungn.

Systemkontext

• Fehleranfällige Impedanzberechnung durch Rauscheinflüsse und/oder (Teil-) Sättigung des ADC

• Stromanregung durch externe Quelle

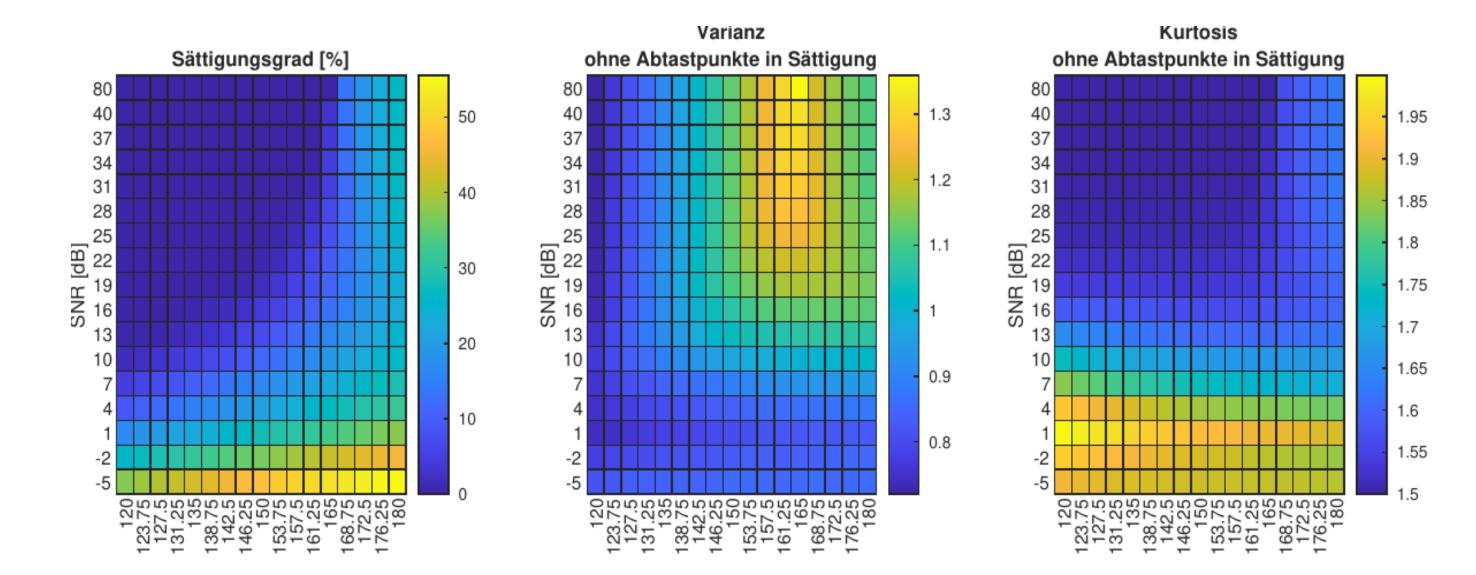
• schlechtes Rauschverhältnis



Ermittlung der Korrekturfaktoren

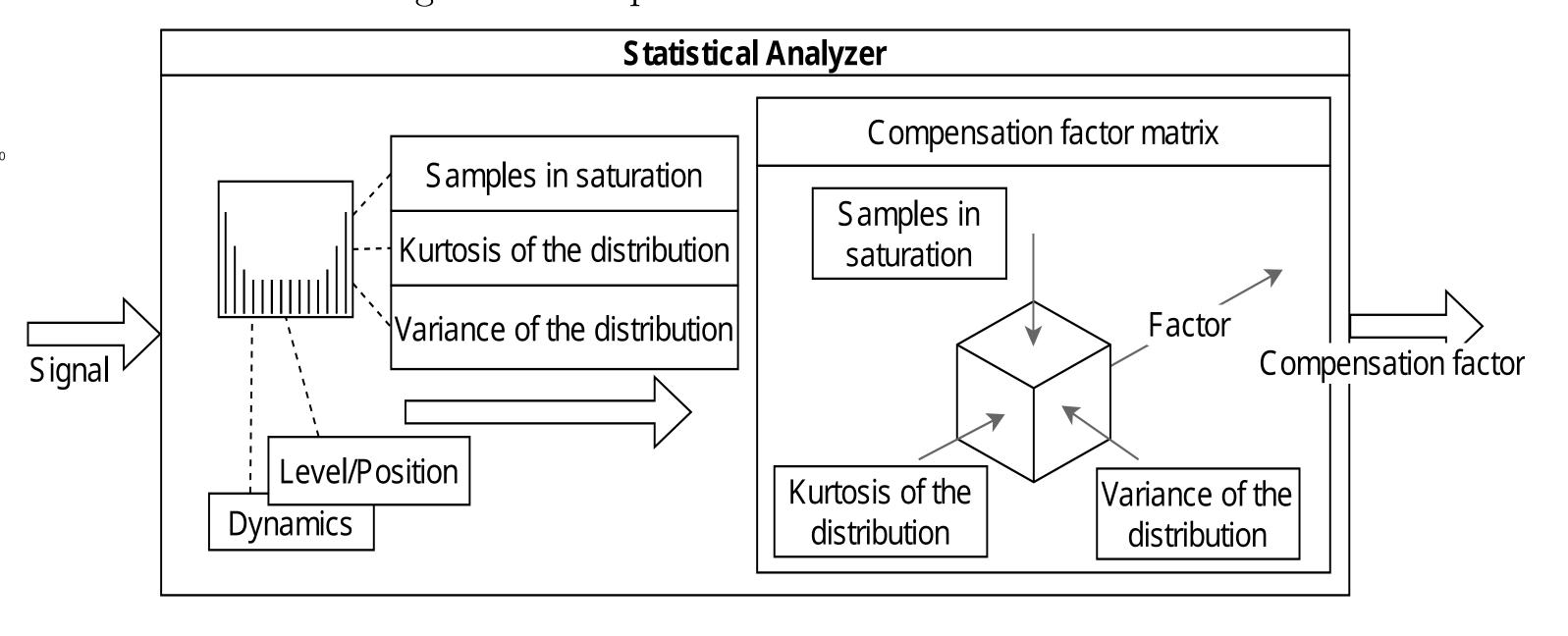
Der Zusammenhang der Korrekturfaktoren zeigt sich über den Störabstand und der Verstärkung des Signals:

- Datenpunkte in der Sättigung (Sättigungsgrad)
