

# Bio-Inspirierte Signalverarbeitung: Ein adaptiver Ansatz zur Datenakquisition

Anna Werzi

Mai 2023

## 1 Prolog

Mit diesem Exkurs in das Forschungsgebiet der Signalverarbeitung soll ein Teil zum interdisziplinären Austausch in der Studienstiftung PRO SCIENTIA beigetragen werden. Dafür wurde das Thema der Bachelorthesis für ein fächerübergreifendes Auditorium aufgearbeitet.

## 2 Einleitung

Die Natur war und ist der größte Inspirations-träger für unsere Technologien. Besonders in der Anpassungsfähigkeit an sich stetig ändernde Umwelteinflüsse kann von ihr gelernt werden. Auch in der Aufnahme, Filterung und Verarbeitung der kontinuierlichen Informationsflüsse werden von Ingenieur:innen und Forscher:innen biologische Prozesse stets als Vorbilder herangezogen. Der Mensch ist jede Sekunde einer Vielzahl an Informationen ausgesetzt. Alle Sinnesorgane nehmen ununterbrochen Signale auf, die anschließend verarbeitet werden müssen. Hier findet ein automatischer Selektions- und Aufmerksamkeitsshift statt [3]. Blickt man zum Beispiel in eine unbewegte Kulisse in der eine plötzliche Änderung auf-

tritt, wird die Aufmerksamkeit und damit sämtliche Verarbeitungsressourcen sofort auf die Änderung dieser Umgebungseinflüsse gelegt. Genau dieses Ziel verfolgt das Prinzip der eventbasierten Abtastung. Daten sollen genau dann aufgenommen werden, wenn Änderungen auftreten, die Informationen bringen. In der vorgestellten Arbeit geht es im Speziellen um die Entwicklung eines digitalen Hardwaredesigns für einen Analog-Digital-Umsetzer nach diesem Prinzip. Durch eine weitere adaptive Anpassung an das aufzunehmende Signal soll dieser eine speicher- und energieeffizientere Lösung zu anderen Verfahren bieten.

### 3 Analog-Digital-Umsetzung

In unserer Umgebung treten Signale zumeist in analoger Form auf. Sprachsignale, Messdaten, wie Luftfeuchtigkeit oder die Raumtemperatur, all diese Werte werden als wert- und zeitkontinuierliche Signale klassifiziert. Dies bedeutet eine beliebig genaue Auflösung im Wert zu jedem Zeitpunkt. Um diese Signale digital verarbeiten zu können, muss eine Diskretisierung in beiden Domänen stattfinden. Mit diesem Schritt wird es möglich die Daten in endlicher Zeit und mit endlichen Speicherkapazitäten weiterzuverarbeiten. Die digitale Verarbeitung bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten. Von der Filterung, zum Extrahieren von Informationen oder der Unterdrückung von Störungen, über die Speicherung bis hin zur Komprimierung sind die Verarbeitungsschritte breit gefächert. Der häufigste Ansatz für die benötigte Umwandlung ist jener der äquidistanten Abtastung in  $T$  Zeitschritten

(Shannon-Abtastung) und einer Quantisierung über konstante Wertstufen, wie in Abbildung 1 gezeigt. Betrachtet man Signale, die eine hohe Bandbreite und damit sowohl schnelle als auch langsame Änderungen aufweisen. Erkennt man, dass das Signal in den statischen Bereichen überabgetastet wird. Beobachten kann man dies anhand eines Echokardiogramms (EKG). Hier sind die Ausschläge und deren Abstände die Kerninformation um etwaige Arrhythmien oder die Herzfrequenz zu erkennen. Das Grundrauschen in den Ruhephasen weist eine geringe Relevanz auf. Mit den äquidistanten Abtastschritten liegt der Großteil der zu speichernden und zu verarbeitenden Datenpunkte genau in diesem Bereich, wie in Abbildung 2 zu erkennen ist. Hier soll die eventbasierte Abtastung und damit eine Adaption an das aufgenommene Signal Abhilfe schaffen.

