

Das ist die Titelseite

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Realisierung</b>	<b>6</b>
5.1	Diskussion der Alternativen . . . . .	6
5.2	Akkumanagement und Versorgungsspannungen . . . . .	6
5.3	Display und Benutzeroberfläche . . . . .	6
5.4	Prozessoreinheit . . . . .	6
5.5	Gehäuse . . . . .	6
5.6	Schnittstellen . . . . .	6
5.7	Android-App . . . . .	6
5.8	SD-Karten-Speicher . . . . .	6
5.9	Analoge Filterschaltung . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Ausblick</b>	<b>11</b>

# 1 Abkürzungsverzeichnis

EKG - Elektrokardiogramm

FFT - Fast-Fourier-Transformation

SMD - Surface-mounted device

Test

## 2 Einleitung und Motivation

Seit der Entdeckung der Methode zur Ableitung der elektrischen Potenziale am menschlichen Herzen, hat die Diagnostik durch das Elektrokardiogramm (EKG) eine essentielle Bedeutung in Kliniken, Arztpraxen und im Rettungsdienst eingenommen. Für den Anwender ist es eine einfache, schnelle und vor allem nicht invasive Methode sich ein Bild vom Zustand der Erregungsleitung am Herzen des Patienten zu machen. Schwerwiegende Erkrankungen wie Infarkte oder Kammerflimmern können sofort diagnostiziert werden, wodurch die Therapie zeitnah eingeleitet werden kann. Doch auch in der Diagnostik von leichteren oder chronisch verlaufenden Krankheiten ist das EKG ein wichtiges Werkzeug im Repertoire des Arztes, wenn der Patient die Gelegenheit kommt bei dem Arzt vorstellig zu werden. Die wenigsten Patienten lassen sich ohne Symptome oder Leidensdruck rein prophylaktisch von ihrem Arzt untersuchen. Dabei beginnen die meisten schweren Erkrankungen mit einem symptomlosen Stadium, in welchem eine einfache Behandlung, zum Beispiel mit Medikamenten und ohne bleibende Schäden möglich wäre. So ist es auch im Fall der Volkskrankheit des Vorhofflimmerns von der in Deutschland etwa 300.000 Menschen betroffen sind.

Im gesunden Herzen arbeiten Vorhöfe und Kammern zeitlich genau abgestimmt zusammen. Die Hauptlast der Pumpleistung übernehmen die Kammern, diese können ihr volles Potential jedoch nur ausschöpfen, wenn die Vorhöfe kurz vor der Kammerkontraktion kontrahieren. Dass bewirkt die vollständige Füllung der Kammer und eine optimale Ausnutzung der Schlagkraft. Außerdem fließt das Blut so möglichst laminar, also ohne Verwirbelungen.

Beim Vorhofflimmern kommt es zu einer unvollständigen Kontraktion der Vorhöfe. Durch eine gestörte Erregungsleitung am Herzen arbeiten die Muskelzellen nicht mehr synchron und die Vorhöfe flimmern (manchmal spricht man auch vom "Flattern") nur noch, anstatt koordiniert zu kontrahieren. Die Kammer kann nicht mehr effizient arbeiten und das Blut bildet Turbulenzen. Zum einen führt dies zu einer verminderten Leistungsfähigkeit des Patienten, was in einem Teil der Fälle jedoch nicht bemerkt wird, zum anderen können durch die Verwirbelungen im Blut kleine Thromben entstehen. Diese Thromben, also Blutgerinnsel, werden aus der Kammer in den Blutkreislauf ausgeworfen und können je nach Herzseite im Kapillargebiet der Lunge oder des Gehirns hängen bleiben. So verstopfen sie die Blutzufuhr und das dahinter liegende Gewebe stirbt ab, im Falle vom Gehirn spricht man von einem Schlaganfall (Apoplex), der meist irreparable Schäden nach sich zieht.