- Varianz $\sigma^2(u_{n,q}(t))$ der Verteilung der Abtastwerte
- Kurtosis $w(u_{n,q}(t))$ der Verteilung der Abtastwerte



Zuordnung der stochastischen Eigenschaften

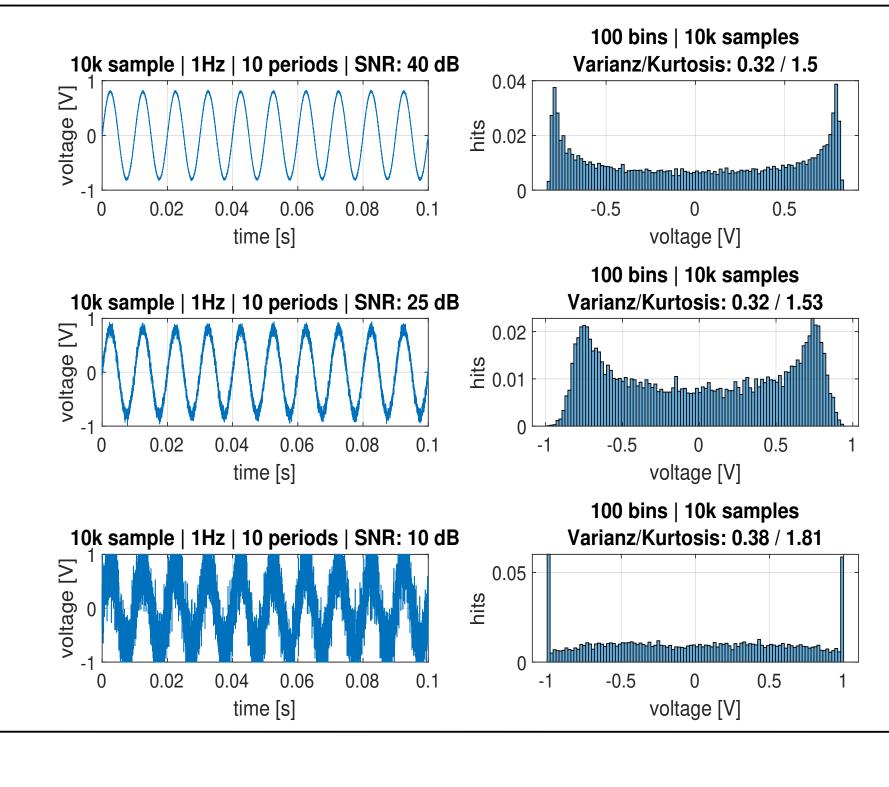
- 1. Ermittlung der stochasisten Eigenschaften durch Simulation für jede SNR/Verstärkung
- 2. Berechnung des Korrekturfaktors $AKF_{n,g} = \frac{|U_{Ref}(f_0)|}{|\hat{U}_{n,g}(f_0)|}$
- 3. Erstellung der LookUp-Tabelle