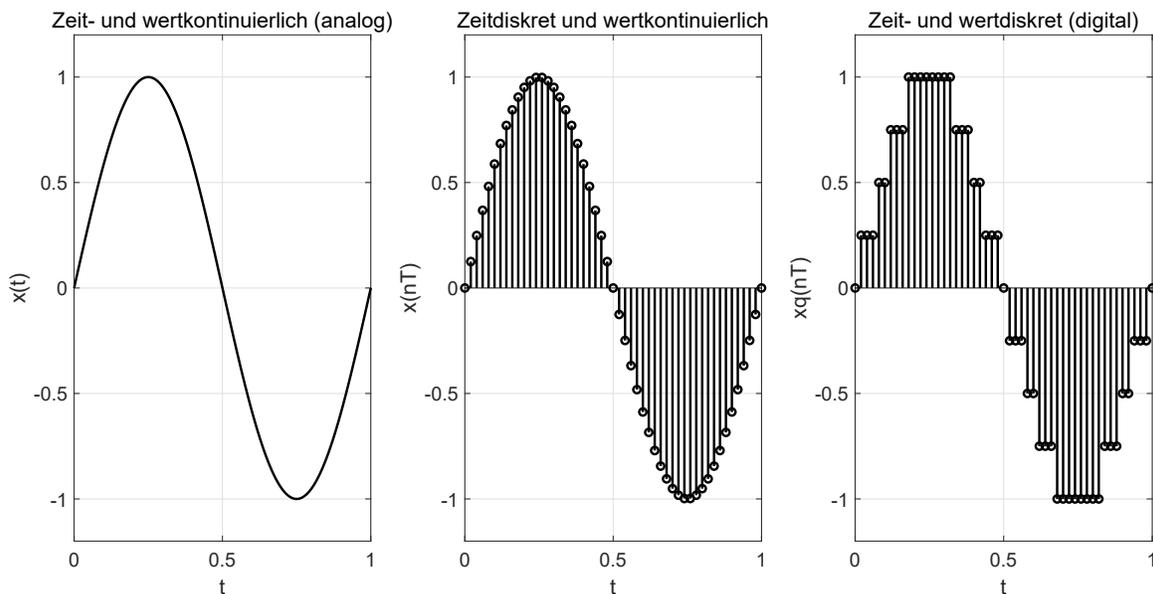


Abb. 1: Analog-Digital-Konvertierung

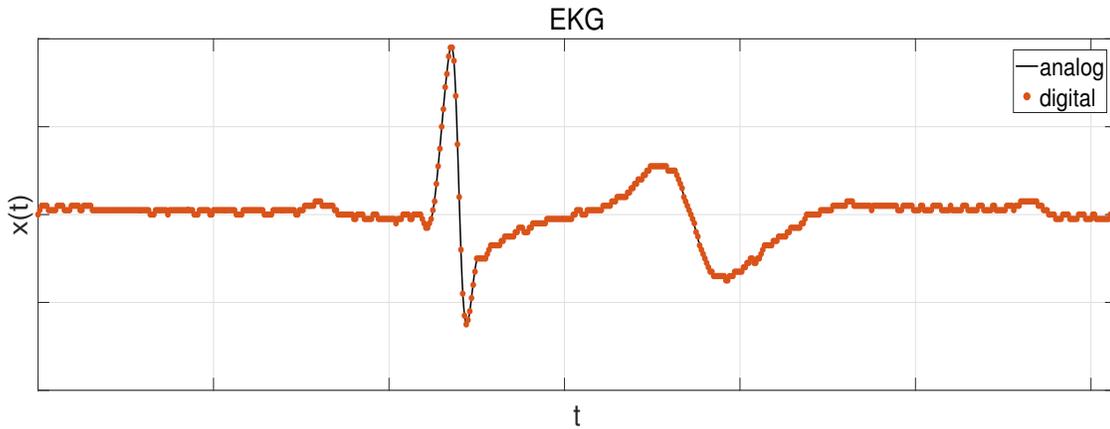


Abb. 2: Äquidistant abgetastetes EKG-Signal

## 4 Eventbasierte Abtastung

Ein Ansatz für die eventbasierte Abtastung erfolgt schwellenbasiert (en. Threshold Based Sampling, Abb. 3). Dabei werden zwei Spannungsreferenzen mit dem Signal bei jedem Über- oder Unterschreiten mitgeführt und ein Datenpunkt bei diesem Event als vorzeichengewichteter Zeitstempel gespeichert (Send-On-Delta Prinzip). Anhand dieser Informationen und der Fensterbreite  $\theta$  kann das Signal über ein kumulatives Aufsummieren rekonstruiert werden. Anders als beim quantisierten Abtasten ist hier die Spannung zum Abtastzeitpunkt bekannt.

Um die Abtastwerte weiter zu reduzieren wird das Schwellenwertfenster  $\theta$  in einem weiteren Ansatz basierend auf der Signaländerung skaliert (en. Adaptive Threshold Based Sampling). Steigt das Signal stark an wird  $\theta$  vergrößert und im statischen Bereich verkleinert. Dafür werden die Datenpunkte über ein Zeitfenster aufsummiert und der Durchmesser mit Hilfe der Weyl's Diskrepanz berechnet [2]. Mit dem Durchmesser wird sich hier auf den Abstand zwischen minimaler und maximaler Amplitude bezogen, der als Indikator für die Signaländerungsrate dient.

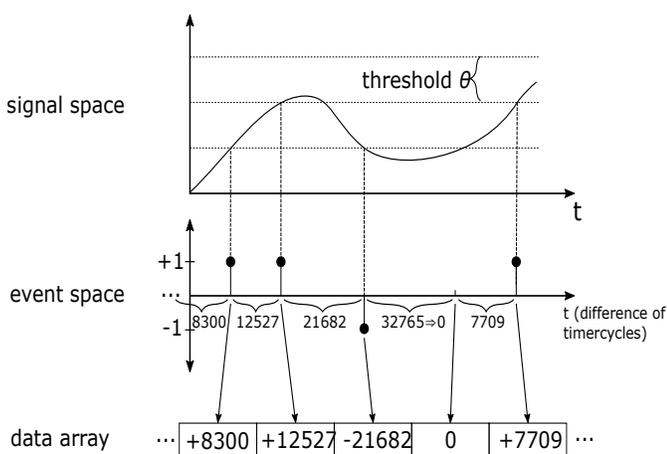


Abb. 3: Schwellenbasiertes Abtastverfahren, m.E[1]

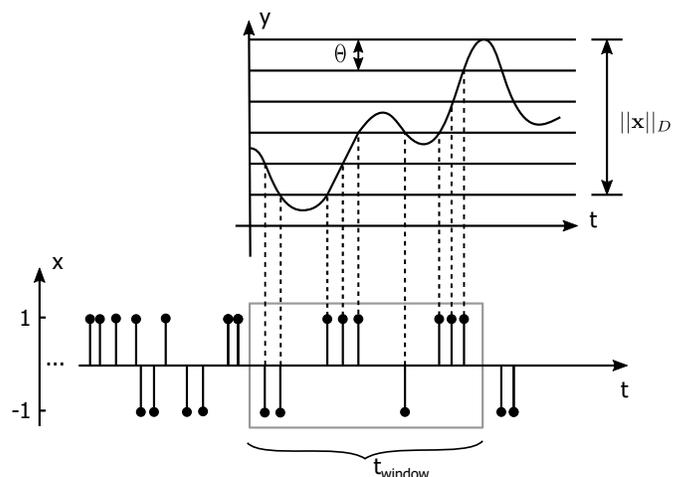


Abb. 4: Adaptive Erweiterung zu Abb. 3

In Abbildung 5 wird eine Periode einer Sinuskurve nach beiden Prinzipien abgetastet. In diesem Beispiel zeigt sich durch die breiteren Schwellwerte im steileren Nulldurchgangsbereich bereits eine Reduktion der Datenpunkte um 65%. Es sei angemerkt, dass die Abtastwerte zu den Abtastzeitpunkten den Signalwerten entsprechen. In der praktischen Umsetzung wird die Genauigkeit über die Präzision der adaptierten Vergleichswerte bestimmt.

