



TU Berlin Fakultät IV
Institut für Energie und Automatisierungstechnik
Fachgebiet Elektronische Mess- und Diagnosetechnik
Praktikum Messdatenverarbeitung

Praktikum Messdatenverarbeitung

Termin 7

Özgü Dogan (326 048)
Timo Lausen (325 411)
Boris Henckell (325 779)

11. Juli 2012

Gruppe: G1 Fr 08-10

Betreuer: Jürgen Funk

Inhaltsverzeichnis

1 Vorbereitungsaufgaben	1
1.1 Vorbereitungsaufgaben zu Termin 7	1
1.1.1 Chirp-Signal erzeugen	1
1.1.2 Matlab-Funktion: Frequenzverlauf über der Zeit	2
1.1.3 Matlab-Funktion: Frequenzverlauf anhand Spektrogramm	3
1.1.4 Drehzahl-Berechnung anhand Amplitudenspektrum des Motorstroms	4
1.2 Vorbereitungsaufgaben zu Termin 8	6
1.2.1 Zerlegung des Signals mittels Haar-Tranformation	6
1.2.2 Darstellung der Approximationen	7
1.2.3 Daubechies-Wavelets	8
1.2.4 Vergleich der Zerlegungen mittels Daubechies-Wavelets und Haar-Wavelets	9
2 Durchführungen	11
2.1 Durchführung zu Termin 7	11
2.2 Durchführung zu Termin 8	11
3 Auswertung	12
3.1 Auswertung Termin 7	12
3.2 Auswertung Termin 8	12
4 Quellcodes	22
4.1 Codes aus Termin 7	22
4.1.1 Frequenzverlauf über der Zeit	22
4.1.2 Frequenzverlauf aus dem Spektrogramm	22
4.1.3 Algorithmus zur Drehfrequenzberechnung	23
4.2 Codes aus Termin 8	25
4.2.1 Funktion haardec.m	25
4.2.2 Funktion haardecleve.l.m	25
4.2.3 Funktion getAppDet.m	26
4.2.4 Funktion Daubechies_Wavelets.m	26
4.2.5 Vorbereitungsaufgaben Plots	27

1 Vorbereitungsaufgaben

1.1 Vorbereitungsaufgaben zu Termin 7

1.1.1 Chirp-Signal erzeugen

Als erstes sollte anhand Matlab ein chirp-Signal erzeugt und untersucht werden. Dieser wurde mit dem Aufruf `chirp()` erzeugt, dem man einen Zeitvektor, die Startfrequenz und weitere Angaben über den Verlauf geben konnte. Bei unserem Signal sollte ein linearer Frequenzanstieg erfolgen.

Als Beispiel wurde folgendes Signal erstellt:

```
t = 0 : 0.001 : 2  
chirp(t,0,1,100)
```

Das Chirp-Signal und das Spektrogramm dazu sehen so aus:

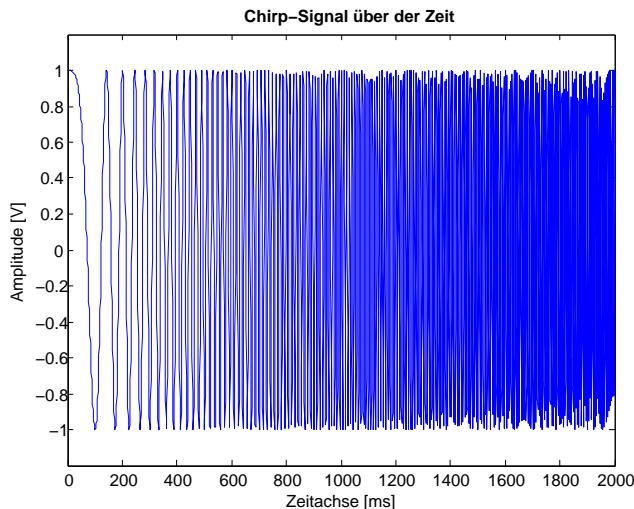


Abb. 1: erzeugtes Chirp-Signal über der Zeit

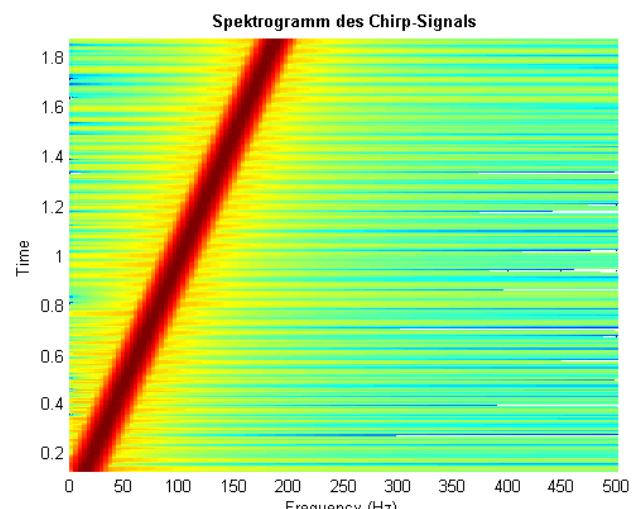


Abb. 2: Spektrogramm des erzeugten Chirp-Signals

Man sieht einen Sinusverlauf, dessen Frequenz mit der Zeit immer größer wird. Wir vermuten einen linearen Abstieg der Frequenz. Im Spektrogramm kann man deutlich sehen, dass nach einer Sekunde die Frequenz den erwünschten Wert von 100Hz annimmt.

Weiterhin kann man die Auswirkung der Eingabeveriablen des Spektrogrammaufrufs auf das entstehende Spektrogramm untersuchen. Hier sind zwei Beispiele, in denen einmal die Überlappungsfäche zwischen zwei Segmenten verkleinert wird und einmal die verwendete Fenstergröße vergrößert wird.

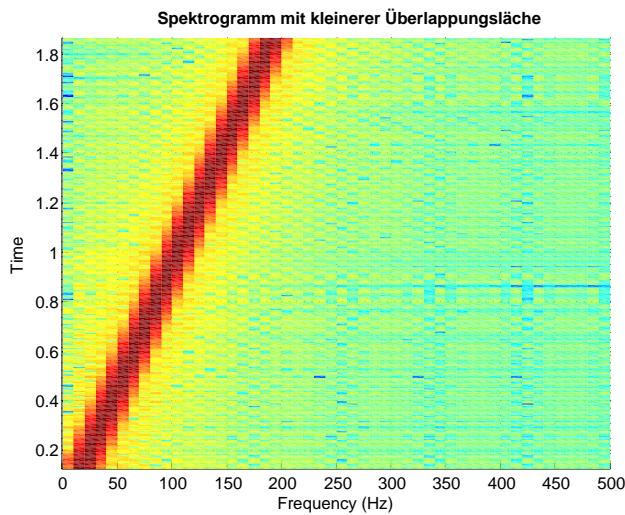


Abb. 3: Überlappung zwischen den Segmenten im Spektrogramm wird kleiner gewählt

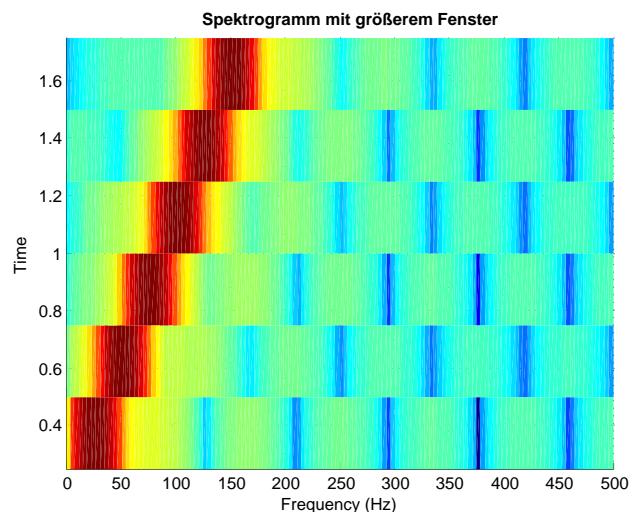


Abb. 4: verwendete Fensterfolge wird größer gewählt

Innerhalb des gewählten Fensters, kann das verwendete Signal als stationär angenommen werden. Wird das Beobachtungsfenster kürzer, nimmt auch die Frequenzauflösung ab. Wird das Fenster zu groß, kann wiederum das Signal innerhalb des Fensters nicht mehr als stationär angenommen werden. Die Verschlechterung und Ungenauigkeiten im Spektrogramm kann man in den Plots oben gut erkennen.

1.1.2 Matlab-Funktion: Frequenzverlauf über der Zeit

Als nächstes sollte eine Matlab-Funktion erstellt werden, die im Zeitbereich die momentane Frequenz ermittelt. Dieser berechnete Frequenzverlauf über der Zeit sollte geplottet und mit dem erwarteten Verlauf verglichen werden. In die erstellte Funktion kann in den Codes am Ende des Protokolls eingesehen werden. Der entstandene Plot ist hier zu sehen:

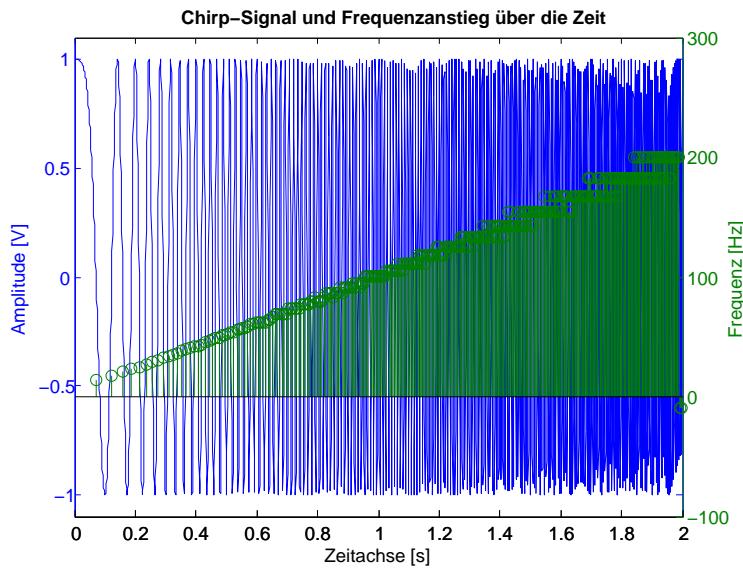


Abb. 5: Chirp-Signal und der dazugehörige Frequenzanstieg, berechnet aus dem Zeitsignal

Da beim Erstellen des Chirpsignals ein linearer Anstieg der Frequenz vorausgesetzt war, wurde auch ein linearer Frequenzverlauf erwartet. Das Ergebnis bestätigt die Erwartung.

1.1.3 Matlab-Funktion: Frequenzverlauf anhand Spektrogramm

Nun sollte der gleiche Frequenzverlauf anhand des Spektrogramms ermittelt werden. Dafür implementierten wir eine weitere Matlab-Funktion, welche in den Codes zu sehen ist. Das erwartete Ergebnis war wieder ein positiver linearer Anstieg.



Abb. 6: Chirp-Signal und der dazugehörige Frequenzanstieg, berechnet aus dem Spektrogramm

1.1.4 Drehzahl-Berechnung anhand Amplitudenspektrum des Motorstroms

Zuletzt wurde die Drehzahl des verwendeten Motors berechnet. Dafür wurden uns drei Messreihen mit jeweils Strom- und Tachomesswerten vorgegeben. Zunächst sollten die Amplitudenspektren der Motorströme erstellt werden, welche uns durch die DFT der Stromwerte gelang. Die erhöhten Amplitudenwerte entsprachen dabei den einfachen Vielfachen der Drehfrequenz des Motors mit der jeweiligen Versorgungsspannung. Die deutlich herausstehenden Peaks dagegen traten nur bei dem 18- oder 36-fachen Vielfachen der Drehfrequenz auf. Dieses Wissen nutzen wir, indem wir anhand eines Matlabalgorithmus den höchsten Peak mit Index ausgeben lassen (die höchsten Peaks waren stets jene, die am nächsten zu der null standen), um daraus eine Frequenz zu bestimmen und durch 18 zu teilen. So berechneten wir die drei geforderten Drehfrequenzen. Der Algorithmus steht in den Codes, die drei Amplitudenspektren sehen folgendermaßen aus:

