

# Histogramm-Verfahren für die Signalaussteuerung bei der Impedanzspektroskopie für Fahrzeugbatterien

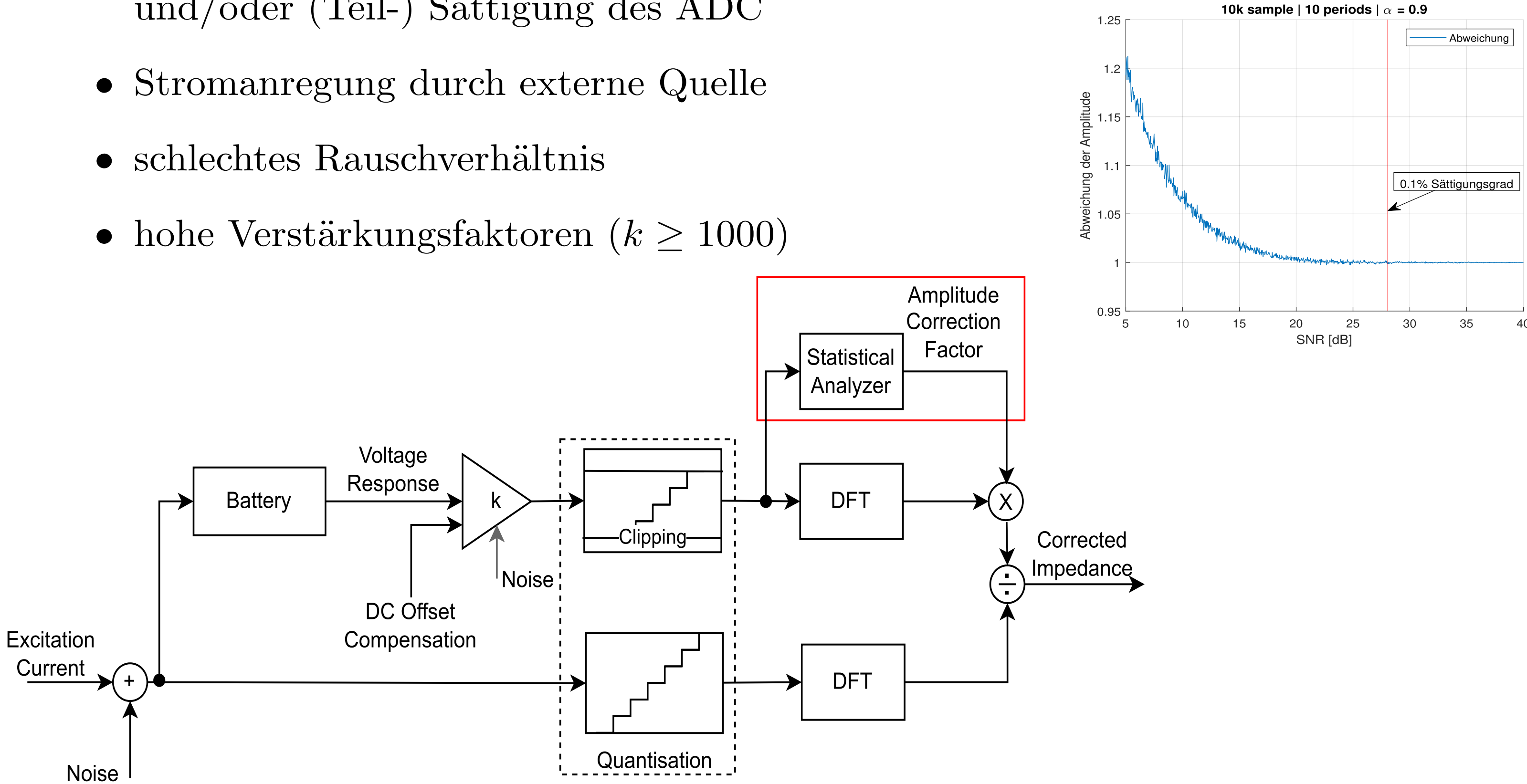
Tobias Frahm, Florian Rittweger, Thorben Schütthe, Karl-Ragnar Riemschneider  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Berliner Tor 7

## 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 Signalaufösung verzichtet oder es wird ein Fehler durch teilweise Übersteuerung des ADC unvermeidbar. Diese gegensätzliche Problematik besteht auch in anderen Anwendungen.