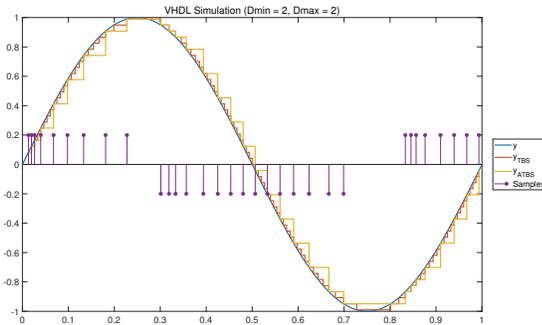


Abb. 5: Schwellwertstufen mit konstanter und variabler Fensterbreite

## 5 Prototypentwicklung

Im Unterschied zu den in [4] vorgestellten Implementierungen, beruht der Prototyp in dieser Arbeit zum Großteil auf einem Digitaldesign. Das bedeutet, dass anstelle mit analogen Spannungspegeln mit binären ('1' ein, '0' aus) gearbeitet wird. Dadurch können über logische Verknüpfungen alle Funktionen von der Steuerung über Berechnungen bis hin zur Speicherung und Übertragung implementiert werden. Funktionalitäten, die im Analogdesign nur schwer oder unter hohem Bauteilaufwand möglich sind. Abbildung 7 zeigt den Designablauf einer Architektur, die auf einem sogenannten Field Programmable Gate Array (FPGA) implementiert wird.

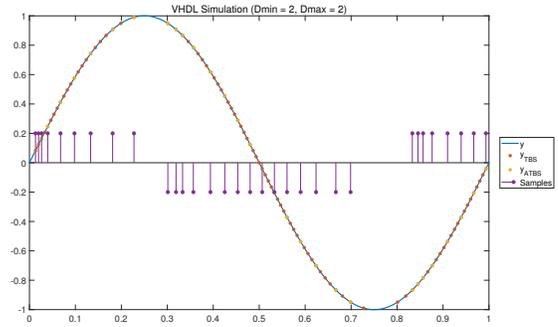


Abb. 6: Abtastwerte mit konstanter und variabler Fensterbreite

Obwohl ein Sinussignal, wie bereits motiviert, nicht der Hauptkandidat für ein eventbasiertes Abtastsystem ist, können bereits hier signifikante Einsparnisse bei einer Fehlerrate im gleichen Größenbereich erreicht werden, wie der Prototyp aus [1] zeigt. Das EKG Signal wurde im Vergleich zum äquidistanten Abtasten aus knapp 20% der Abtastwerte rekonstruiert.

