



Performance Test von Phasenpickern

Bachelorarbeit

Institut für Erd- und Umweltwissenschaften
Universität Potsdam
in Kooperation mit
gempa GmbH

Lukas Lehmann

Matrikel-Nummer: 770891

Abgabedatum: 22.03.2017

Erstbetreuer: Dr. Dirk Rößler (gempa GmbH)
Zweitbetreuer: apl. Prof. Dr. Frank Krüger (Universität Potsdam)

Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Lizenzvertrag lizenziert:
Namensnennung 4.0 International
Um die Bedingungen der Lizenz einzusehen, folgen Sie bitte dem Hyperlink:
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
URN [urn:nbn:de:kobv:517-opus4-401993](http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-401993)
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-401993>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Seismologische Vorbetrachtung	3
3	Picker	4
3.1	Allgemeine Pickerbeschreibung	4
3.2	SEISCOMP3 S-Picker	6
3.3	PhasePapy Picker	7
4	Qualitätsfaktoren	9
5	Testregion Chile	10
5.1	Manuelle Auswertung	10
5.1.1	Datengrundlage	10
5.1.2	Datenbearbeitung	10
5.1.3	Ergebnisse der manuellen Auswertung	13
5.2	SEISCOMP3 S-Phasenpicker	15
5.2.1	Datenbearbeitung	15
5.2.2	Ergebnisse	15
5.3	PhasePapy Picker	17
5.3.1	Datenbearbeitung	17
5.3.2	Ergebnisse	17
5.4	Pickervergleich	18
6	Testregion: Vogtland, Lokal und Regional	22
6.1	Manuelle Auswertung	22
6.1.1	Datengrundlage	22
6.1.2	Datenbearbeitung	23
6.1.3	Ergebnisse der manuellen Auswertung	23
6.2	SEISCOMP3 S-Phasenpicker	24
6.2.1	Datenbearbeitung	24
6.2.2	Ergebnisse - Lokal	25
6.2.3	Ergebnisse - Regional	26
6.3	PhasePapy Picker	27
6.3.1	Datenbearbeitung	27
6.3.2	Ergebnisse - Lokal	27
6.4	Pickervergleich - Lokal	28
6.5	Pickervergleich - Regional	32
7	Zusammenfassung	35
8	Danksagung	38
9	Selbständigkeitserklärung	38
A	Anhang: Herleitung der seismischen Wellen	I

B Anhang: Chile	III
B.1 Tabellen	III
B.1.1 SEISCOMP3 S-Picker	III
B.1.2 PhasePApy FB-Picker	VIII
B.2 Abbildungen	X
C Anhang: Vogtland - Lokal	XV
C.1 Tabellen	XVI
C.1.1 SEISCOMP3 S-Picker	XVI
C.1.2 PhasePApy FB-Picker	XX
C.2 Abbildungen	XXII
D Anhang: Vogtland - Regional	XXVI
D.1 Tabellen	XXVII
D.1.1 SEISCOMP3 S-Picker	XXVII
D.2 Abbildungen	XXXI
E Anhang: Quellcode	XXXVI