## Systemkontext

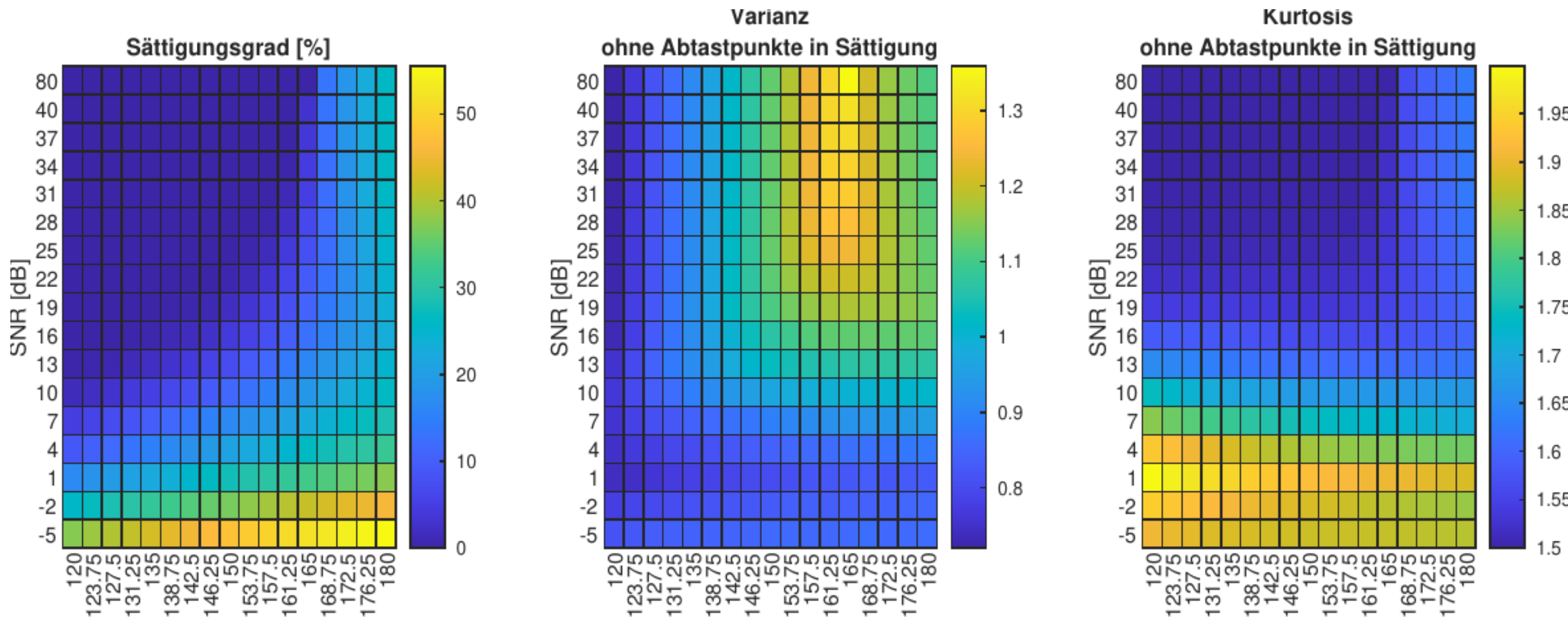
- Fehleranfällige Impedanzberechnung durch Rauscheinflüsse und/oder (Teil-) Sättigung des ADC
- Stromanregung durch externe Quelle
- schlechtes Rauschverhältnis
- hohe Verstärkungsfaktoren ( $k \geq 1000$ )