In unserem Projekt wollen wir ein EKG-Gerät entwickeln, dass die Diagnose solcher stiller Herzerkrankungen ermöglicht, ohne dass der Patient sein Zuhause verlassen muss. Das Gerät soll die einfachste Funktionalität erfüllen, das heißt ein Ein-Kanal-EKG (hier-

für werden zwei Elektroden am Körper benötigt), und die Daten auf einer Speicherkarte sichern, um sie später durch einen Mediziner auswerten zu lassen. Zusätzlich kann der Anwender während der Messung an einem Display Herzfrequenz und Kurvenverlauf verfolgen.

### **3 Zielsetzung**

### **4 Stand der Technik**

## 5 Realisierung

Hier kommt die Einleitung der Realisierung.

### 5.1 Diskussion der Alternativen

### 5.2 Akkumanagement und Versorgungsspannungen

### 5.3 Display und Benutzeroberfläche

### 5.4 Prozessoreinheit

### 5.5 Gehäuse

### 5.6 Schnittstellen

### 5.7 Android-App

### 5.8 SD-Karten-Speicher

### 5.9 Analoge Filterschaltung

Dieses Unterkapitel behandelt die Analyse der Anforderungen eines EKG-Signals und wie diese in der analogen Filterschaltung umgesetzt wurden. Wie bereits im Kapitel Einleitung und Motivation erklärt wurde, soll das EKG-Gerät das Signal über einen Kanal messen. Hierfür wird die Differenz zwischen zwei Klebeelektroden, die der Benutzer an seiner Brust befestigt, gebildet. Für die Differenzbildung wird der Instrumentenverstärker AD8422ARMZ von Analog Devices (AD) verwendet. Dieser Rail-to-Rail-Verstärker erreicht im niedrigen Frequenzbereich bis 60 Hz eine Gleichtaktunterdrückung von etwa 120 dB, was Störsignale die durch externe elektromagnetische Felder in die Messleitungen eingekoppelt werden unterdrückt. Seine Verstärkung wird mittels eines  $33\ \Omega$  Widerstandes auf den Faktor 420 eingestellt, was etwa in 52 dB entspricht. Diese Vorverstärkung sorgt dafür, dass das Signal auf dem Weg durch die Filterschaltung robuster gegen Störungen ist. Da das Endprodukt über einen Akku betrieben wird, ist der Instrumentenverstärker fähig mit einer einseitigen Versorgungsspannung zu arbeiten und benötigt einen geringen Versorgungsstrom von etwa  $330\ \mu\text{A}$ . Die vor den Eingängen des Differenzverstärkers liegende Eingangstufe ist hochohmig um die Signalquelle, also den Körper nicht zu belasten, da ansonsten die Signalstärke einbrechen würde. Die beiden Kanäle sind symmetrisch aufgebaut und bestehen jeweils aus einer bidirektionalen TVS-Diode, einem passiven Hochpass und einem passiven Tiefpass. Die Diode dient dazu Überspannung bei einer elektrostatischen Entladung (ESD) abzuleiten und so die dahinter liegende Schaltung zu schützen.

Der Hochpass mit einer Grenzfrequenz von 0.48 Hz trennt den Gleichanteil des Signal ab, welcher durch den Übergang von Ionen- zu Elektronenleitung an der Kontaktfläche der Elektroden entsteht. Zudem koppelt er das Kleinsignal des EKGs in das Gleichspannungspotential von 1.5 V der Filterschaltung ein. Die Schaltung wird auf dieses Potenzial angehoben, um auch die negativen Signalanteile (Q- und S-Zacke des EKGs) übertragen zu können, was aufgrund der einseitigen Versorgungsspannung sonst nicht möglich wäre. Der Tiefpass mit einer Grenzfrequenz von 159 Hz dient dazu hochfrequente ( $>100$  kHz) Störungen bereits vor dem Instrumentenverstärker zu unterdrücken. Um einen Eindruck vom Frequenzspektrum eines EKG-Signals zu erhalten, wurde mit Matlab ein künstliches EKG-Signal (siehe Abbildung 1) aus Kosinusfunktionen und linearen Funktionen erstellt. Aus der im Anschluss durchgeführten Fast-Fourier-Transformation (FFT) (siehe Abbildung 2), lässt sich erkennen, dass die stärksten Frequenzanteile bis etwa 40 Hz gehen. Da jedoch gerade die hochfrequenten Anteile des Signals für die Ausformung der charakteristischen QRS-Zacken verantwortlich sind, wurde die obere Grenzfrequenz der Filterschaltung auf 159 Hz gesetzt.