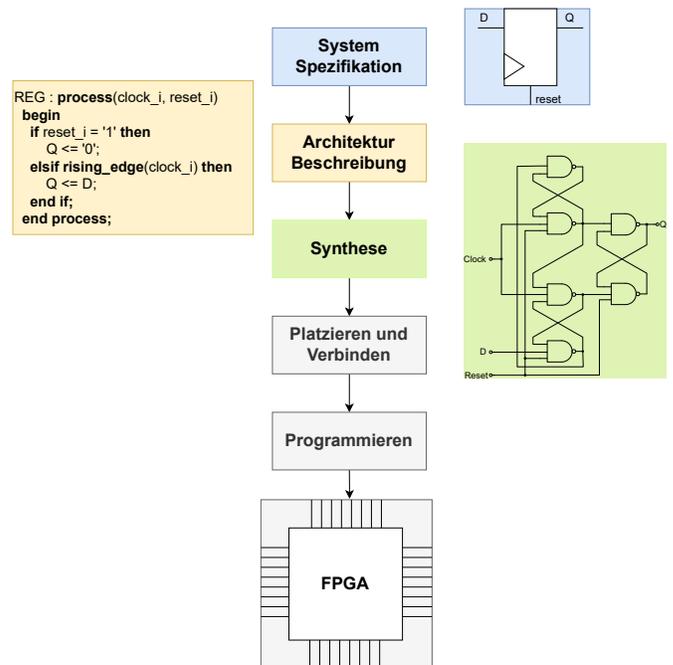


Abb. 7: Designprozess eines FPGAs

Demonstriert wird dieser hier anhand eines D-Flipflops mit asynchronem Reset, das die Speicherung eines Bits ('1'|'0') zur Aufgabe hat. Dabei werden in der Systemspezifikation festgelegt, welche Ein- und Ausgänge gestellt beziehungsweise erwartet werden. In einer Hardwarebeschreibungssprache (HDL), wie Verilog oder VHDL, kann dann das entsprechende Verhalten auf einer Abstraktionsschicht (Registertransferebene, RTL) beschrieben werden. Ein geeignetes Synthesetool übersetzt diese Beschreibungen in die logischen Verknüpfungen und die benötigten Komponenten und erstellt eine so-

nannte Netzliste. Diese muss dann im Platzierungsprozess auf die Ressourcen von dem verwendeten Chip übersetzt werden. Da ein FPGA aus Logikblöcken (CLBs), Ein- und Ausgängen sowie programmierbaren Zwischenverbindungen besteht, werden diese im Programmiervorgang so konfiguriert, dass das beschriebene System realisiert wird. Nach der Verifizierung des Architekturentwurfs kann dieses einem Chipdesignprozess unterzogen werden und zu großen Stückzahlen als sogenannter ASIC (Application Specific Integrated Circuit) hergestellt und in den verschiedensten Anwendungen implementiert werden.

## 6 Anwendungsbereiche

Aufgrund der reduzierten Datenwerte durch die eventbasierte Aquisition können sowohl in der Aufnahme als auch in der Verarbeitung Energieverbrauch und Speicherressourcen minimiert werden. Diese Eigenschaft ist vor allem für batteriebetriebene Systeme attraktiv. Mit den Bestrebungen im AIoT (Artificial Intelligence of Things) Bereich können so Einsatz-

bereiche im Gesundheitswesen, in der Mobilität, Landwirtschaft und Industrie entstehen [4]. Von der Patientenüberwachung durch drahtlose EKG-Sensoren oder Herzrhythmusklassifizierer über Ausfallvorhersagen von Anlagen bis hin zu Kollisionswarnsystemen erstreckt sich ein weiterer Anwendungsbereich.

## Literatur

- [1] Michael Lunglmayr, Günther Lindorfer und Bernhard Moser. "Robust and Efficient Bio-Inspired Data-Sampling Prototype for Time-Series Analysis". In: *Database and Expert Systems Applications - DEXA 2021 Workshops*. Sep. 2021, S. 119–126.
- [2] Michael Lunglmayr, Saeed Mian Qaisar und Bernhard A. Moser. "Tradeoff Analysis of Discrepancy-Based Adaptive Thresholding Approach". In: *2019 5th International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP)*. 2019, S. 1–4.
- [3] Tirin Moore und Marc Zirnsak. "Neural Mechanisms of Selective Visual Attention". In: *Annual Review of Psychology* 68.1 (2017), S. 47–72.
- [4] Yang Zhao und Yong Lian. "Event-Driven Circuits and Systems: A Promising Low Power Technique for Intelligent Sensors in AIoT Era". In: *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs* 69.7 (2022), S. 3122–3128.