## Ermittlung der Korrekturfaktoren

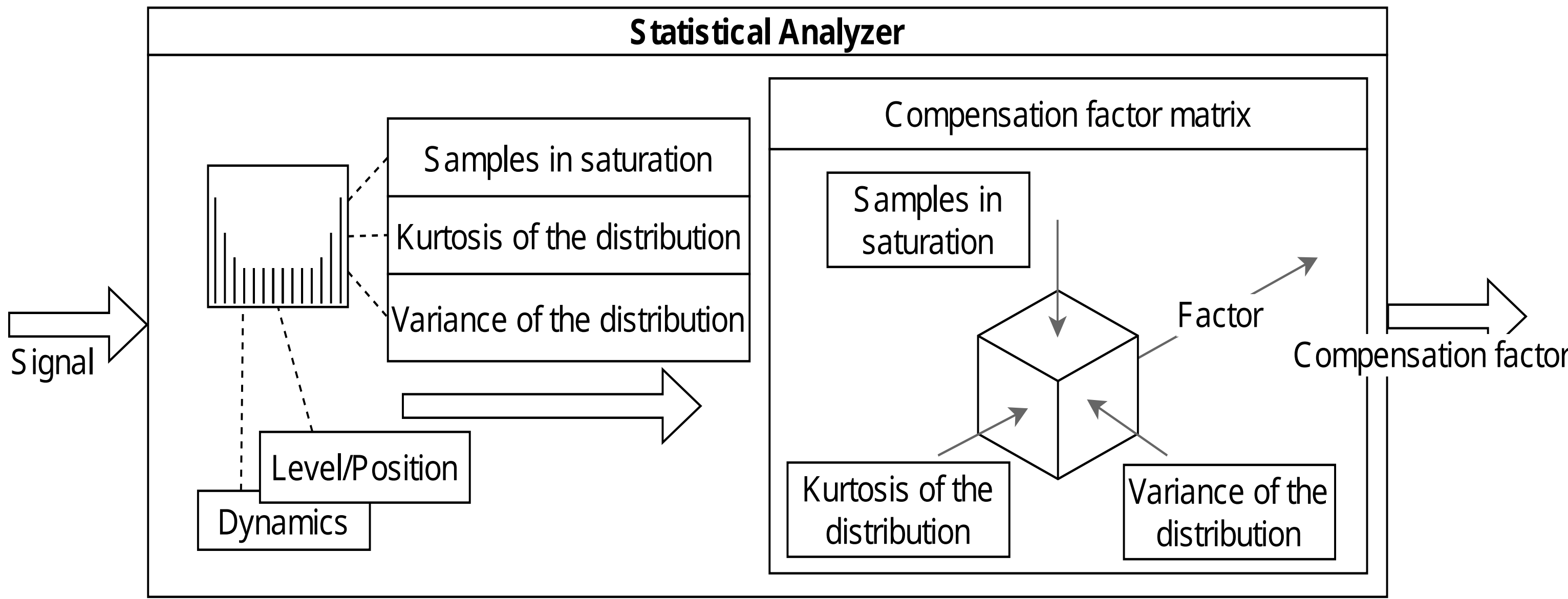
Der Zusammenhang der Korrekturfaktoren zeigt sich über den Störabstand und der Verstärkung des Signals:

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



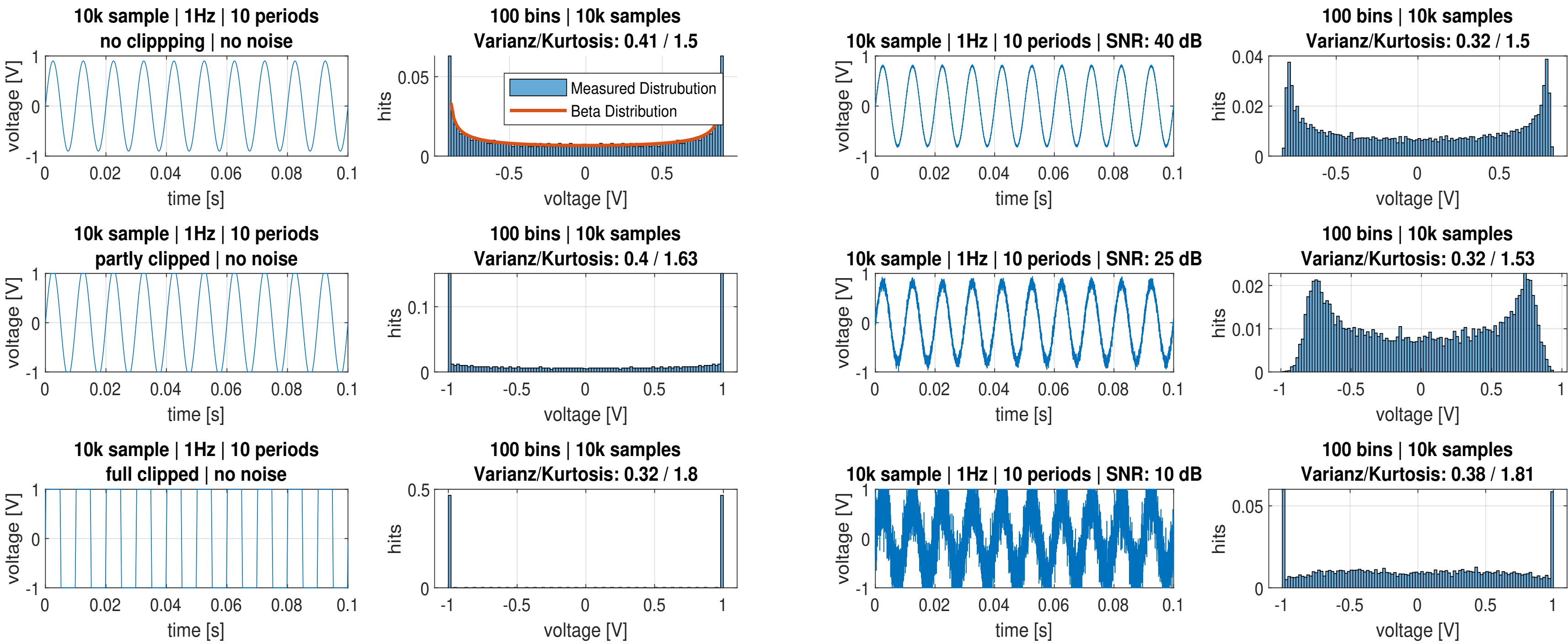
## Zuordnung der stochastischen Eigenschaften