1 VORBEREITUNGSAUFGABEN

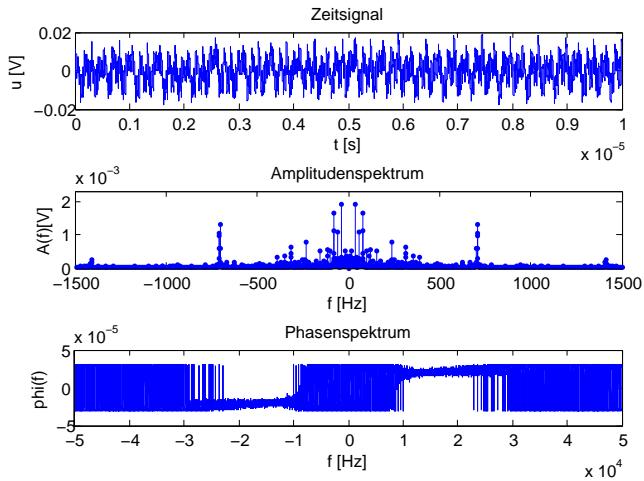


Abb. 7: Spektrum des Motorstroms bei 10V

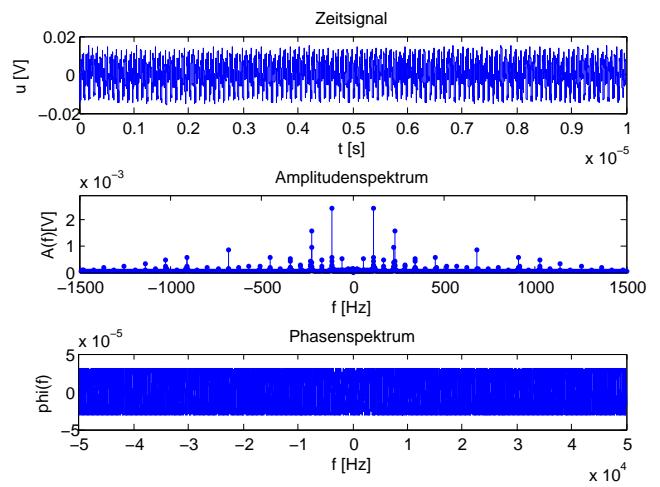


Abb. 8: Spektrum des Motorstroms bei 20V

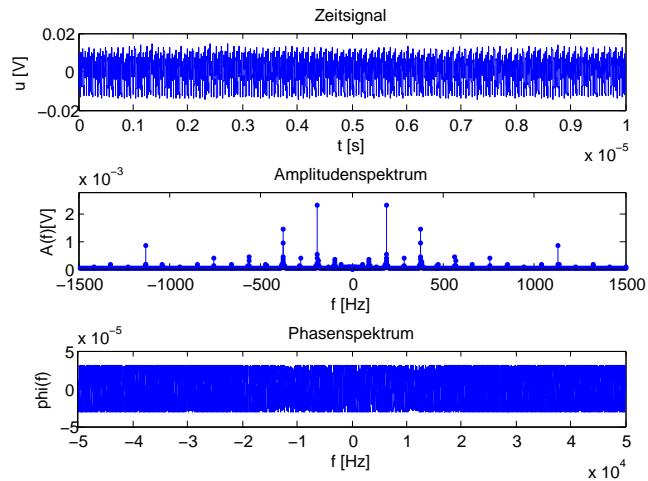


Abb. 9: Spektrum des Motorstroms bei 30V

Die berechneten Drehfrequenzen betragen für die erste Messung ($10V$) = $19.5627Hz$, für die zweite Messung ($20V$) = $56.8131Hz$ und für die dritte Messung ($30V$) = $94.31343Hz$.

Außerdem wurden die Drehfrequenzen auch aus den jeweiligen Tachosignalen bestimmt. Dafür wurde genauso vorgegangen wie bei den Motorströmen. Die Spektren sind hier:

1 VORBEREITUNGSAUFGABEN

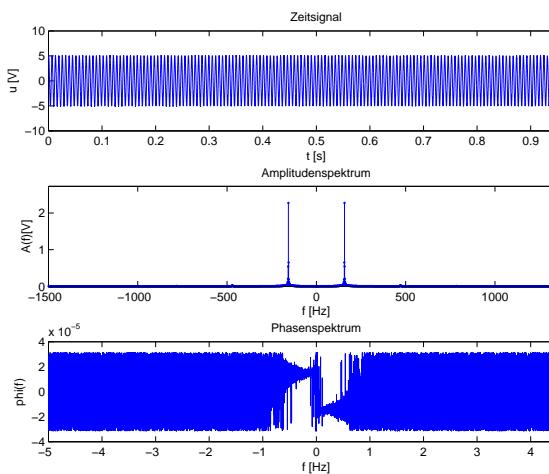


Abb. 10: Spektrum des Tachosignals bei 10V

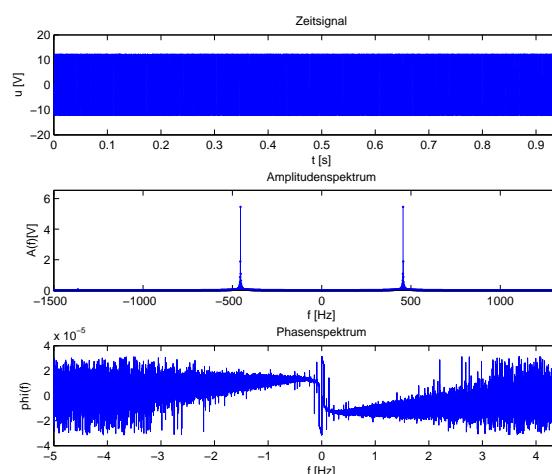


Abb. 11: Spektrum des Tachosignals bei 20V

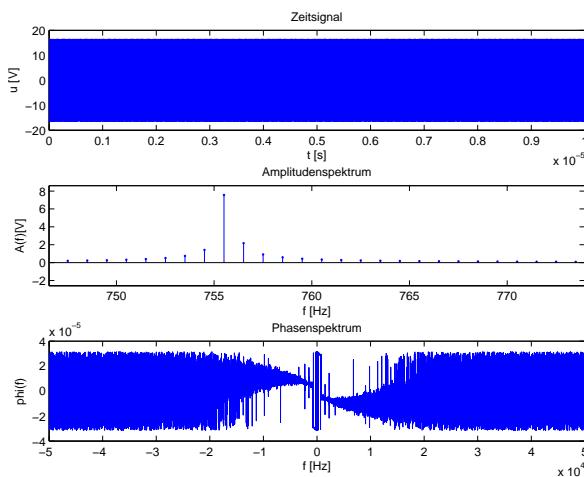


Abb. 12: Spektrum des Tachosignals bei 30V

Die anhand der Tachosignale berechneten Drehfrequenzen betragen für die erste Messung ($10V$) = $19.5627Hz$, für die zweite Messung ($20V$) = $56.8131Hz$ und für die dritte Messung ($30V$) = $94.3134Hz$.

1.2 Vorbereitungsaufgaben zu Termin 8

1.2.1 Zerlegung des Signals mittels Haar-Tranformation

In der ersten Vorbereitungsaufgabe des 8.Praktikumstermins wird eine vorgegebene strom.m Datei verwendet, welche einen angechnittenen Sinus im Bereich $[0, 8\pi]$ darstellt. Dieses Signal wird mit der Schnellen Haar-Transformation zerlegt. Außerdem wird die Approximation und die Details für die Skalierungen $m = 1 \dots 5$ berechnet werden, wofür die drei Funktionen haardec.m, haardelevel.m und getAppDet.m implementiert werden. Diese stehen unter den Codes.

1.2.2 Darstellung der Approximationen

Als nächstes werden die Approximationen und die Details des angeschnittenen Sinus-Signals dargestellt und das stationäre Spektrum sowie das Spektrogramm berechnet. Diese spektralen Darstellungen werden mit den Darstellungen mittels Wavelets verglichen. Am Ende soll ermittelt werden, welche Darstellung bestimmte Informationen über das verwendete Signal besser veranschaulicht.

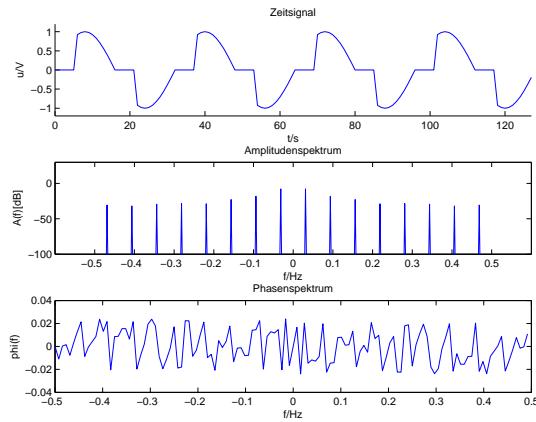


Abb. 13: Spektrum des angeschnittenen Sinus-Signal

Im stationären Spektrum des gegebenen Signals kann man die Frequenzanteile mit ihren entsprechenden Amplituden erkennen.

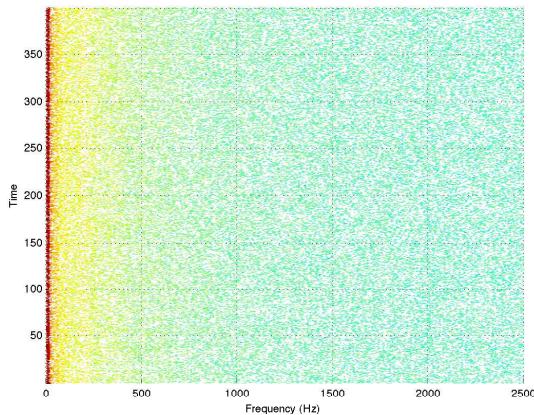


Abb. 14: Spektrogramm des angeschnittenen Sinus-Signal

Außerdem kann man im Spektrogramm des Signals die durch die Anschneidung entstandenen Flanken erkennen. Dies macht sich in dem zeitlich periodischen Farbverlauf des Spektrograms deutlich sichtbar.

Die Darstellungen der Approximationen und der Details für fünf Skalierungslevel sind dabei in der vierten Aufgabe der Vorbereitung dargestellt, wo sie auch zeitgleich mit den Zerlegungen des Daubechies-Wavelets (db3) verglichen werden. Da eine Zerlegung mittels Wavelets eine Tief- und Hochpassfilterung darstellt, kann man es so interpretieren, dass die gefilterten tiefen Frequenzen als Approximationen und die gefilterten hohen Frequenzen als Details

abgespeichert werden. Je öfter eine Zerlegung stattfindet, desto öfter wird die Approximation hoch- und tiefpassgefiltert, wodurch am Ende in dem Approximationsvektor nur noch die aller tiefsten Frequenzen enthalten sind.

1.2.3 Daubechies-Wavelets

Nun wird das angeschnitte Sinus-Signal mit Hilfe von Daubechies-Wavelets zerlegt. Dazu verwenden wir die Matlab-Funktionen wavedec, appcoef und detcoef und variieren die Anzahl der verschwindenden Momente der Wavelets, indem wir bei der wavedec.m Ausführung die Wavelets db1, db5, db10 und db15 wählen. Damit werden die verschwindenden Momente in jedem Wavelet 1, 5, 10 und 15 betragen. Es werden nur die Zerlegungen in Level 2 angezeigt.