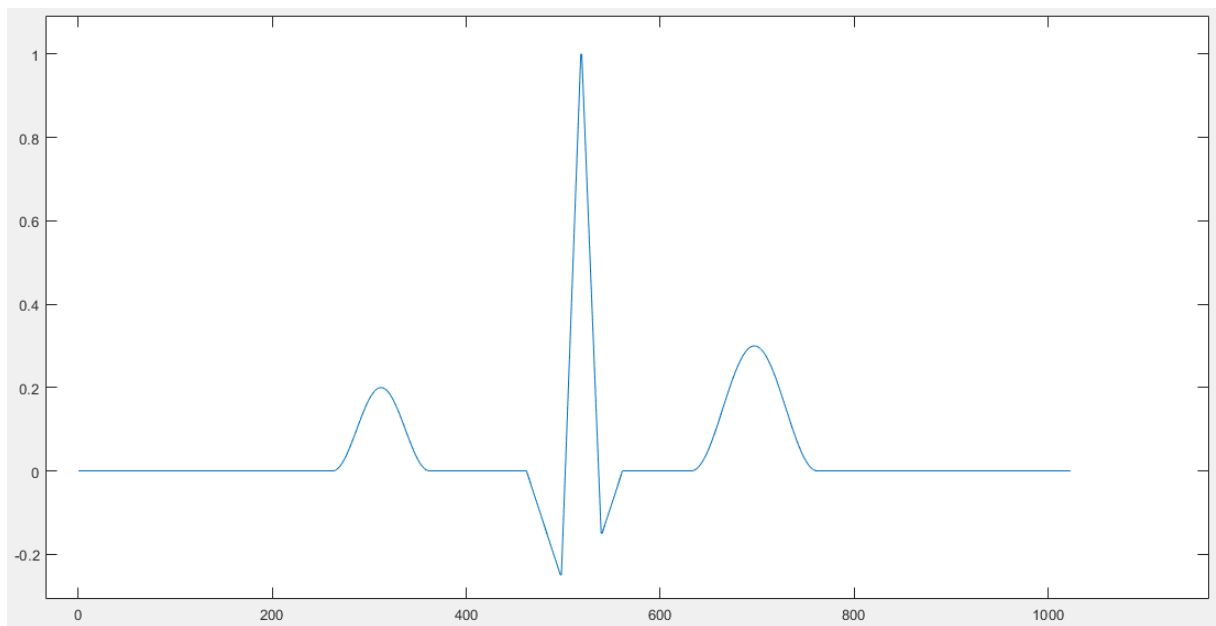


Abbildung 1: mit Matlab erstelltes künstliches EKG-Signal

Da der Körper eines Menschen aus leitendem Material besteht, können elektromagnetische Wechselfelder, wie die von Stromleitungen in Hauswänden, eine Spannung in ihm induzieren. Diese Wechselspannung, mit einer Amplitude von bis zu 100 mV und einer Frequenz von 50 Hz überlagert das EKG-Signal des Herzens. Um dieses Netzkrauschen zu unterdrücken, wird ein Doppel-T-Filter verwendet. Bei idealen Bauteilen erreicht diese aktive Bandsperre eine Güte von annähernd 0,5 und eine Dämpfung von 76 dB. Da jedoch die verwendeten SMD-Widerstände und Kondensatoren nur mit gewissen Toleranzen