Abbildungsverzeichnis

1.1	Flussdiagramm	2
3.1	STA/LTA-Detektor Beispiel	4
3.2	AIC-Detektor Beispiel	5
5.1	Erdbeben- und Stationsverteilung, Chile	11
5.2	Arbeitsoberfläche SCRTTV	11
5.3	Arbeitsoberfläche SCOLV	12
5.4	Magnitudenverteilung (manuelle Auswertung), Chile	13
5.5	Magnitudenverteilung der Phasen (manuelle Auswertung), Chile	14
5.6	Residuen der Phasen (manuelle Auswertung), Chile	14
5.7	Histogramm der Pickzeitdifferenzen, Chile	19
5.8	Pickzeitdifferenz - Distanz aller S-Picker, Chile	20
5.9	Phaseneinsätze für ein Beispielbeben, Chile	21
6.1	Erdbeben- und Stationsverteilung, Vogtland	22
6.2	Magnitudenverteilung (manuelle Auswertung), Vogtland	23
6.3	Magnitudenverteilung der Phasen (manuelle Auswertung), Vogtland	24
6.4	Residuen der Phasen (manuelle Auswertung), Vogtland	24
6.5	Histogramm der Pickzeitdifferenzen, Vogtland 'Lokal'	29
6.6	Pickzeitdifferenz - Distanz aller S-Picker, Vogtland 'Lokal'	30
6.7	Phaseneinsätze für ein Beispielbeben, Vogtland 'Lokal'	31
6.8	Histogramm der Pickzeitdifferenzen, Vogtland 'Regional'	32
6.9	Pickzeitdifferenz - Distanz aller S-Picker, Vogtland 'Regional'	33
6.10	Phaseneinsätze für ein Beispielbeben, Vogtland 'Regional'	34
B.1	Pickanzahl und Residuen vs. Distanz, Chile	X
B.2	Pickanzahl und Residuen vs. Magnitude, Chile	XI
B.3	Wadati und Gutenberg-Richter Diagramme, Chile	XII
B.4	Weitere Statistiken zur manuellen Auswertung, Chile	XII
B.5	Vergleich der Pickzeitdifferenzen, Chile	XIII
B.6	Relokalisierung, Chile	XIV
C.1	Pickanzahl und Residuen vs. Distanz, Vogtland 'Lokal'	XXII
C.2	Pickanzahl und Residuen vs. Magnitude, Vogtland 'Lokal'	XXIII
C.3	Wadati und Gutenberg-Richter Diagramme, Vogtland 'Lokal'	XXIV
C.4	Weitere Statistiken zur manuellen Auswertung, Vogtland 'Lokal'	XXIV
C.5	Vergleich der Pickzeitdifferenzen, Vogtland 'Lokal'	XXV
C.6	Relokalisierung, Vogtland 'Lokal'	XXVI
D.1	Pickanzahl und Residuen vs. Distanz, Vogtland 'Regional'	XXXI
D.2	Pickanzahl und Residuen vs. Magnitude, Vogtland 'Regional'	XXXII
D.3	Wadati und Gutenberg-Richter Diagramme, Vogtland 'Regional'	XXXIII
D.4	Weitere Statistiken zur manuellen Auswertung, Vogtland 'Regional'	XXXIII
D.5	Vergleich der Pickzeitdifferenzen, Vogtland 'Regional'	XXXIV
D.6	Relokalisierung, Vogtland 'Regional'	XXXV

Tabellenverzeichnis

3.1	S-Picker Standardwerte der Parameter, SEISCOMP3	6
3.2	Parameterübersicht, PhasePApy	8
5.1	Standardparameter der SEISCOMP3 S-Picker, Chile	15
5.2	'beste' Konfigurationen der SEISCOMP3 S-Picker, Chile	16
5.3	Standardwerte der Parameter des FB-Pickers, Chile	18
5.4	'beste' Konfiguration des FB-Pickers, Chile	18
6.1	Standardparameter der SEISCOMP3 S-Picker, Vogtland	25
6.2	'beste' Konfigurationen der SEISCOMP3 S-Picker, Vogtland 'Lokal'	26
6.3	'beste' Konfigurationen der SEISCOMP3 S-Picker, Vogtland 'Regional'	27
6.4	Standardwerte der Parameter des FB-Pickers, Vogtland 'Lokal'	28
6.5	'beste' Konfiguration des FB-Pickers, Vogtland 'Lokal'	28
B.1	Stationsauflistung, Chile	III
B.2	Ereignisaufistung, Chile	IV
B.3	SEISCOMP3 S-Picker Testreihe: Vorfilter, Chile	V
B.4	S-L2-Picker Testreihe: 'threshold', Chile	VI
B.5	AIC-Detektoren Testreihe: 'step' & 'minCnt', Chile	VII
B.6	FB-Picker Testreihe: 'rms', Chile	VIII
B.7	FB-Picker Testreihe: 'std', Chile	IX
C.1	Stationsauflistung, Vogtland	XVI
C.2	Ereignisaufistung, Vogtland 'Lokal'	XVI
C.3	SEISCOMP3 S-Picker Testreihe: Vorfilter, Vogtland 'Lokal'	XVII
C.4	S-L2-Picker Testreihe: 'threshold', Vogtland 'Lokal'	XVIII
C.5	AIC-Detektoren Testreihe: 'step' & 'minCnt', Vogtland 'Lokal'	XIX
C.6	FB-Picker Testreihe: 'rms', Vogtland 'Lokal'	XX
C.7	FB-Picker Testreihe: 'std', Vogtland 'Lokal'	XXI
D.1	Ereignisaufistung, Vogtland 'Regional'	XXVII
D.2	SEISCOMP3 S-Picker Testreihe: Vorfilter, Vogtland 'Regional'	XXVIII
D.3	S-L2-Picker Testreihe: 'threshold', Vogtland 'Regional'	XXIX
D.4	AIC-Detektoren Testreihe: 'step' & 'minCnt', Vogtland 'Regional'	XXX