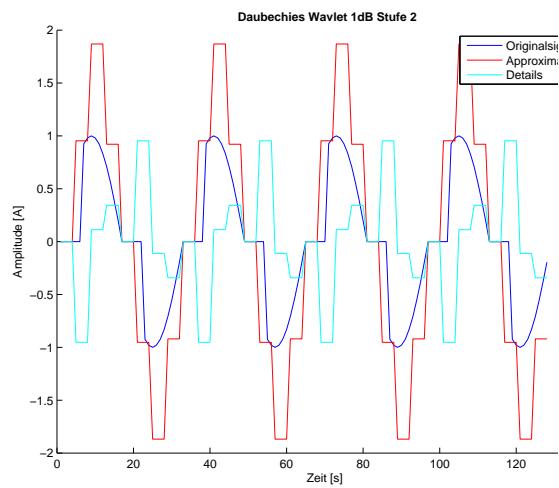


Abb. 15: Daubechies-Wavelet mit 1 vanishing moment

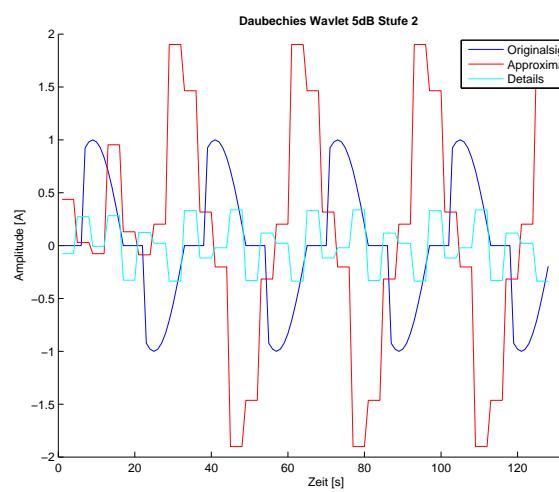


Abb. 16: Daubechies-Wavelet mit 5 vanishing moment

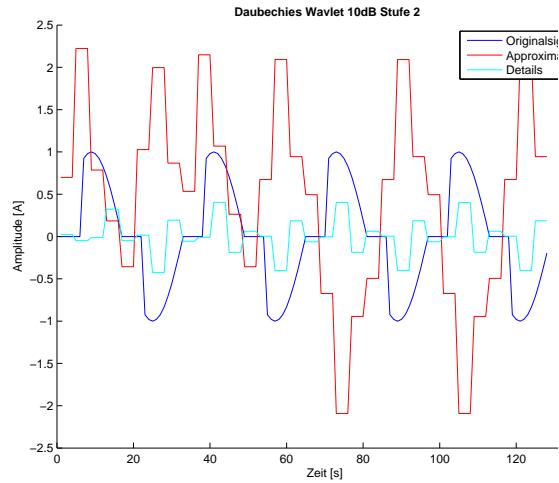


Abb. 17: Daubechies-Wavelet mit 10 vanishing moment

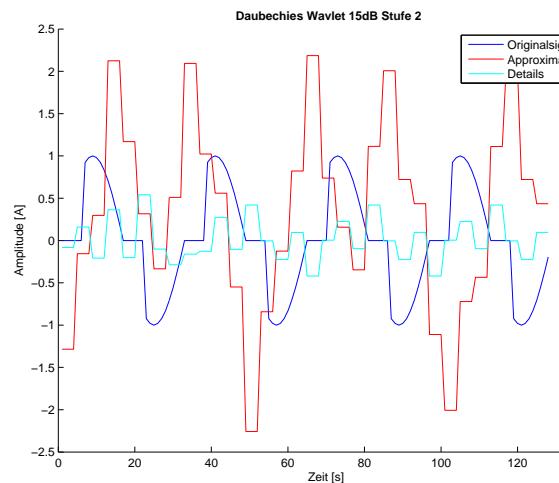


Abb. 18: Daubechies-Wavelet mit 15 vanishing moment

Man kann sehen, dass sich die Zerlegungen deutlich voneinander unterscheiden. Gehen wir zunächst auf die Approximationen ein. Es ist deutlich, dass es bei der ersten Darstellung mit nur einem verschwindenden Moment kaum einen Unterschied zu einer Haar-Wavelet Zerlegung gibt, wohingegen es bei der Zerlegung mit fünf verschwindenden Momenten der Verlauf der Approximationen sich ein wenig verändert. Wird die Anzahl der verschwindenden Momente auf zehn verdoppelt, so wird der Verlauf noch unkontinuierlicher und einzelne Amplituden fangen an zu schwanken. Bei fünfzehn bestätigt sich diese Beobachtung sogar verstärkt. Sieht man sich die Details der Zerlegungen an, entdeckt man ebenfalls eine Veränderung. Ähnlich wie bei den Approximationen wird der kontinuierliche Verlauf mit steigender Anzahl an verschwindenden Momenten gestört und die Amplituden variieren und verkleinern sich.

1.2.4 Vergleich der Zerlegungen mittels Daubechies-Wavelets und Haar-Wavelets

Zuletzt wird in der Vorbereitung des Praktikums die Zerlegungen mittels Daubechies-Wavelets mit den Zerlegungen mittels Haar-Wavelets verglichen. Die Unterschiede sind folgende:

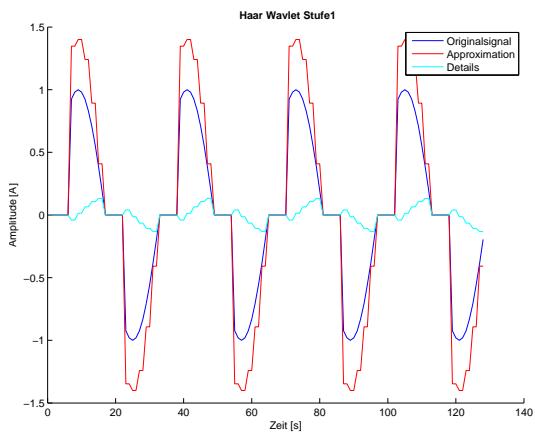


Abb. 19: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 1

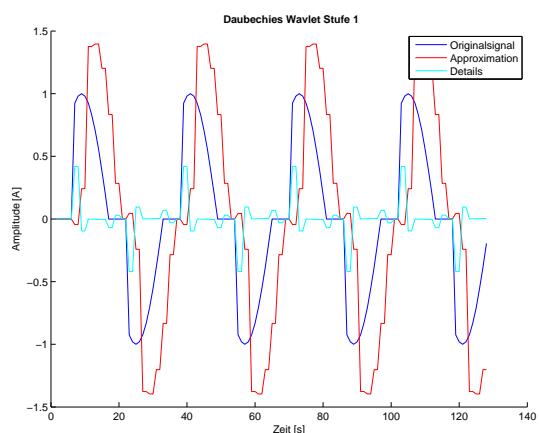


Abb. 20: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 1

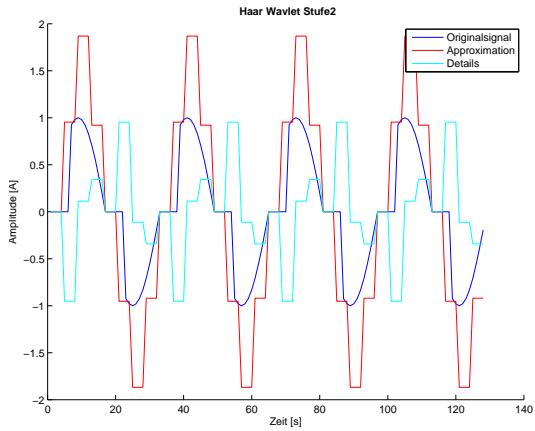


Abb. 21: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 2

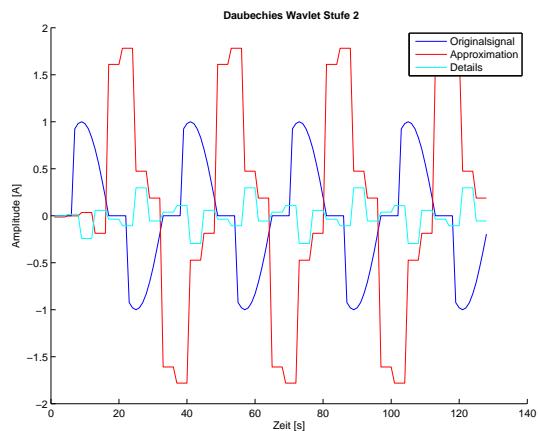


Abb. 22: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 2

1 VORBEREITUNGSAUFGABEN

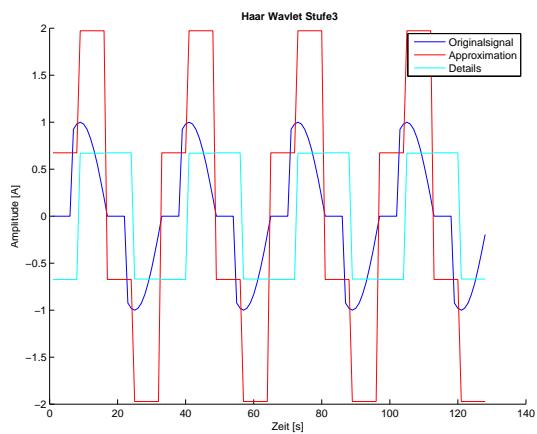


Abb. 23: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 3

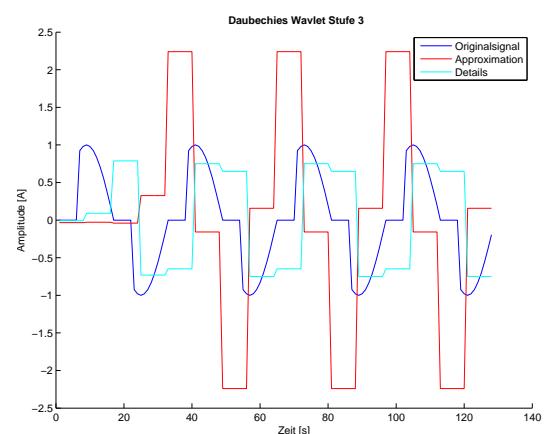


Abb. 24: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 3

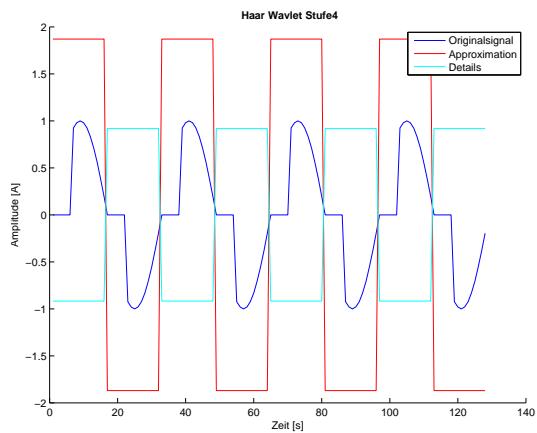


Abb. 25: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 4

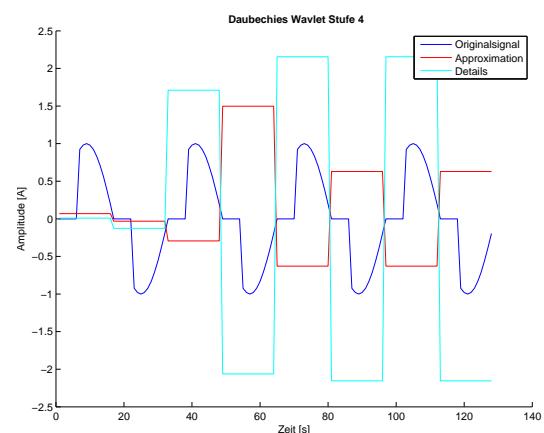


Abb. 26: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 4

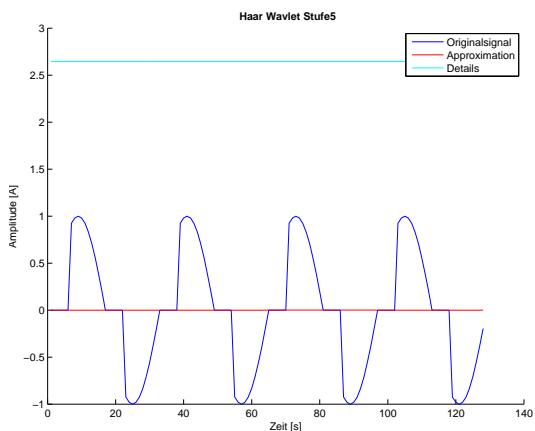


Abb. 27: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 5

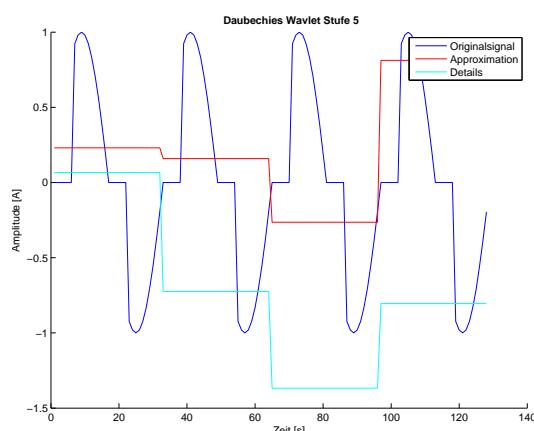


Abb. 28: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 5

Zuerst fällt auf, dass die Zerlegung mit unterschiedlichen Wavelets unterschiedliche Approximation und daraus resultierend unterschiedliche Details zur Folge hat. Des weiteren fällt auf, dass bei der Haar-Wavelet Transformation in der Stufe 5 alle 4 Werte konstant 0 sind, während die Werte der Approximation bei der Daubechies-Wavelets Transformation unterschiedlich sind.

Da sich jede Approximationsstufe auch als ein Tiefpass interpretiert lässt finden sich in jeder Wavelet Stufe Informationen über einen speziellen Frequenzbereich. Zum Beispiel zeigen die Details des oben gezeigten Stroms klar die Anschnittsmomente des Stroms.

2 Durchführungen

2.1 Durchführung zu Termin 7

Bei diesem Versuch soll die Drehzahl eines Universalmotors, der mit Gleichstrom betrieben wird, bestimmt werden. Dazu wird der Strom gemessen und anhand von Oberwellen die Drehzahl bestimmt. Zusätzlich befindet sich ein Tacho an dem Motor, mit dem für Vergleichszwecke direkt die Drehzahl gemessen wird.

Die Spannung des Tachosignals ist zu groß, um sie direkt auf eine Messkarte zu geben. Daher wird sie vorher mit einem Spannungsteiler im Verhältnis 1 : 10 heruntergeteilt. Um Rauschen zu verhindern wird das Tachosignal anschließend mit einem aktiven Filter gefiltert. Dann wird die Spannung mit der Messkarte erfasst.

Der Strom wird mit einer Stromzange gemessen. Der Stromwandler gibt allerdings wieder nur einen Strom aus. Dieser Strom wird mit einem Widerstand in eine Spannung umgewandelt. Diese Spannung wird ebenfalls gefiltert und mit der Messkarte aufgenommen. Der Filter wird einerseits genutzt, um den Gleichspannungsanteil auszusperren und das Stromsignal zu verstärken, da sonst zu großes Quantisierungsrauschen entsteht.