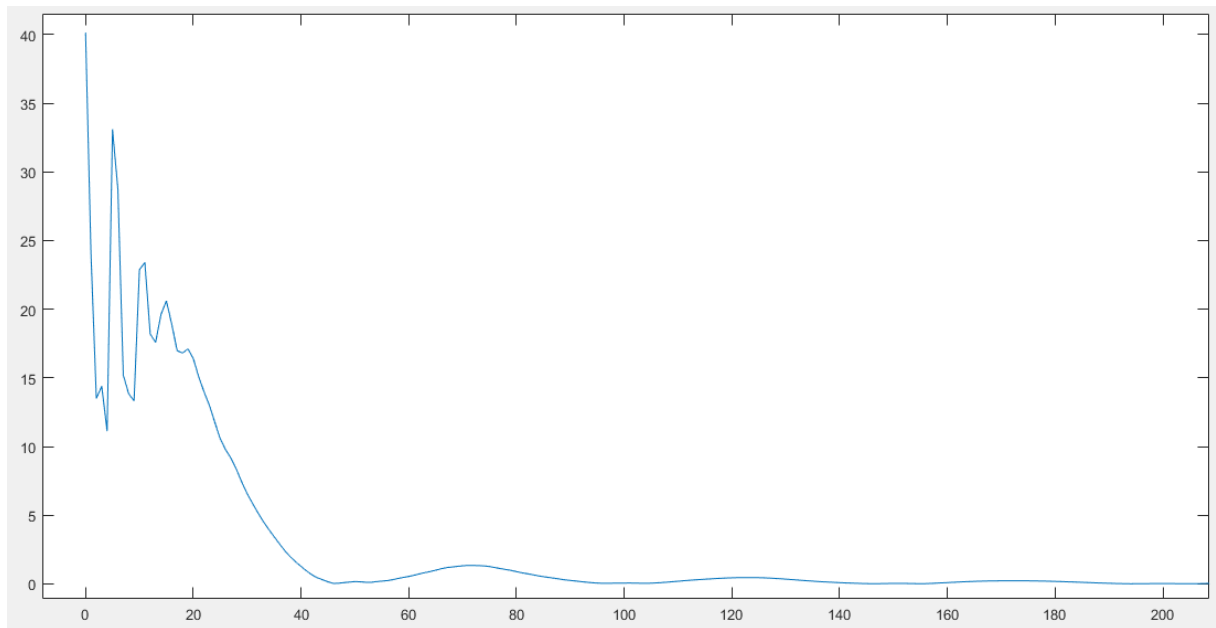


Abbildung 2: Frequenzspektrum des künstlichen EKG-Signals

erhältlich sind, fällt die effektive Dämpfung auf 20 dB bis 30 dB. Dies wäre für die Anwendung nicht ausreichend, daher werden in der Schaltung zwei dieser Bandsperren in Reihe geschaltet. Die im Schaltplan vorgesehenen Parallelschaltungen der Widerstände dienen dazu die Widerstandswerte flexibel einzustellen, um auch noch im Nachhinein auf die Toleranzen der Kondensatoren reagieren zu können. Bei den benötigten Operationsverstärkern wurde ein vier in eins Bauteil von AD gewählt. Zwei der Operationsverstärker werden für die 50 Hz-Filter verwendet, die anderen zwei dienen der Tiefpassfilterung und Nachverstärkung. Der AD8544ARZ ist ein einseitig versorgbarer Rail-to-Rail-Verstärker mit einem geringen Versorgungsstrom von  $45 \mu\text{A}$ . Da das zu filternde Signal im niederfrequenten Bereich liegt, ist er mit seinem Verstärkungs-Bandbreite-Produkt von 1 MHz mehr als ausreichend. Mit dem Analog-Digital-Umsetzer (ADC) wird eine Abtastfrequenz von 1 kHz angestrebt. Das Signal wird daher durch Tiefpässe begrenzt. Die Tiefpassfilterung setzt sich aus vier passiven Tiefpässen erster Ordnung und einem aktiven Tiefpass zweiter Ordnung zusammen. Die passiven Filter sind zwischen die aktiven Stufen der Schaltung eingebettet.