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



## Statistische Analyse

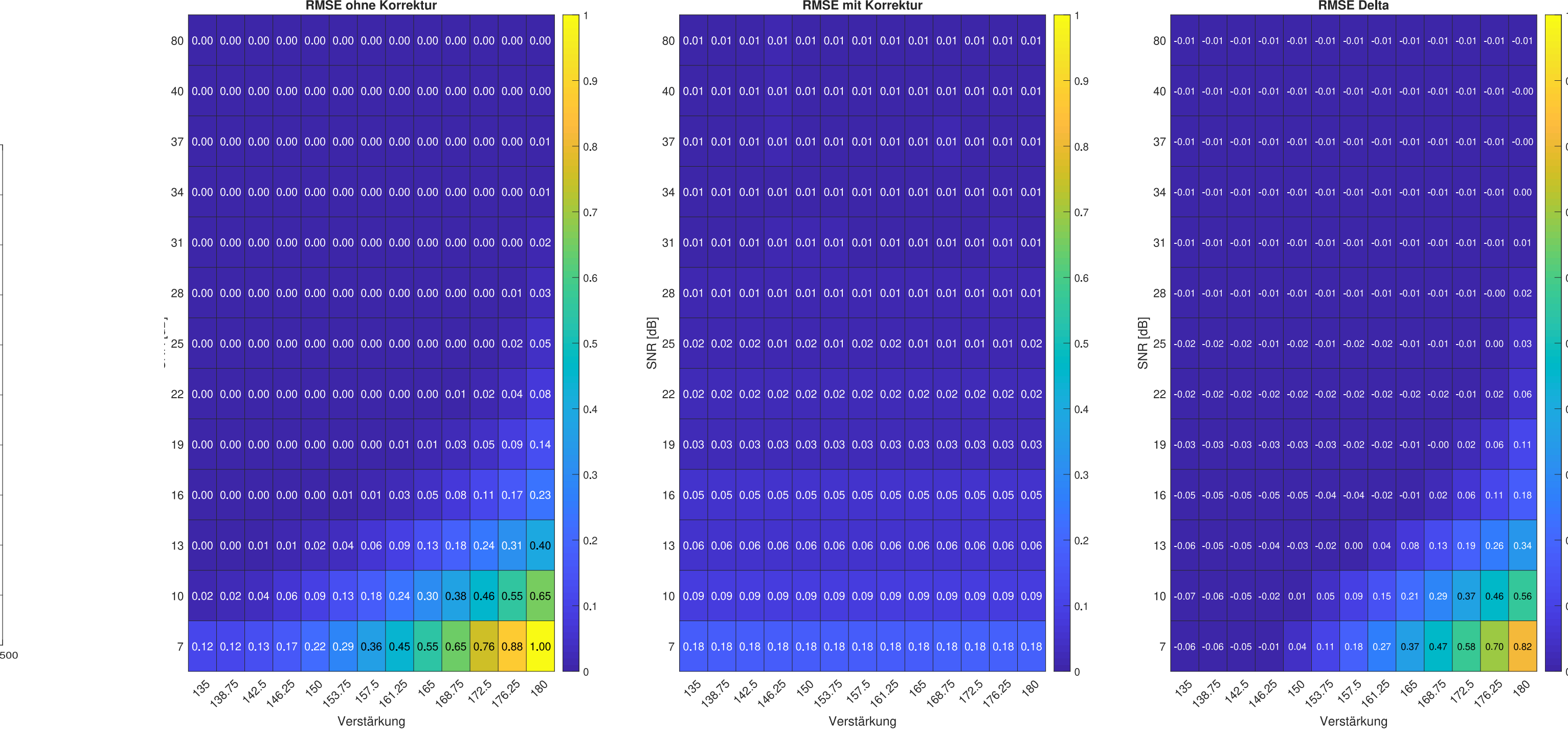
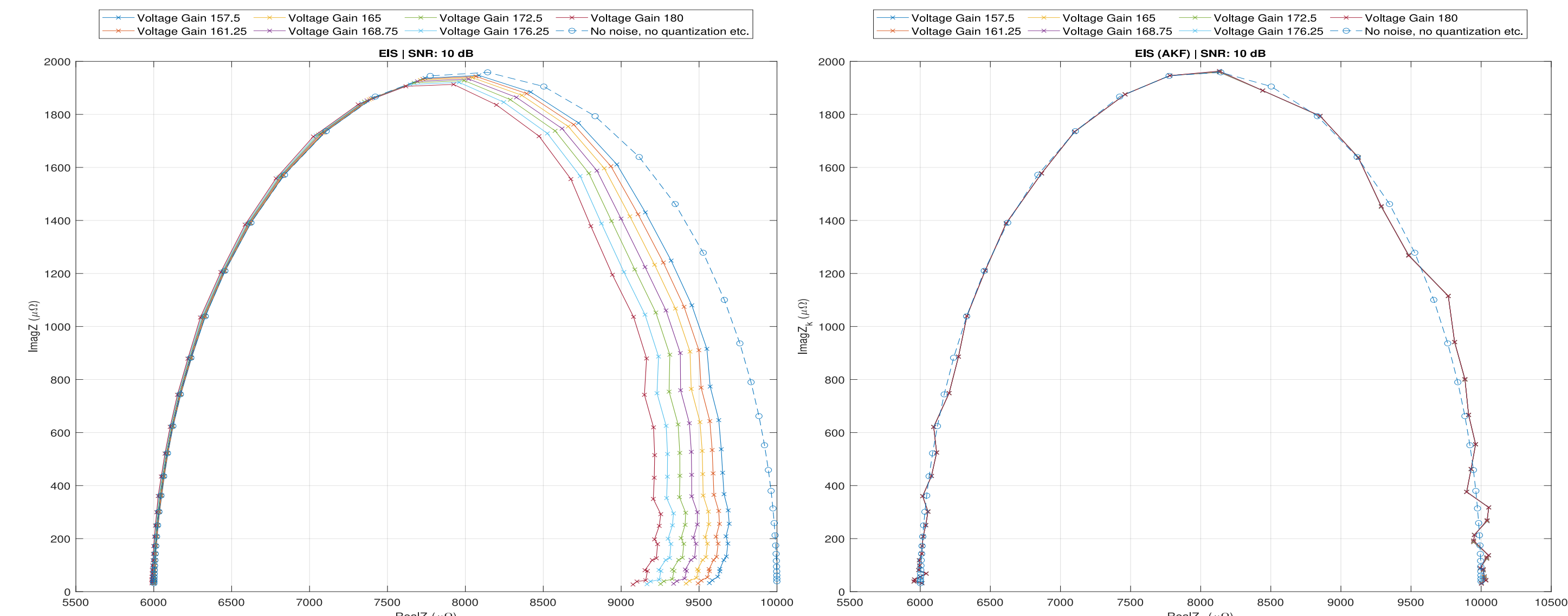
- Ausnutzung der charakteristischen Verteilung des Signals
- Auswertung der stochastischen Eigenschaften des Signals
- Die Verteilung reagiert auf Verstärkung und Rauschen
  - Mit zunehmender Verstärkung erfolgt eine Verschiebung der Datenpunkte in den Randbereichen
  - Mit schlechterem Rauschverhältnis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