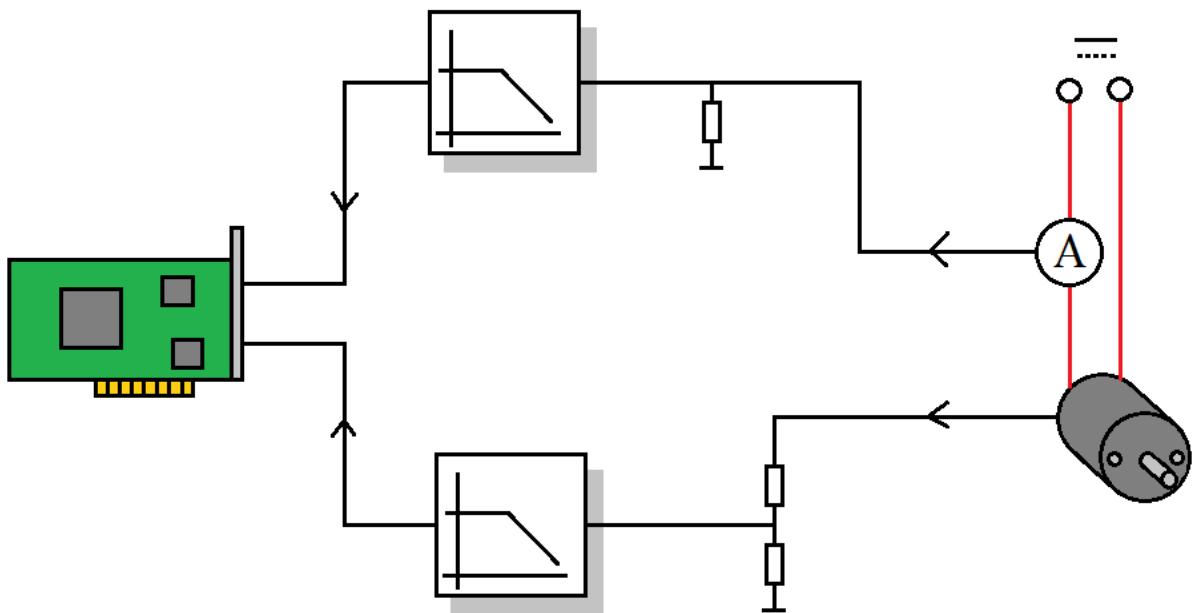


Abb. 29: Versuchsaufbau der Drehzahlmessung

Bevor der Versuch beginnt, sind die Abtastrate, die Messdauer und die Grenzfrequenzen der Antialiasingfilter zu bestimmen. Die Messkarte besitzt eine maximale Gesamtsamplerate von $200 \frac{kS}{s}$. Diese Abtastrate kann auf die einzelnen Kanäle verteilt werden.

Um eine möglichst hohe Auflösung zu erhalten, wird die maximale Abtastrate genutzt und auf beide Kanäle gleichmäßig aufgeteilt. Jeder Kanal erhält also eine Samplerate von $100 \frac{kS}{s}$. Um das Abtasttheorem einzuhalten, müssen alle Frequenzen über $50 kHz$ zu null gedämpft werden. Daher wird die Grenzfrequenz der Antialiasingfilter auf $40 kHz$ eingestellt. Dieser Wert wurde experimentell bestimmt. Für die Messdauer wurde nach einem Probelauf 15 Sekunden gewählt.

2.2 Durchführung zu Termin 8

Der Versuchsaufbau im 8.Termin des Praktikums ähnelte sehr dem Aufbau aus 7.Termin. Anstatt den Motorstrom und das Tachosignal aufzunehmen, haben wir diesesmal nur den Strom (AC- und DC-Anteil) des fehlerfreien Universalmotors aufgenommen. Dieses Signal wurde dann mithilfe von Haar- und Daubechies-Wavelets zerlegt und untersucht. Dabei sollten geeignete Approximations- und Detailsdarstellungen gewählt werden, um den Einschaltzeitpunkt und den Drehzahlanstieg über der Zeit darzustellen.

Außerdem wurde der Strom (nur AC-Anteil) des fehlerfreien Motors und des Motors mit Lamellenfehler im stationären Zustand aufgenommen. Diese Stromsignale der zwei verschiedenen Motoren wurden dann anhand der Wavelets auf Unterschiede untersucht. Die Ergebnisse werden in der Auswertung diskutiert.

3 Auswertung

3.1 Auswertung Termin 7

Zunächst soll die Drehzahl des Motors durch das Tachosignal bestimmt werden. Dazu werden die Funktionen aus den Vorbereitungsaufgaben verwendet. Die Drehzahl wird einmal direkt im Zeitbereich bestimmt und einmal durch eine Auswertung im Frequenzbereich.

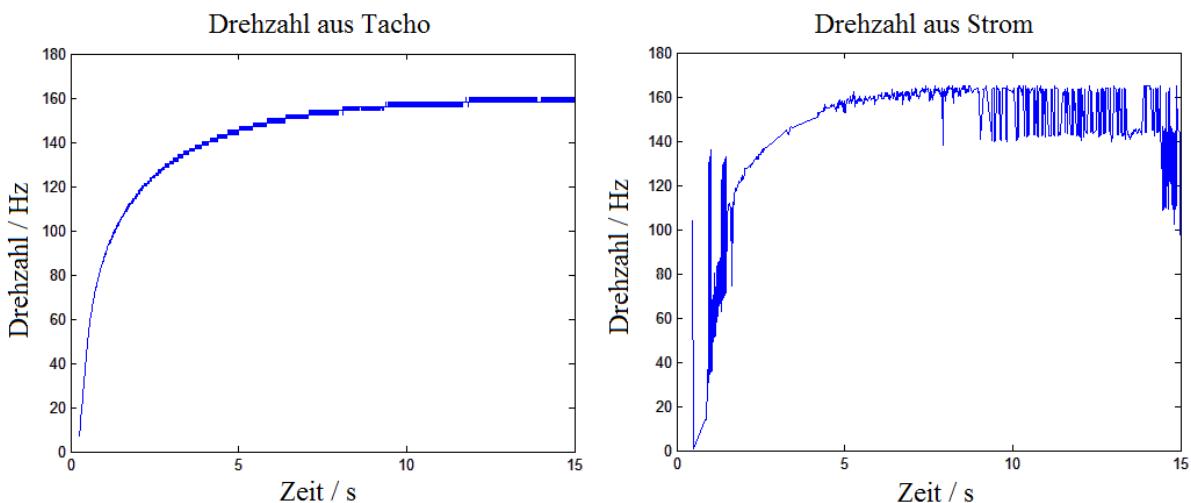


Abb. 30: Drehzahl im Zeitbereich bestimmt

Die zeitliche Auflösung ist im Zeitbereich sehr gut. Da das Tachosignal nur eine Frequenz zur Zeit enthält, kann diese auch noch gut bestimmt werden. Allerdings ist der Verlauf der Drehzahlkurve sprungartig. Die Frequenzauflösung ist also etwas grob. Das Stromsignal enthält viele verschiedene Oberwellen. Die zeitliche Auflösung ist zwar immer noch sehr gut, allerdings können die vielen verschiedenen Frequenzen nicht mehr richtig voneinander getrennt werden. Pro Zeitpunkt ist nur eine Frequenz aus dem Plot ablesbar. Dennoch haben beide Kurven die selbe Tendenz. Das Tachosignal, liefert aber wesentlich bessere Ergebnisse.

Im Gegensatz zum Zeitbereich, sind im Frequenzbereich mehrere Frequenzen gleichzeitig zu erkennen. Diese sind zeitlich aber nicht mehr so gut aufgelöst. Nun sind im Stromsignal mehrerer Oberwellen zu erkennen. Die Verläufe der Oberwellen sind gut zu erkennen. Daher kann nun einfach die Drehzahl bestimmt werden, wenn auch nur für Zeitbereich und nicht für Zeitpunkte. Im Gegensatz dazu ist das Tachosignal wesentlich schlechter zu erkennen. Es wurde zeitliche Auflösung aufgegeben um eine bessere Frequenzauflösung zu erhalten. Diese ist aber wertlos, da es nur eine Frequenz im Signal enthalten ist. Zusätzlich kommt es durch die nicht unendliche Frequenzauflösung dazu, dass die genaue Frequenz nicht genau erkannt werden kann. Das Spektrogramm des Tachosignals ist ungeeignet um die Drehzahl des Motors zu messen. Mit dem Spektrogramm des Stroms sind hier wesentlich bessere Ergebnisse zu erzielen.

Die zeitliche Messung des Tachosignals und die Frequenzmessung des Stroms ergeben eine Drehzahl von ca. $9600 \frac{U}{min}$. Die selbe Tendenz ist mit der zeitlichen Messung des Stroms zu erkennen, kann allerdings nicht so genau bestimmt werden. Die Frequenzmessung des Tachosignals ist viel zu ungenau. Es wurde eine ungefähre Drehzahl von $3750 \frac{U}{min}$ erkannt, diese weicht aber zu stark von den anderen Messungen ab und sollte kritisch betrachtet werden.

3 AUSWERTUNG

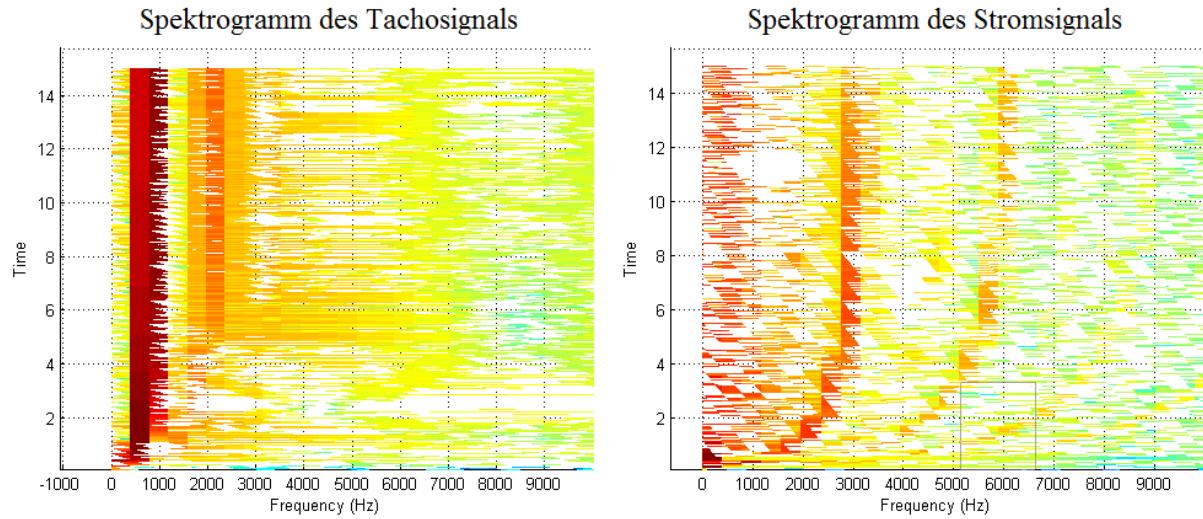


Abb. 31: Drehzahl im Zeitbereich bestimmt

3.2 Auswertung Termin 8

Zunächst werten wir die Messung des Motorstroms am hochfahrenden Universalmotor, indem wir das Originalsignal mit einem Haar- und einem Daubechies-Wavelet zerlegen und uns die Details und die Approximationen bis zum 12. Level angucken. Die geplotteten Ergebnisse sind hier:

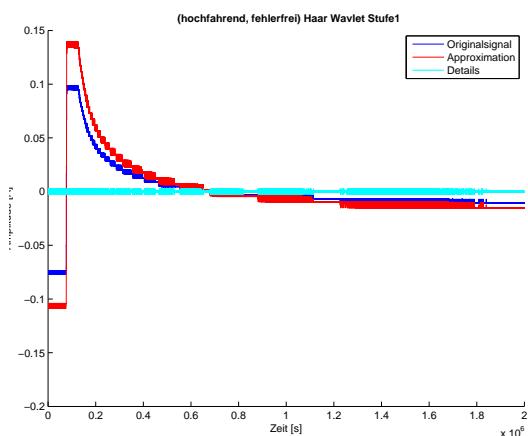


Abb. 32: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 1

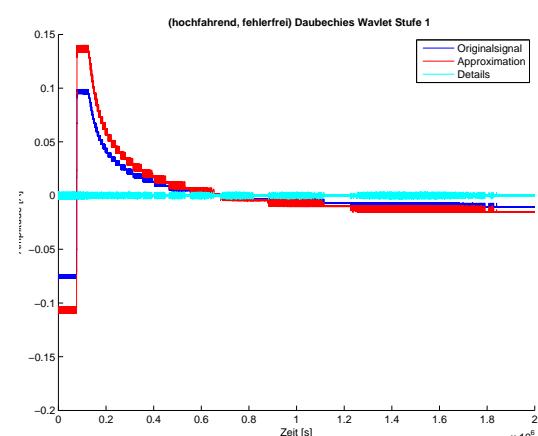


Abb. 33: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 1

3 AUSWERTUNG

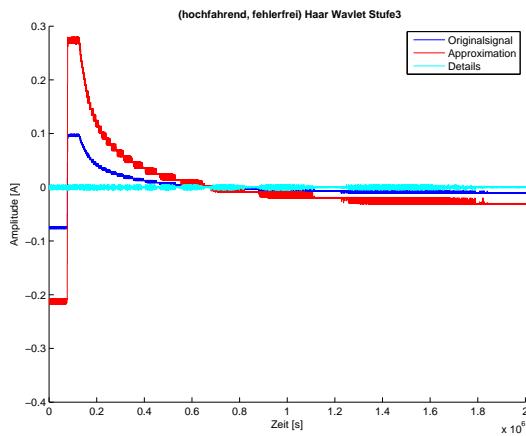


Abb. 34: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 3

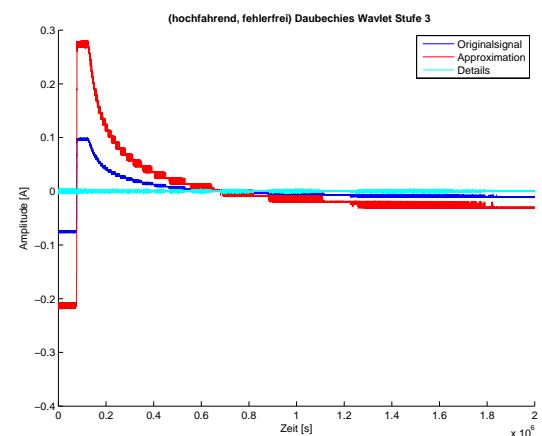


Abb. 35: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 3

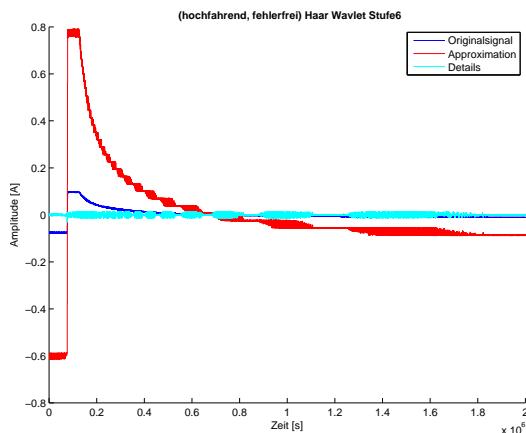


Abb. 36: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 6

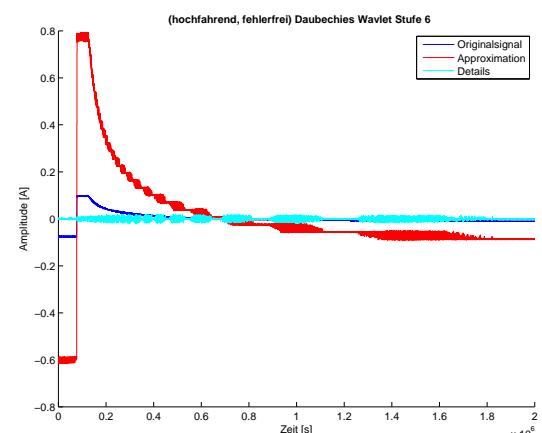


Abb. 37: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 6

3 AUSWERTUNG

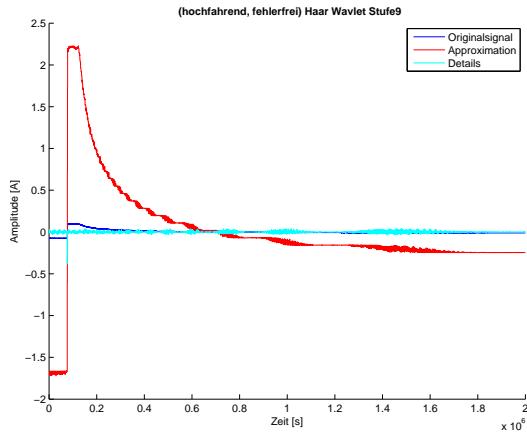


Abb. 38: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 9

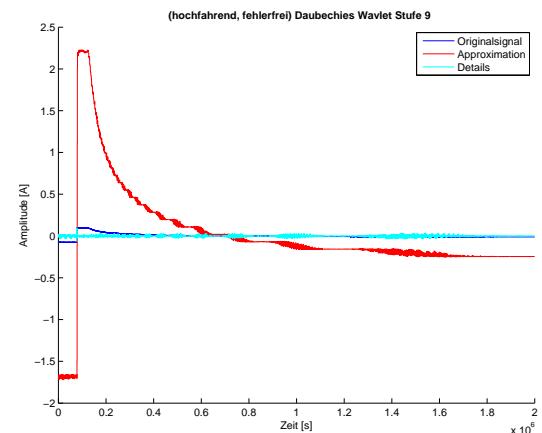


Abb. 39: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 9

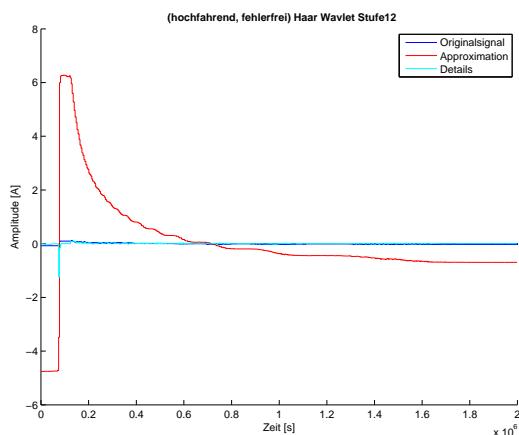


Abb. 40: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 12

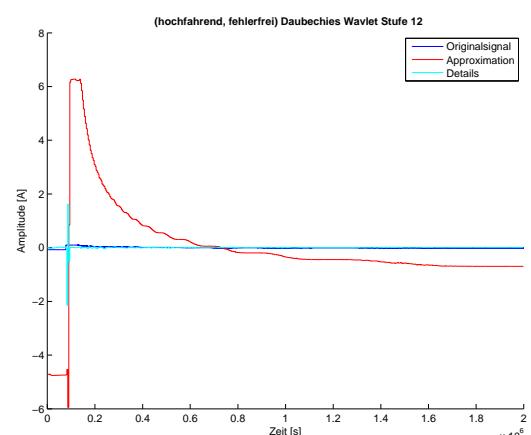


Abb. 41: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 12

3 AUSWERTUNG

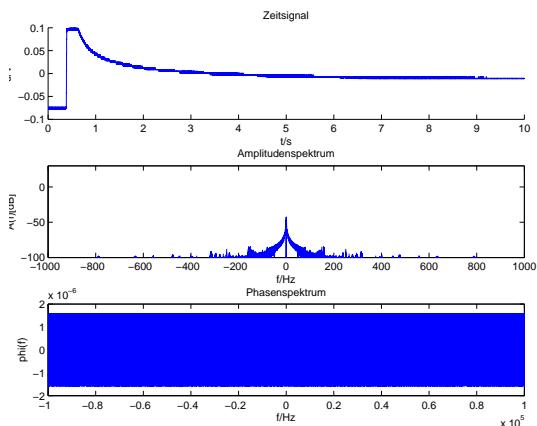


Abb. 42: Strom-Spektrum bei hochlaufendem Motor

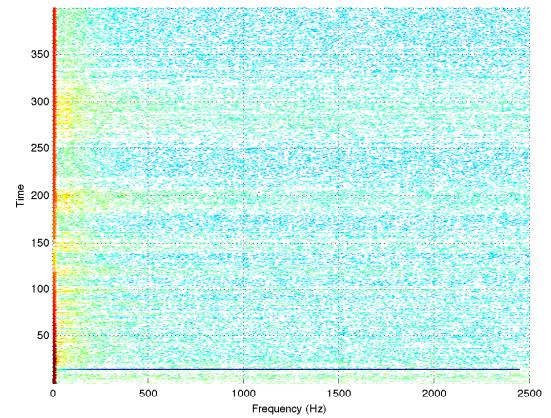


Abb. 43: Strom-Spectrogramm bei hochlaufendem Motor

Sowohl in der Zerlegung durch ein Haar-, als auch in der Zerlegung mit einem Daubechies-Wavelet kann man sehen, dass die Approximationsskurven, wie erwartet den Originalsignalverlauf annehmen, auch wenn Unterschiede in der Amplitude vorhanden sind. Das relevante an diesen Darstellungen ist erst ab Level 9 sichtbar. Im 9. Level kann man erkennen, dass die Detailkurven in beiden Zerlegungen einen Ausschlag in dem Zeitpunkt des Motoranschaltens vorweisen. Bei dem Haar-Wavelet ist dieser Peak negativ, bei dem Daubechies-Wavelet dagegen im 9. Level erst positiv, im 12. Level aber sowohl in den negativen als auch in den positiven Bereich ausgeprägt. Diese Peaks in den Detailkurven verdeutlichen damit den Anschaltvorgang des Universalmotors.

Im Zeitsignal des Spektrums kann man zunächst den hohen Anlaufstrom des Motors erkennen. Die Bandbreite im Amplitudenspektrum ist relativ klein und die kleinsten Frequenzen besitzen dementsprechend die größten Amplituden.

Das Spektrogramm, in dem nur nennenswerte Frequenzen bis zu ca. 1kHz zu erkennen sind, enthält auch andere Frequenzanteile (deutlich durch die gelbe bis hin zur türkisen Farbe), welche wir als Rauschfrequenzen definieren. Dass am Anfang der Zeitachse die gelben Bereiche häufiger vorkommen, als am Ende, wenn der Strom gesättigt ist, liegt daran, dass im Anlaufstrom große Veränderungen vorhanden sind, wodurch auch größere Frequenzanteile entstehen.

Als nächstes werden die Stromsignale im stationären Zustand eines fehlerfreien Motors und eines Motors mit Lamellenfehler anhand der beiden verwendeten Wavelets zerlegt und untersucht. Zuerst werden die Zerlegungen der fehlerfreien Motorstroms diskutiert:

3 AUSWERTUNG

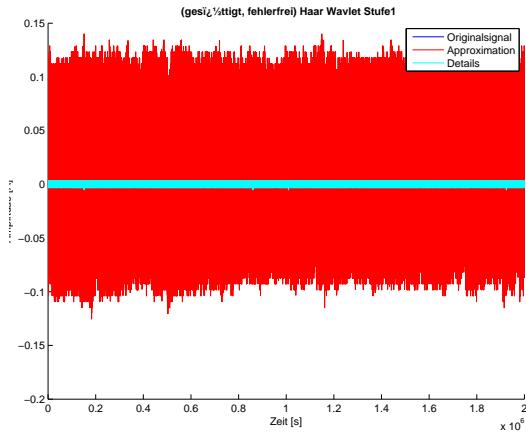


Abb. 44: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 1

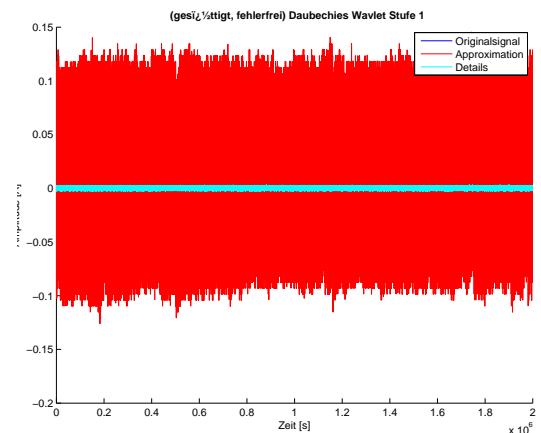


Abb. 45: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 1

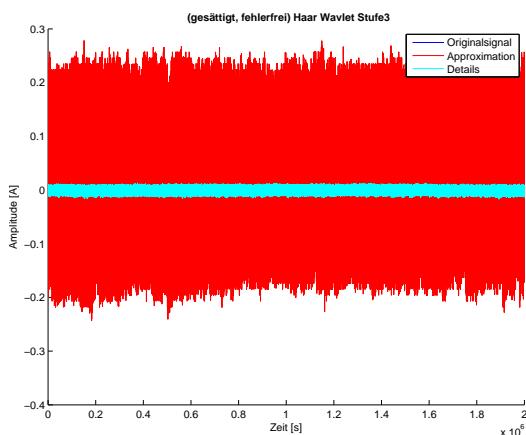


Abb. 46: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 3

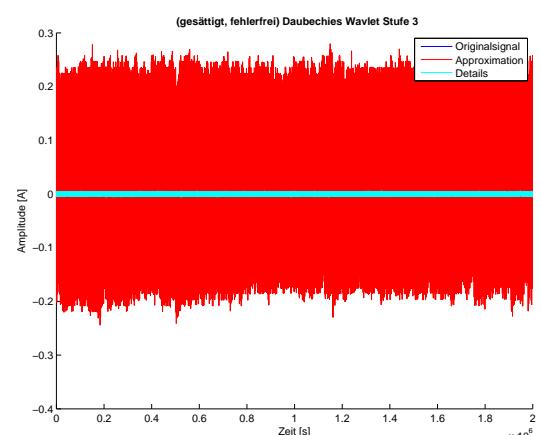


Abb. 47: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 3

3 AUSWERTUNG

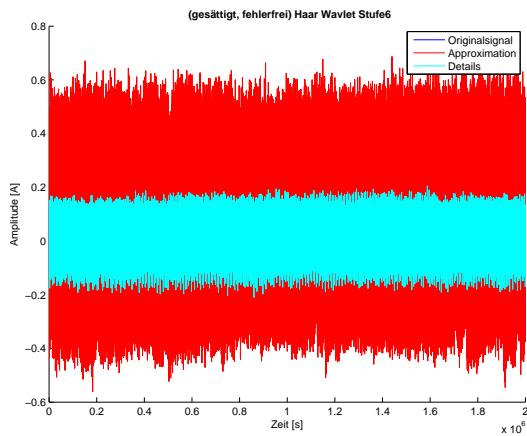


Abb. 48: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 6

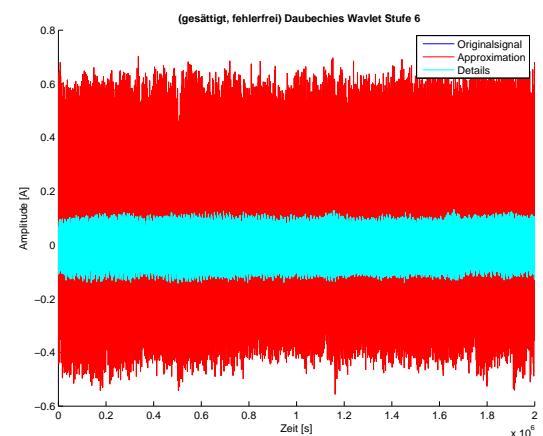


Abb. 49: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 6

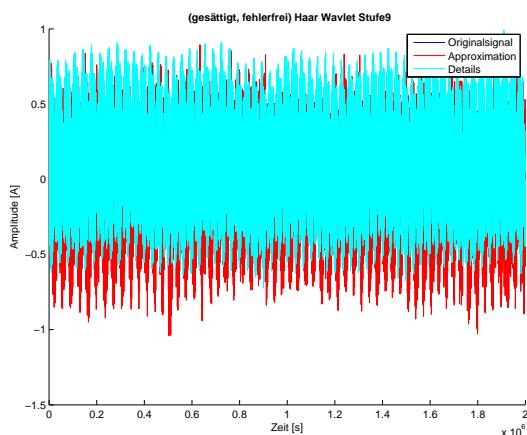


Abb. 50: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 9

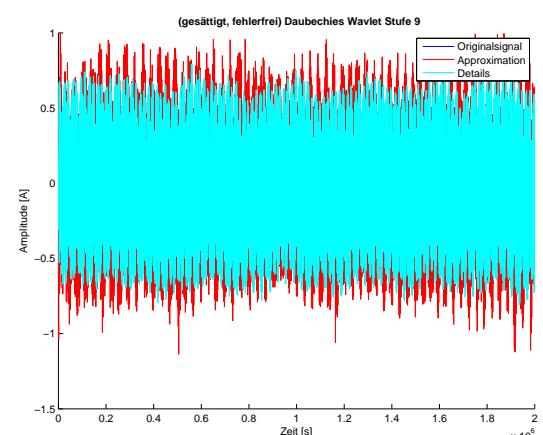


Abb. 51: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 9

3 AUSWERTUNG

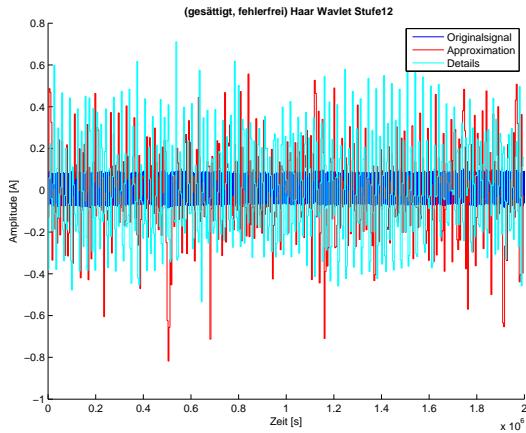


Abb. 52: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 12

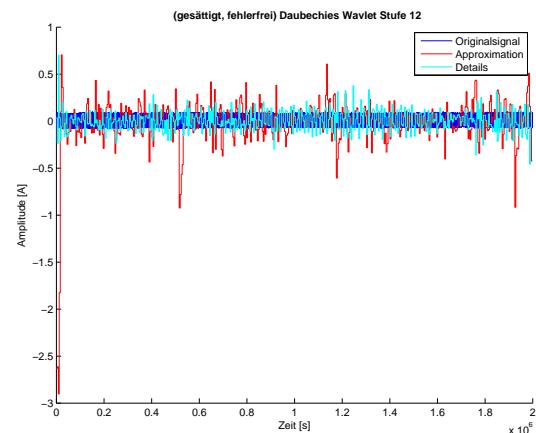


Abb. 53: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 12

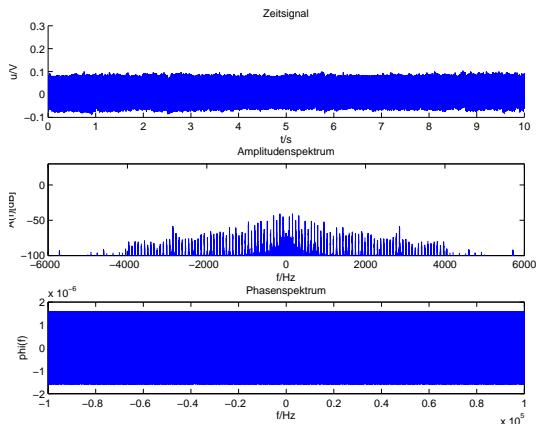


Abb. 54: Strom-Spektrum, fehlerfrei und gesättigt

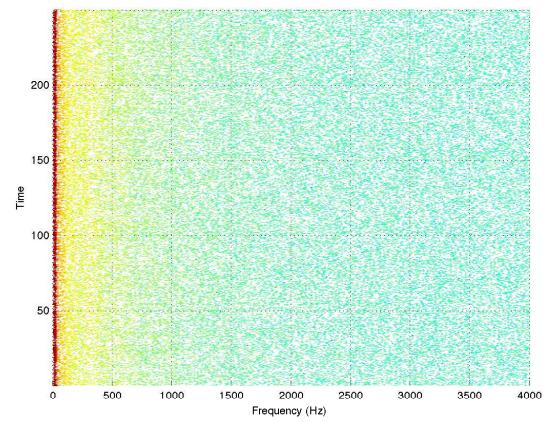


Abb. 55: Strom-Spectrogramm, fehlerfrei und gesättigt

An den Zerlegungen des Stromsignals anhand beiden Wavelets kann man zunächst erkennen, dass die Approximationen stets das komplette Originalsignal überlagern, da sie den selben Verlauf mit einer höheren Amplitude annehmen. Die Details haben bei beiden Wavelets eine relativ kleine Amplitude bis zum 3. Level, wobei die Amplituden der Daubechies-Wavelets-Details stets etwas niedriger ausfallen. Ab dem 6. Level, steigen die Amplituden an, bis sie im 9. bis 12. Level fast so hoch sind, wie die Amplituden der Approximationen. Auch der Verlauf der Details ähnelt sich stark dem Stromverlauf im gesättigten Zustand.

Das Spektrum zeigt uns ein erwartetes Strom-Zeitsignal, wobei das Amplitudenspektrum Frequenzanteile bis zu $4kHz$ aufweist. Das Spektrogramm zeigt Frequenzanteile bis zu $100Hz$, wobei auch hier ein leichter Übergang von rot zu gelb bis zu ca. $300Hz$ vorhanden ist. Den blauen Bereich des Spektrogramms kann man erneut als Rauschen definieren.

3 AUSWERTUNG

Als nächstes folgen die Zerlegungen des Stroms bei dem mit Lamellenfehler belasteten Motor:

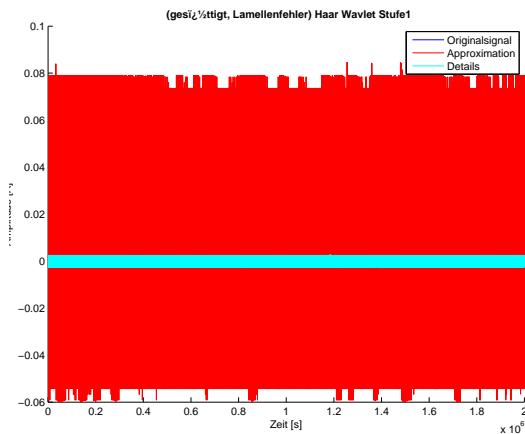


Abb. 56: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 1

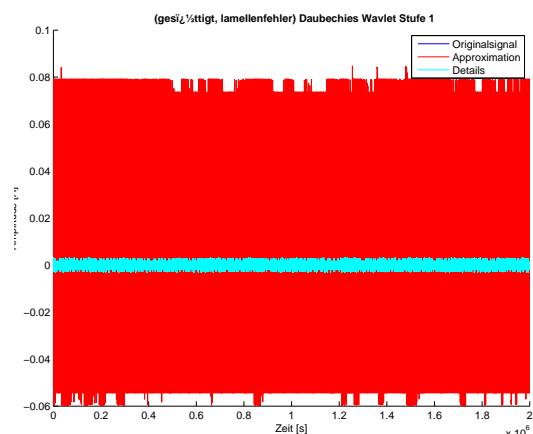


Abb. 57: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 1

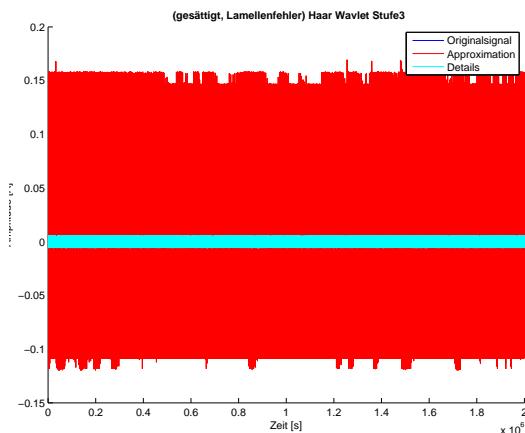


Abb. 58: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 3

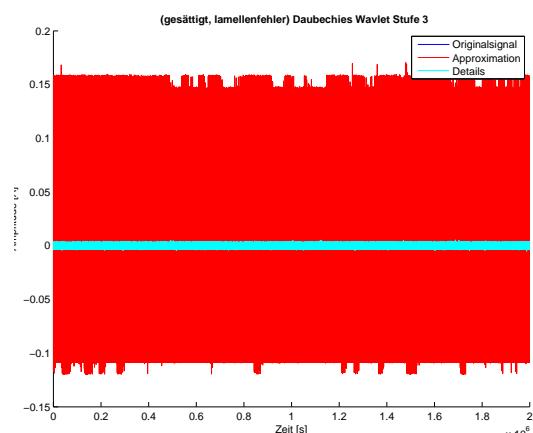


Abb. 59: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 3

3 AUSWERTUNG

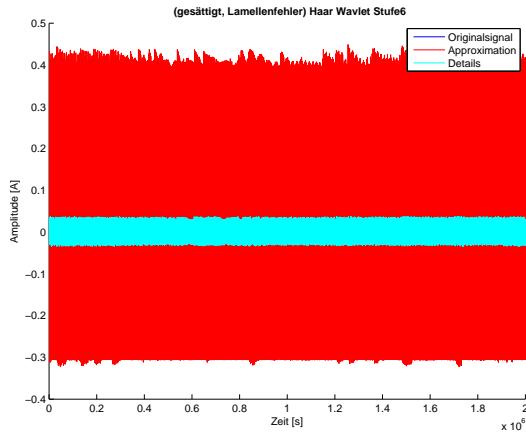


Abb. 60: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 6

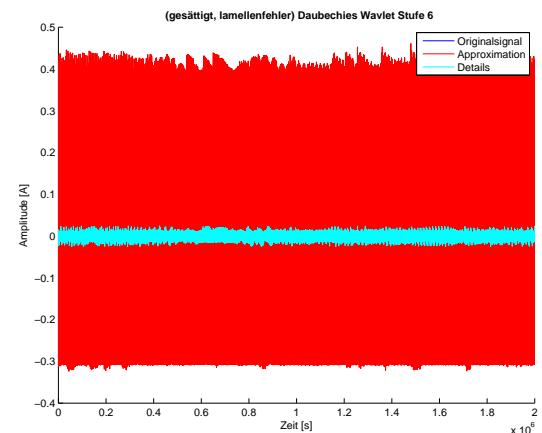


Abb. 61: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 6

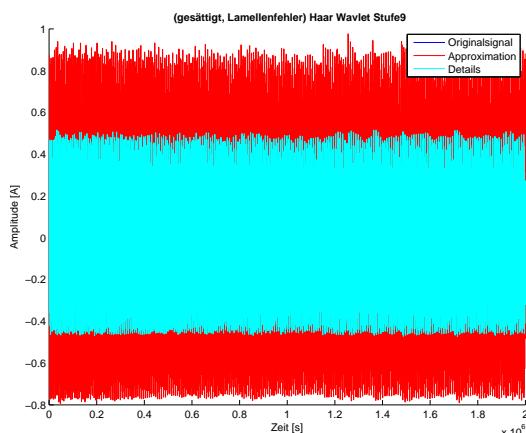


Abb. 62: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 9

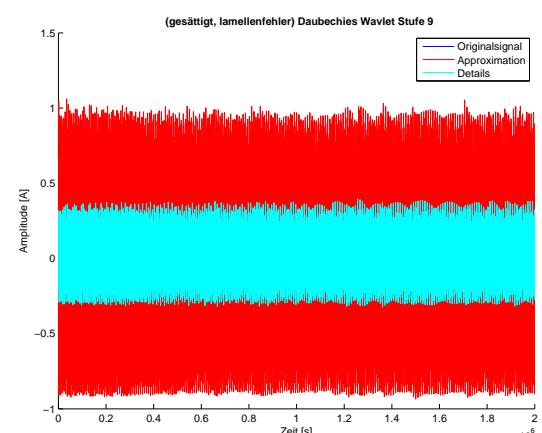


Abb. 63: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 9

3 AUSWERTUNG

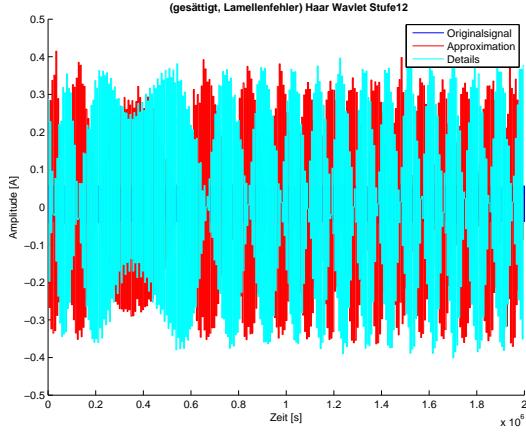


Abb. 64: Haar-Wavelet Zerlegung, Level 12

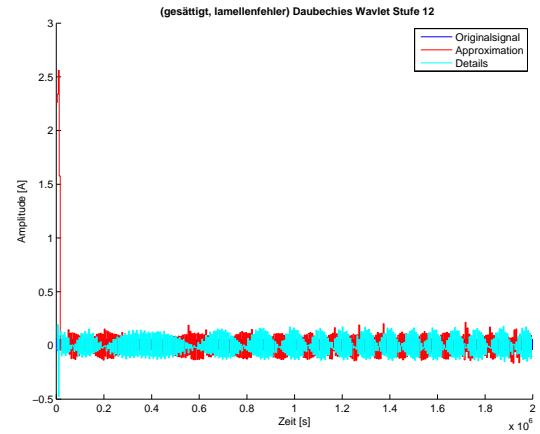


Abb. 65: Daubechies-Wavelet Zerlegung, Level 12

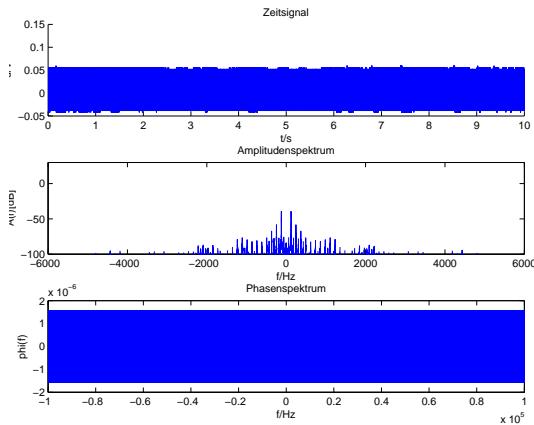


Abb. 66: Strom-Spektrum, mit Lamellenfehler und gesättigt

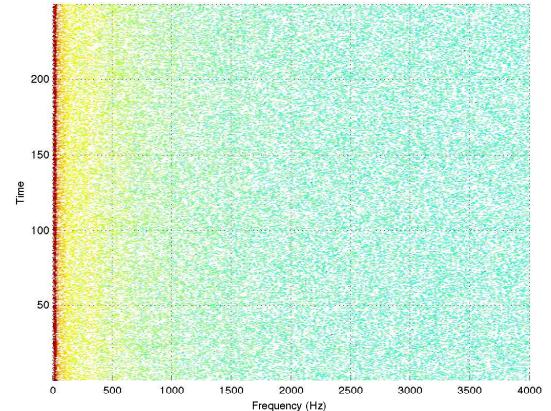


Abb. 67: Strom-Spectrogramm, mit Lamellenfehler und gesättigt

Auch bei den Zerlegungen des Stromsignals des Motors mit Lamellenfehler kann man die Originalsignale nicht mehr sehen, da sie von den Approximationskurven mit gleichem Verlauf und höheren Amplituden überlagert werden. Die Detailkurven werden bis zu Level 9 konstant in der Amplitude größer. In Level 12 kann man dann auffällige Welligkeiten im Verlauf feststellen. Abhängig von der Zeit entstehen Wellenbäuche und -täler, welche auf den Lamellenfehler im Motor zurückzuführen sind. Da diese Art von Auffälligkeiten in der Zerlegung von gesättigten Stromsignalen auftreten, ist der Einsatz von Wavelets in der Fehlerdiagnose von Motoren möglich.

Ähnliche Welligkeiten machen sich auch im Amplitudenspektrum bemerkbar. Im Spektrogramm dagegen ist keine Auffälligkeit wahrnehmbar, außer dass der Farbverlauf von rot (den nennenswerten Frequenzen) zu gelb (weniger relevante Frequenzen) ein wenig unklarer Verläuft als beim Spektrogramm des fehlerfreien Motors.

4 Quellcodes

4.1 Codes aus Termin 7

4.1.1 Frequenzverlauf über der Zeit

Listing 1: frequenz imZeitbereich ausSignal

```

1 %Funktion zum Errechnen der Frequenz aus dem Zeitsignal
2
3 function frequenz_imZeitbereich_ausSignal (u, t)
4
5 p = length(t);
6 q = max(t)/p;
7
8 i = 0;
9 for k = 1:1:length(u)-1 %i = Anzahl der Nulldurchge
10    if (u(k) < 0 && u(k+1) >=0) || (u(k) > 0 && u(k+1) <=0)
11        i = i+1;
12    end
13 end
14
15 nulldurchgang = ones(1,i)*-9; %Vektor der Le i
16
17 j = 1;
18 for indx = 1:1:length(u)-1
19    if (u(indx) < 0 && u(indx+1) >=0) || (u(indx) > 0 && u(indx+1) <=0)
20        if abs(u(indx)) > abs(u(indx+1))
21            nulldurchgang(j) = indx+1;
22        else
23            nulldurchgang(j) = indx; %Index, welcher am nstens am Nulldurchgang ist, wird
24            bernommen
25        end
26        j = j+1;
27    end
28 end
29
30 %Vektor fr Frequenzeintr
31 v = length(nulldurchgang);
32 frequenzen = ones(1,v)*-9;
33
34 for n = 1:v-4 %4 Nulldurchge , also 2 Perioden werden betrachtet
35    diff = nulldurchgang(n+4)-nulldurchgang(n);
36    frequenzen(n) = 1/(diff*0.5*q);
37 end
38
39 figure(1);
40 [AX H1 H2] = plotyy(t,u,nulldurchgang*(max(t)/p),frequenzen,'plot','stem');
41 % AXIS([0 2 -1.1 1.1]);
42 xlabel('Zeitachse[s]');
43 set(get(AX(1),'Ylabel'), 'String', 'Amplitude[V]');
44 set(get(AX(2),'Ylabel'), 'String', 'Frequenz[Hz]');
45 title ('bf.u-Signal_und_Frequenzanstieg_ber_die_Zeit');
46 end

```

4.1.2 Frequenzverlauf aus dem Spektrogram

Listing 2: frequenz durch Spektrogramm

```

1 % Funktion zur Errechnung der Frequenzen durch das Spektrogramm
2
3 function frequenz_durch_Spektrogramm(x_t,t)
4
5
6 N=length(t);
7 fs=N/max(t);
8
9 wnsize=256;
10 wnooverlap= 250;
11 nr_abtastwerte_frequenz= 256;
12
13 [S,F,T]=spectrogram(x_t,wnsize,wnoverlap,nr_abtastwerte_frequenz,fs);
14
15 %spectrogram(x_t,wnsize,wnoverlap,nr_abtastwerte_frequenz,fs);
16
17 groesse = size(S);
18 maxfrequ = ones(1,groesse(1))*-9;
19 maxfrequ_umgerechnet = ones(1,groesse(1))*-9;
20 maxindx = ones(1,groesse(1))*-8;
21 maxindx_umgerechnet = ones(1,groesse(1))*-8;
22
23 for i=1:groesse(2)
24 [maxfrequ(i) maxindx(i)] = max(abs(S(:,i)));
25 maxfrequ_umgerechnet(i) = F(round(maxindx(i)+1));
26 maxindx_umgerechnet(i) = T(round(i));
27 end
28
29 maxindx_umgerechnet
30
31 figure(204);
32 [AX H1 H2] = plotyy(t,x_t,maxindx_umgerechnet,maxfrequ_umgerechnet,'plot','stem');
33 % AXIS([0 2 -1.1 1.1]);
34 xlabel('Zeitachse [s]');
35 set(get(AX(1),'Ylabel'), 'String', 'Amplitude [V]');
36 set(get(AX(2),'Ylabel'), 'String', 'Frequenz [Hz]');
37 title ('\bf Chirp-Signal und Frequenzanstieg über die Zeit');
38 end

```

4.1.3 Algorithmus zur Drehfrequenzberechnung

Listing 3: Algorithmus zur Drehfrequenzberechnung

```

1 %MDV Praktikum 7 Vorbereitungsaufgabe 4 – Testprogramm
2
3 clear all ; clc; close all ;
4
5 %Messwerte laden
6 messung1 = load('MotorStrom_10V_100kS.mat');
7 messung2 = load('MotorStrom_20V_100kS.mat');
8 messung3 = load('MotorStrom_30V_100kS.mat');
9
10 % Strme und Tachos identifizieren
11 strom1 = messung1.strom;
12 tacho1 = messung1.tacho;
13 strom2 = messung2.strom;
14 tacho2 = messung2.tacho;

```

```

15 strom3 = messung3.strom;
16 tacho3 = messung3.tacho;
17
18 %Versorgungsspannungen
19 A1 = 10;
20 A2 = 20;
21 A3 = 30;
22
23 f_T = 100000;
24 T_ges = 1/f_T;
25
26 %plottet Spektren der strme
27 [y_DFT_abs_10V_strom f_DFT_10V_strom]= MotorStrom_Amplitudenspektrum(strom1,T_ges,f_T,10,'b'
28 ,1);
28 [y_DFT_abs_20V_strom f_DFT_20V_strom]= MotorStrom_Amplitudenspektrum(strom2,T_ges,f_T,10,'b'
29 ,2);
29 [y_DFT_abs_30V_strom f_DFT_30V_strom]= MotorStrom_Amplitudenspektrum(strom3,T_ges,f_T,10,'b'
30 ,3);
31
32 %findet Index vom hchsten Peak
33 [maxwert10_strom maxind10_strom]= max(y_DFT_abs_10V_strom);
34 [maxwert20_strom maxind20_strom]= max(y_DFT_abs_20V_strom);
35 [maxwert30_strom maxind30_strom]= max(y_DFT_abs_30V_strom);
36
37 %berechnet entsprechende Drehzahl
38 Drehzahl_Motor_10V_strom = abs(f_DFT_10V_strom(maxind10_strom))/18
39 Drehzahl_Motor_20V_strom = abs(f_DFT_20V_strom(maxind20_strom))/18
40 Drehzahl_Motor_30V_strom = abs(f_DFT_30V_strom(maxind30_strom))/18
41
42 %plottet Spektren der tachos
43 [y_DFT_abs_10V_tacho f_DFT_10V_tacho]= MotorStrom_Amplitudenspektrum(tacho1,T_ges,f_T,10,'b'
44 ,4);
44 [y_DFT_abs_20V_tacho f_DFT_20V_tacho]= MotorStrom_Amplitudenspektrum(tacho2,T_ges,f_T,20,'b'
45 ,5);
45 [y_DFT_abs_30V_tacho f_DFT_30V_tacho]= MotorStrom_Amplitudenspektrum(tacho3,T_ges,f_T,30,'b'
46 ,6);
47
48 %findet Index vom hchsten Peak
49 [maxwert10_tacho maxind10_tacho]= max(y_DFT_abs_10V_tacho);
50 [maxwert20_tacho maxind20_tacho]= max(y_DFT_abs_20V_tacho);
51 [maxwert30_tacho maxind30_tacho]= max(y_DFT_abs_30V_tacho);
52
53 %berechnet entsprechende Drehzahl
54 Drehzahl_Motor_10V_tacho = abs(f_DFT_10V_tacho(maxind10_tacho))/8
55 Drehzahl_Motor_20V_tacho = abs(f_DFT_20V_tacho(maxind20_tacho))/8
56 Drehzahl_Motor_30V_tacho = abs(f_DFT_30V_tacho(maxind30_tacho))/8
57
58 % Drehzahl_Motor_10V_tacho/Drehzahl_Motor_10V_strom
59 % Drehzahl_Motor_20V_tacho/Drehzahl_Motor_20V_strom
60 % Drehzahl_Motor_30V_tacho/Drehzahl_Motor_30V_strom
61
62 Drehzahl_Motor_10V_tacho/Drehzahl_Motor_10V_strom
63 Drehzahl_Motor_20V_tacho/Drehzahl_Motor_20V_strom
64 Drehzahl_Motor_30V_tacho/Drehzahl_Motor_30V_strom