In Abbildung 3 ist der verwendete aktive Tiefpass, realisiert durch eine Sallen-Key-Schaltung abgebildet. Davor und dahinter befinden sich einfache passive Tiefpässe. Die zwei verbleibenden passiven Tiefpassfilter befinden sich in der Eingangsstufe (je einer pro Kanal) und zwischen den beiden 50 Hz-Filtern. Insgesamt ergibt sich damit eine Tiefpassfilterung sechster Ordnung, also eine Dämpfung von 120 dB pro Dekade, über die gesamte Schaltung. Die Signalamplitude der Quelle beträgt nur etwa 1 mV. Der ADC arbeitet in einem Bereich von 0 V bis 3 V, um diesen Bereich bestmöglich auszunutzen muss das



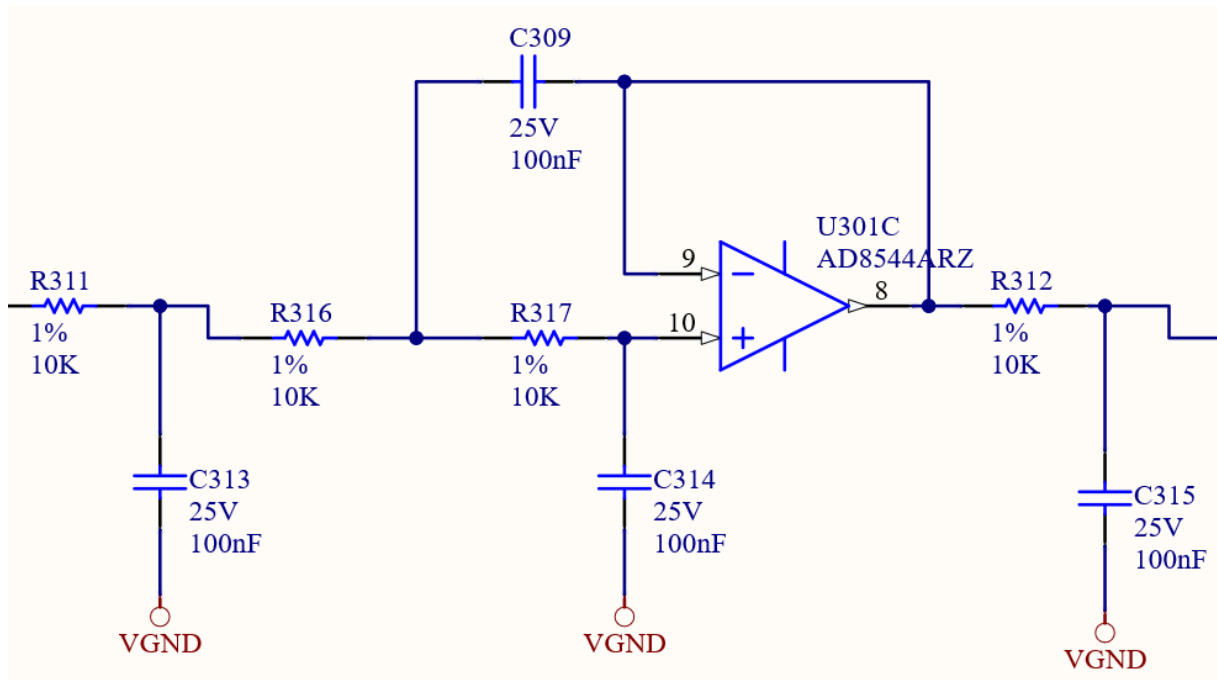


Abbildung 3: aktiver Tiefpass eingeschlossen von zwei passiven Tiefpässen

Signal auf eine Amplitude von etwa 2 V verstärkt werden. 1 V des ADC-Intervalls bleibt als Reserve ungenutzt, um bei Schwankungen des Signals nicht sofort die Begrenzung der Spannungsversorgung zu überschreiten, außerdem kann die Amplitude des Eingangssignals je nach Mensch auch leicht variieren. Insgesamt wird also eine Verstärkung etwa um den Faktor 2000 benötigt, was 66 dB entspricht. Wie bereits erwähnt, wird durch den Differenzverstärker am Eingang eine Verstärkung von etwa 52 dB realisiert. Die Filterstufen in der Schaltung bewirken eine Dämpfung des gesamten Signals um etwa 6 dB, somit muss die Nachverstärkung 20 dB betragen um die geforderte Gesamtverstärkung von 66 dB zu erreichen. Dies bewirkt ein nicht-invertierender Spannungsverstärker, mit einem Verstärkungsfaktor von 10, der sein Ausgangssignal direkt auf den Pin des ADCs gibt.

In Abbildung 4 ist die simulierte Gesamtübertragungsfunktion der Filterschaltung in einer doppelt-logarithmischen Darstellung abgebildet. Für Frequenzen kleiner als 0.5 Hz wird das Signal mit 20 dB pro Dekade gedämpft, ab 160 Hz wird es durch die Tiefpässe mit 120 dB pro Dekade unterdrückt. Außerdem gibt es bei 50 Hz eine Dämpfung von 40 dB von den Bandsperren. Hierbei ist zu beachten, dass die Simulation mit idealen Bauteilen durchgeführt wurde. In der realen Schaltung fällt die Dämpfung wesentlich geringen aus, sodass die Übertragungsfunktion in diesem Bereich bei zirka 0 dB liegt. Für den übrigen Frequenzbereich wird eine Verstärkung um 67 dB erreicht. Der Gesamtschaltplan der Filterung befindet sich in Anhang (*Anhang wurde noch nicht erstellt*).