## Ergebnisse

- Deutliche Verbesserung 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. Kell und A. Jossen, *Aufbau und Parametrierung von Batteriemodellen*, 19. DESIGNELEKTRONIK-Entwicklerforum Batterien & Ladekonzepte, München, (2012); mediatum.nib.tu-m.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

[5] T. Hammerschmidt, J.P. Schmidt, *Impedanzsensorik für Batteriezellen in Elektro-Fahrzeugen in Automobil-Sensorik*, T. Tille, Hrsg., Springer, (2018); doi: 10.1007/978-3-662-56310-6.5  
[6] V. Roscher, M. Schneider, P. Durdaut, N. Sassano, S. Pereguda, E. Mense, K.R. Riemschneider *Synchronisation using wireless trigger-broadcast for impedance spectroscopy of battery cells*, IEEE SAS Sensors Applications Symposium (2015); doi: 10.1109/sas.2015.7133608  
[7] J. S. Abel, J. O. Smith, *Restoring a clipped signal* in Proc. IEEE ICASSP, pp. 1745–1748, (1991); doi: 10.1109/icassp.1991.150655  
[8] S.-K. Ting, A. H. Sayed, *Mitigation of clipping in sensors* IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 5934–5938, (2013); doi: 10.1109/ICASSP.2013.6638803

[9] N. Zhou, J. Wang, B. Sun, R. Liu and N. Hu, *The Automatic Repairing Method Addressing Clipping Distortions and Frictional Noises in Electronic Stethoscope*, IEEE 7th International Conference on Bioinformatics and Computational Biology (ICBCB), pp. 195–199, (2019); doi: 10.1109/ICBCB.2019.8854669  
[10] A. D. C. Chan, J. R. Green, D. MacIsaac, G. D. Fraser, *Detection of ADC clipping, quantization noise, and amplifier saturation in surface electromyography*, IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Proceedings, (2012); doi: 10.1109/menea.2012.6226629  
[11] P. Jung, *Periodically driven stochastic systems*, Physics Reports, pp. 175–295, (1993); doi: 10.1016/0370-1573(93)90022-6  
[12] R.S. Gamad, D.K. Mishra, *Gain error, offset error and ENOB estimation of 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 03ETD046G) im Bereich "Energiewende im Verkehr" gefördert und vom Projektträger Jülich betreut.