Statistische Analyse

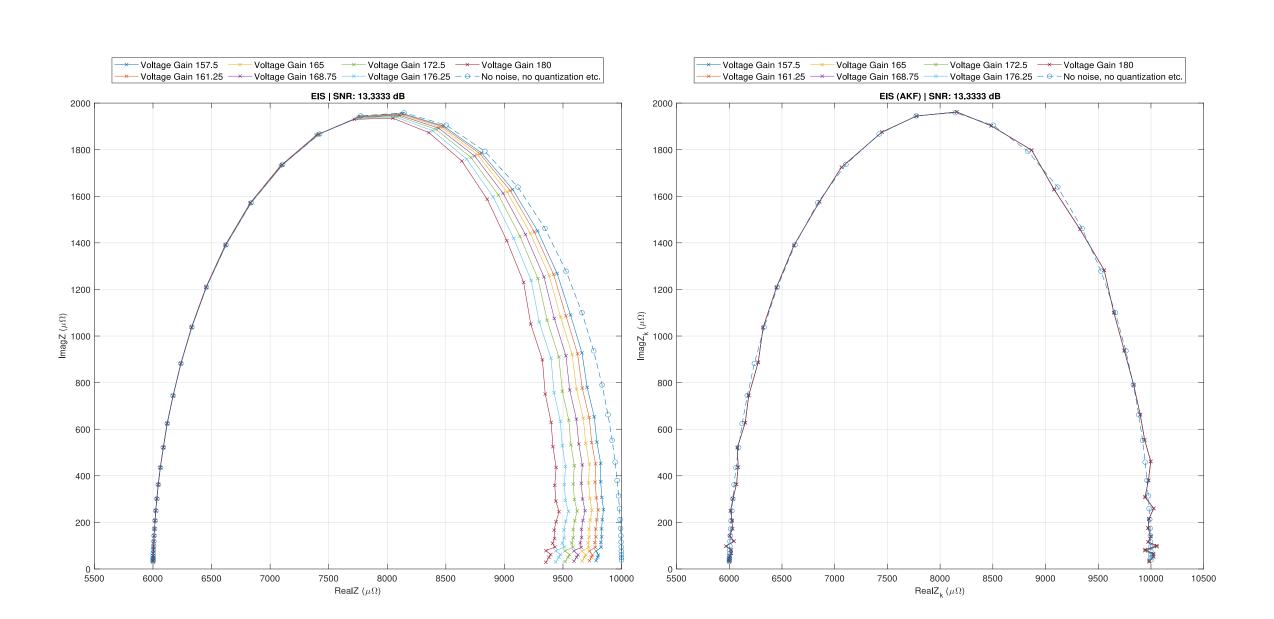
- Ausutzung der charakteristischen Verteilung des Signals
- Auswertung der stochastischen Eigenschaften des Signals
- Die Verteilung reagiert auf Verstärkung und Rauschen
 - Mit zunehmender Verstärkung erfolgt eine Verschiebung der Datenpunkte in den Randbereichen
 - Mit schlechterem Rauschverhältnis erfolgt eine Abflachung des Histogramms
- Bestimmung des Sättigungsgrads durch eine Histogrammauswertung