Um die Schaltung auf ein Gleichspannungspotenzial von 1.5 V anzuheben wurde ein

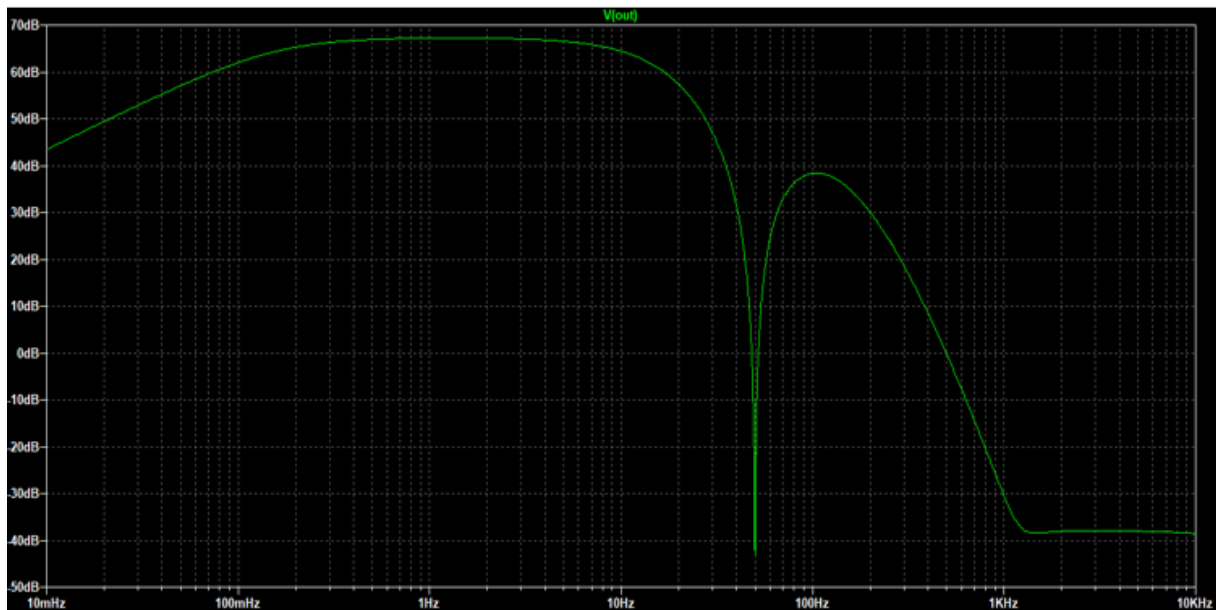


Abbildung 4: Gesamtübertragungsfunktion der Filterschaltung

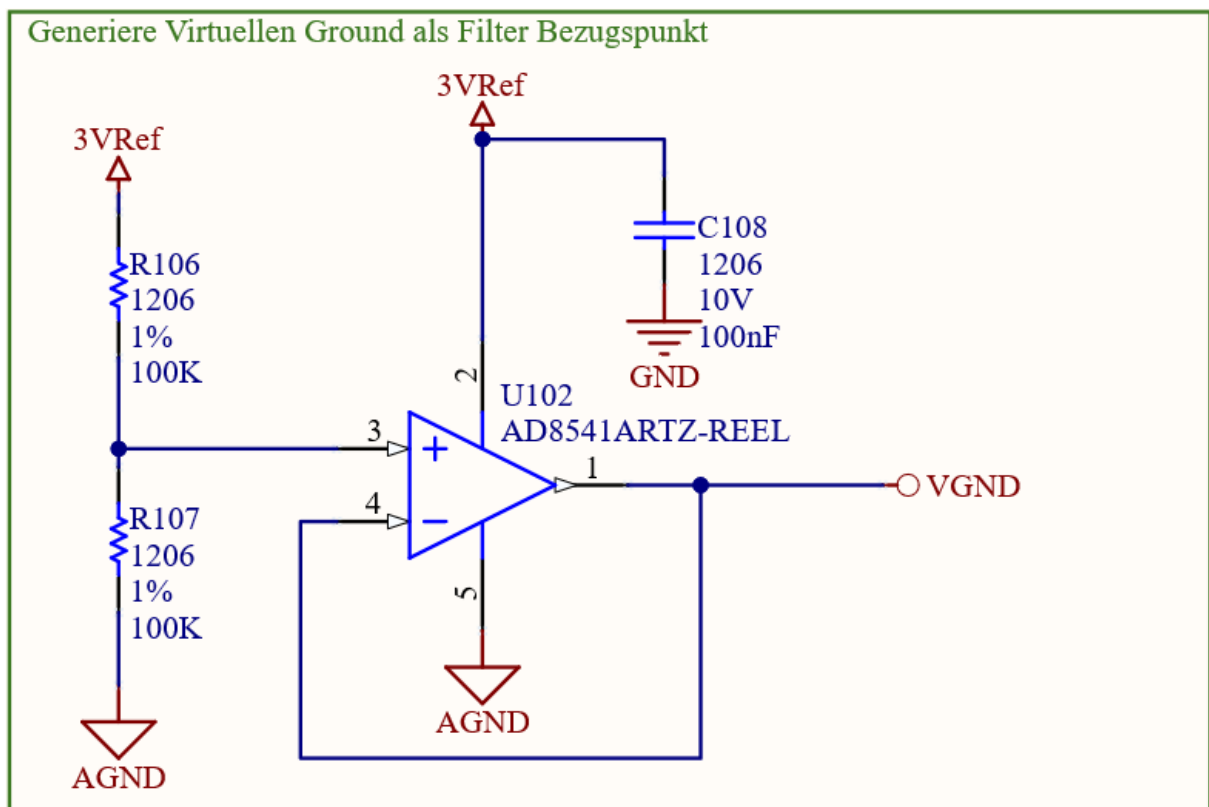


Abbildung 5: Generierung des 1,5 V Bezugspotentials für die Filterschaltung

hochohmiger Spannungsteiler mit einem Operationsverstärker als Spannungsfolger verwendet. Bei dem Operationsverstärker handelt es sich um den AD8541ARTZ-REEL. Es ist der gleiche Verstärker der auch für die Filter zum Einsatz kommt, nur in einem Single-Gehäuse.

**6 Ergebnis**

**7 Zusammenfassung**

**8 Ausblick**