```

4.2 Codes aus Termin 8

4.2.1 Funktion haardec.m

Listing 4: Funktion haardec.m

```

1 % Vorbereitungsaufgabe 1.1 Termin 8
2 function [u,v] = haardec_8_1_1(x)
3 % function [u,v] = haardec(x)
4 %
5 % filename :      haardec
6 % author:        g Dogan, Timo Lausen, Boris Hendkell
7 % organisation : TU Berlin
8 % p r o j e c t : MDV PR
9 % date :         04.07.2012
10 %
11 % description : fht einen Zerlegungsschritt
12 %                  der schnellen Haartransformation durch
13 % input :          x - zu zerlegendes Signal
14 % output :         u - Approximationen
15 %                  v - Details
16 %
17
18 N = length(x);
19 u = ones(1,N/2)*-99;
20 v = ones(1,N/2)*-88;
21 j=1;
22 for i=1:N/2
23     u(i) = (x(j)+x(j+1))/sqrt(2);
24     v(i) = (x(j)-x(j+1))/sqrt(2);
25     j=j+2;
26 end

```

4.2.2 Funktion haardeclevel.m

Listing 5: Funktion haardeclevel.m

```

1 % Vorbereitungsaufgabe 1.2 Termin 8
2 function S = haardeclevel_8_1_2(x,lvl)
3 % function [S] = haardeclevel(x, lvl )
4 %
5 % filename :      haardeclevel
6 % author:        g Dogan, Timo Lausen, Boris Hendkell
7 % organisation : TU Berlin
8 % p r o j e c t : MDV PR
9 % date :         04.07.2012
10 %
11 % description : fht die schnelle Haartransformation
12 %                  bis zu einem vorgegebenen
13 %                  Skalierungslevel durch
14 % input: x    ? zu zerlegendes Signal
15 %         lvl ? Skalierungslevel
16 % output: S   ? Matrix mit Skalierungen und Details
17 %                  Dimensionen: lvl+1: Signalle
18 %                  Jede Zeile enth die Approximationen
19 %                  gefolgt von den Details eines Levels
20 %
21 N = length(x);

```

```

22 S = ones(lvl+1,N)*-77;
23
24 S(1,:) = x;
25 u = x;
26 for i=2:lvl+1
27 [u v] = haardec_8_1_1(u);
28 N2 = length(u);
29 S(i ,:) = [u,v,S(i-1,2*N2+1:N)];
30 end

```

4.2.3 Funktion getAppDet.m

Listing 6: Funktion getAppDet.m

```

1 % Vorbereitungsaufgabe 1.3 Termin 8
2 function [u,v] = getAppDet_8_1_3(S, lvl )
3 % function [u,v] = getAppDet(S, lvl )
4 %
5 % filename :      getAppDet
6 % author:        g Dogan, Timo Lausen, Boris Hendkell
7 % organisation : TU Berlin
8 % p r o j e c t : MDV PR
9 % date :         04.07.2012
10 %
11 % description : extrahiert die Approximationen
12 %                 und details eines Levels
13 % input :        S ? Matrix mit Signalzerlegung
14 %                 lvl ? Skalierungslevel
15 % output :       u ? Approximationen
16 %                 v ? Details
17 %
18 [M N] = size(S);
19 u = S(lvl+1,(1:N/(2^lvl)));
20 % v = S(lvl+1,(N/(2^lvl)+1:N));
21 v = S(lvl+1,(N/(2^lvl)+1:2*N/(2^lvl)));

```

4.2.4 Funktion Daubechies_Wavelets.m

Listing 7: Funktion Daubechies_Wavelets.m

```

1 %MDV Praktikum 8 Vorbereitungsaufgabe 3
2 %Daubechies-Wavelets
3 %Bemerkung: Anzahl der verschwindenden Momenten variierbar durch
4 %db1,db4,db15
5
6
7 function [approx details] = Daubechies_Wavelets(x,lvl, db)
8
9 %Skalierungslevel variabel
10 N = lvl ;
11
12 %mittels wavedec: Daubechies-Wavelet ('db1'-wavename)
13 % C      = [app. coef.(N)|det. coef.(N) |... |det. coef.(1)]
14 % L(1)   = length of app. coef.(N)
15 % L(i)   = length of det. coef.(N-i+2) for i = 2,..., N+1
16 % L(N+2) = length(X)

```

```

17 [C,L] = wavedec(x,N,db);
18
19 %mittel appcoef: Berechnung der App.Koeffizienten in Level N
20 %gibt Vektor approx der Lnge L(1) mit den Koeffizienten aus
21 approx = appcoef(C,L,db,N);
22
23 %mittels detcoef: Berechnung der Det.Koeffizienten in Level N
24 %gibt Vektor details der Lnge L(1) mit den Koeffizienten aus
25 %braucht keine Wavelet–Vorgabe mehr, nur Ergebnisse aus wavedec
26 details = detcoef(C,L,N);

```

4.2.5 Vorbereitungsaufgaben Plots

Listing 8: Aufrufe für die Plots

```

1 % Vorbereitungsaufgaben 8
2
3 close all; clc, clear;
4
5 load('strom');
6
7 Bilder_abspeichern = 0;
8
9 S = haardeclevel_8_1_2(x,5);
10
11 fignum=801;
12 for lvl=1:5
13     %% errechnen der Approximation und Details des jeweiligen Levels
14     [u v] = getAppDet_8_1_3(S, lvl);
15
16     [ud vd] = Daubechies_Wavelets(x,lvl,'db3');
17     [ud1 vd1] = Daubechies_Wavelets(x,lvl,'db1');
18     [ud5 vd5] = Daubechies_Wavelets(x,lvl,'db5');
19     [ud10 vd10] = Daubechies_Wavelets(x,lvl,'db10');
20     [ud15 vd15] = Daubechies_Wavelets(x,lvl,'db15');
21
22     %% Strecken des Approximation und der Details
23     N=length(u);
24     u2=ones(1,N*2^lvl);
25     v2=ones(1,N*2^lvl);
26
27     ud2 = ones(1,N*2^lvl);
28     vd2 = ones(1,N*2^lvl);
29     ud21 = ones(1,N*2^lvl);
30     vd21 = ones(1,N*2^lvl);
31     ud25 = ones(1,N*2^lvl);
32     vd25 = ones(1,N*2^lvl);
33     ud210 = ones(1,N*2^lvl);
34     vd210 = ones(1,N*2^lvl);
35     ud215 = ones(1,N*2^lvl);
36     vd215 = ones(1,N*2^lvl);
37
38
39 j=1;
40 % Die Approximation und die Details auf die Le von x normieren
41 for i=1:N
42     for k=1:2^lvl
43         u2(j) = u(i);

```

```

44      v2(j) = v(i);
45      ud2(j) = ud(i);
46      vd2(j) = vd(i);
47      ud21(j) = ud1(i);
48      vd21(j) = vd1(i);
49      ud25(j) = ud5(i);
50      vd25(j) = vd5(i);
51      ud210(j) = ud10(i);
52      vd210(j) = vd10(i);
53      ud215(j) = ud15(i);
54      vd215(j) = vd15(i);
55      j = j+1;
56    end
57 end
58
59 %% plotten der Approximation und der Details
60 %Haar-Wavelet
61 figure(fignum);
62 hold on
63 plot(x)
64 plot(u2,'r')
65 plot(v2,'c')
66 hold off
67 title ([ '\bf Haar_Wavlet_Stufe',num2str(lvl)]);
68 xlabel('Zeit [s]');
69 ylabel('Amplitude [A]');
70 legend('Originalsignal', 'Approximation', 'Details');
71
72 if Bilder_abspeichern == 1
73   figure(fignum);
74   name=[ '../ Bilder/Termin8/Haar_Wavlet_lvl',num2str(lvl),'.pdf'];
75   print('-painters',' -dpdf',' -r600',name)
76 end
77
78 fignum= fignum+1;
79
80 % Daubechies-Wavelet
81
82 figure(fignum);
83 hold on
84 plot(x)
85 plot(ud2,'r')
86 plot(vd2,'c')
87 hold off
88 xlabel('Zeit [s]');
89 ylabel('Amplitude [A]');
90 legend('Originalsignal', 'Approximation', 'Details');
91
92 title ([ '\bf Daubechies_Wavlet_Stufe',num2str(lvl)]);
93
94 if Bilder_abspeichern == 1
95   figure(fignum);
96   name=[ '../ Bilder/Termin8/Daubechies_Wavlet_lvl',num2str(lvl),'.pdf'];
97   print('-painters',' -dpdf',' -r600',name)
98 end
99
100 fignum= fignum+1;
101
102 % 1db Daubechies-Wavelet

```

```

103
104 figure(fignum);
105 hold on
106 plot(x)
107 plot(ud21,'r')
108 plot(vd21,'c')
109 hold off
110 xlabel('Zeit [s]');
111 ylabel('Amplitude [A]');
112 legend('Originalsignal', 'Approximation', 'Details');
113
114
115 title ([ '\bf{Daubechies-Wavlet_1dB_Stufe}',num2str(lvl)]);
116
117 if Bilder_abspeichern == 1
118 figure(fignum);
119 name=[ '../ Bilder/Termin8/Daubechies_Wavlet_1db_lvl',num2str(lvl),'.pdf'];
120 print('-painters',' -dpdf', '-r600',name)
121 end
122
123 fignum= fignum+1;
124
125 % 5db Daubechies-Wavelet
126
127 figure(fignum);
128 hold on
129 plot(x)
130 plot(ud25,'r')
131 plot(vd25,'c')
132 hold off
133 title ([ '\bf{Daubechies-Wavlet_5dB_Stufe}',num2str(lvl)]);
134 xlabel('Zeit [s]');
135 ylabel('Amplitude [A]');
136 legend('Originalsignal', 'Approximation', 'Details');
137
138 if Bilder_abspeichern == 1
139 figure(fignum);
140 name=[ '../ Bilder/Termin8/Daubechies_Wavlet_5db_lvl',num2str(lvl),'.pdf'];
141 print('-painters',' -dpdf', '-r600',name)
142 end
143
144 fignum= fignum+1;
145
146 % 10db Daubechies-Wavelet
147
148 figure(fignum);
149 hold on
150 plot(x)
151 plot(ud210,'r')
152 plot(vd210,'c')
153 hold off
154
155 xlabel('Zeit [s]');
156 ylabel('Amplitude [A]');
157 legend('Originalsignal', 'Approximation', 'Details');
158
159 title ([ '\bf{Daubechies-Wavlet_10dB_Stufe}',num2str(lvl)]);
160
161 if Bilder_abspeichern == 1

```

```

162     figure(fignum);
163     name=[ '../ Bilder/Termin8/Daubechies_Wavlet_10db_lvl',num2str(lvl),'.pdf'];
164     print(' -painters', '-dpdf', '-r600',name)
165 end

166 fignum= fignum+1;

168 % 15db Daubechies-Wavelet

170
171 figure(fignum);
172 hold on
173 plot(x)
174 plot(ud215,'r')
175 plot(vd215,'c')
176 hold off

177 xlabel('Zeit [s]');
178 ylabel('Amplitude [A]');
179 legend('Originalsignal', 'Approximation', 'Details');

181
182
183
184 title ([ '\bf{Daubechies\_Wavlet\_15dB\_Stufe}',num2str(lvl)]);

185
186 if Bilder_abspeichern == 1
187     figure(fignum);
188     name=[ '../ Bilder/Termin8/Daubechies_Wavlet_15db_lvl',num2str(lvl),'.pdf'];
189     print(' -painters', '-dpdf', '-r600',name)
190 end

191 fignum= fignum+1;

193
194
195 end

196
197
198 wn = ones(1,length(x));
199 fs = 1;

200 Spektrum(x, wn, fs, 1,'b',-0.6,0.6,-100,30, fignum);

202
203 if Bilder_abspeichern == 1
204     figure(fignum);
205     name=[ '../ Bilder/Termin8/Spektrum.pdf'];
206     print(' -painters', '-dpdf', '-r600',name)
207 end

208
209 fignum=fignum+1;
210 figure(fignum);
211 spectrogram(x,25,24)

212
213 if Bilder_abspeichern == 1
214     figure(fignum);
215     name=[ '../ Bilder/Termin8/Spectrogram.pdf'];
216     print(' -painters', '-dpdf', '-r600',name)
217 end

```