10k sample | 1Hz | 10 periods 100 bins | 10k samples no clippping | no noise Varianz/Kurtosis: 0.41 / 1.5 0.05 Measured Distrubution Beta Distribution time [s] voltage [V] 10k sample | 1Hz | 10 periods 100 bins | 10k samples partly clipped | no noise Varianz/Kurtosis: 0.4 / 1.63 time [s] voltage [V] 100 bins | 10k samples |Ok sample | 1Hz | 10 periods Varianz/Kurtosis: 0.32 / 1.8 full clipped | no noise 0.06 -0.5 0.5 voltage [V] time [s]

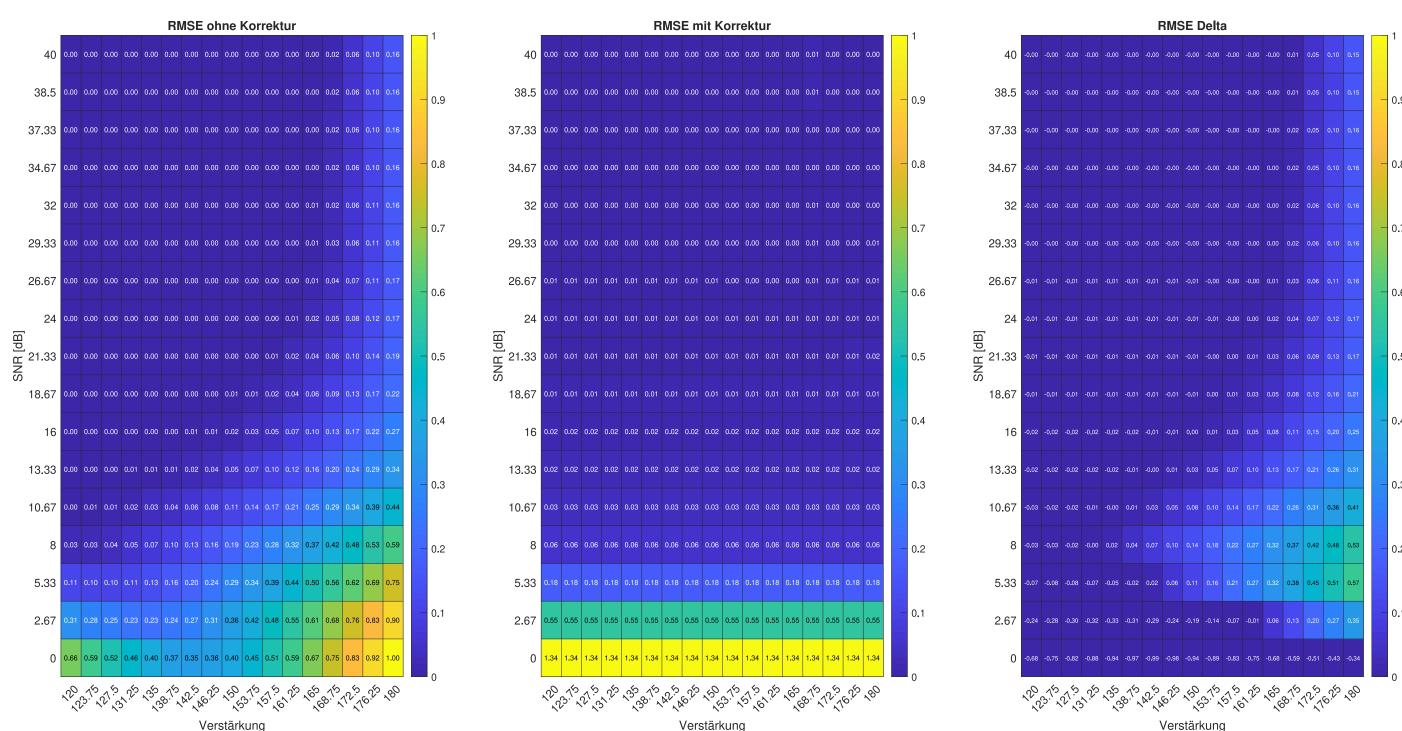


Ergebnisse

- Deutliche Verbessung des Impedanzspektrums
- Besonders wirksam bei schlechtem Rauschverhältnis und hohen Verstärkungsfaktoren
- Adaptive Anwendung sinnvoll (beispielsweise über den Sättigungsgrad)



- Besonders wirksam bei deutlich gesättigtem ADC
- Im gesamten Frequenzbereich einsetzbar (0.1Hz 10kHz)
- Auf eingebetteten Systemen mit begrenzten Ressourcen einsetzbar



Referenzen

[1] J. P. Schmidt, Verfahren zur Charakterisierung und Modellierung von Lithium-Ionen Zellen, Dissertation, Karlsruhe, KIT Scientific Publishing (2013) [2] Kohs, Alexander Batteriemodell zur Prädiktion des Gesundheitszustands von Lithium-Ionen-Batterien, Dissertation, Univ. Stuttgart, Springer (2022); doi: 10.1007/978-3-658-37679-6

[3] P. Keil und A. Jossen, Aufbau und Parametrierung von Batteriemodellen, 19. (2012); mediatum.ub.tum.de/doc/1162416/1162416.pdf

[4] V. Roscher. K.-R. Riemschneider. N. Sassano, Batterie-Zellensensoren

mit drahtloser Kommunikation und verteilter Signalverarbeitung, Automobil-

Sensorik, T. Tille, Hrsg., Springer, (2016); doi: 10.1007/978-3-662-48944-4_2

Elektro-Fahrzeugen in Automobil-Sensorik, T. Tille, Hrsg., Springer, (2018); Method Addressing Clipping Distortions and Frictional Noises in Electronic doi: 10.1007/978-3-662-56310-6_5 Riemschneider Synchronisation using wireless trigger-broadcast for impedance [10] A. D. C. Chan, J. R. Green, D.Maclsaac, G. D. Fraser, Detection of ADC

doi: 10.1109/sas.2015.7133608 DESIGN&ELEKTRONIK-Entwicklerforum Batterien & Ladekonzepte, München, [7] J. S. Abel, J. O. Smith, Restoring a clipped signal in Proc. IEEE ICASSP, tions Proceedings, (2012); doi: 10.1109/memea.2012.6226629 pp. 1745–1748, (1991); doi: 10.1109/icassp.1991.150655 [8] S.-K. Ting, A. H. Sayed, Mitigation of clipping in sensors IEEE International 295, (1993); doi: 10.1016/0370-1573(93)90022-6 tional Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 5934-5938, [12] R.S. Gamad, D.K. Mishra, Gain error, offset error and ENOB estimation (2013); doi: 10.1109/ICASSP.2013.6638803

[5] T. Hammerschmidt, J.P. Schmidt, Impedanzsensorik für Batteriezellen in [9] N. Zhou, J. Wang, B. Sun, R. Liu and N. Hu, The Automatic Repairing Stethoscope, IEEE 7th International Conference on Bioinformatics and Compu-[6] V. Roscher, M. Schneider, P. Durdaut, N. Sassano, S. Pereguda, E. Mense, K.R. tational Biology (ICBCB), pp. 195-199, (2019); doi: 10.1109/ICBCB.2019.8854669 spectroscopy of battery cells, IEEE SAS Sensors Applications Symposium (2015); clipping, quantization noise, and amplifier saturation in surface electromyography, IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applica-

[11] P. Jung, Periodically driven stochastic systems, Physics Reports, pp. 175of an A/D converter using histogram technique, Measurement, Volume 42, Issue

4, pp. 570-576, (2009); doi: 10.1016/j.measurement.2008.10.003

Förderung

Die Untersuchung entstand im Rahmen des Verbundprojekts ProMoBiS - "Progressive Multizell-Verbund-Konzepte für Batteriesysteme mit integrierter Sensorik". Das Forschungsprojekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms (Förderkennzeichen 03ETE046G) im Bereich "Energiewende im Verkehr" gefördert und vom Projektträger Jülich betreut.