1 Einleitung

Heutzutage ist das automatische Picken von seismischen P-Phasen in Echtzeit zu einer Standardroutine in der Seismologie geworden. Die resultierende Herausforderung besteht darin, die anderen Phaseneinsätze genau so zu bestimmen. Vor allem für die seismische S-Phase gilt es, ähnlich gute und verlässliche Routinen zum Picken der Einsatzzeiten zu entwickeln.

Allgemein dienen die Phaseneinsätze dazu die Ereignisse zu lokalisieren. Dabei ist eine genaue Lokation des Ereignisses für weitere seismologische Auswertungen, wie Gefährdungsabschätzung oder Frühwarnung, essenziell. Eine wirklich gute und stabile Lösung liefern nur Ereignisse, bei denen P- und S-Welleneinsätze korrekt gepickt wurden. Aufgrund des bekannten Geschwindigkeitsverhältnisses zwischen den Wellen, erreichen diese Lokationen eine hohe Stabilität (Gomberg et al., 1990). Die Bedeutung der zusätzlich bestimmten S-Phasen sind in lokalen bis regionalen Bereichen von hoher Bedeutung, da die Qualität der Lokation dadurch signifikant verbessert werden kann (Gomberg et al., 1990). Deshalb ist die Bestimmung der S-Phase von großem Interesse.

Die P-Welle ist aufgrund der Erstankunft und somit erhöhten Kontrast zum Rauschen des Seismogramms selbst für automatische Detektoren einfach zu bestimmen. Schwerer ist es bei der S-Welle. Diese tritt häufiger erst innerhalb der P-Coda auf oder wird von anderen Wellentypen überlagert (Lomax et al., 2012). Aus diesem Grund können nicht die selben Picker für die P- und S-Phase eingesetzt werden, ohne nicht zumindest die Parameterkonfiguration anzupassen.

Die Genauigkeit der Lokalisierung des Erdbebenherds hängt sehr stark von der zeitlichen Genauigkeit der einzelnen Picks ab. Das heißt schlecht gesetzte Picks verschlechtern die Lokation deutlich. So können selbst die manuell bestimmten Phaseneinsätze zwischen verschiedenen Seismologen differenzieren (Leonard, 2000). Ein ordentlich eingestellter Picker sollte hingegen konsistent gute Ergebnisse liefern.

Zusätzlich ist es mittlerweile sehr zeitaufwändig geworden die seismischen Daten manuell auszuwerten, da die Datenmengen und Netzwerke immer größer werden. Vor allem eine Echtzeitauswertung mit hoher Stationsanzahl scheint nicht mehr realisierbar. Deshalb wurden in den letzten Jahren einige Pickeralgorithmen entwickelt oder verbessert. Die meisten S-Detektoren wurden jedoch noch nicht umfangreich genug getestet. Infolgedessen ist es in erster Linie schwierig für den Benutzer nachzuvollziehen, welcher Picker optimalerweise verwendet werden kann.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit an der Universität Potsdam soll die Qualität von vier S-Pickern für zwei Testregionen getestet und mit der manuellen Auswertung verglichen werden. Diese Arbeit wird in Kooperation mit der gempa GmbH durchgeführt, dabei führt gempa die Erstbetreuung durch und stellt die Datensätze sowie einen ganztägigen Arbeitsplatz zur Verfügung. Aufgrund der Tatsache, dass ein späterer Benutzer einen S-Picker auswählen muss, soll im Rahmen dieser Bachelorarbeit überprüft werden, ob bereits verlässliche Routinen existieren. Daraus resultierend kann bei überzeugenden Ergebnissen sogar eine Empfehlung ausgesprochen werden.

Die Algorithmen der zu testenden Picker sind in der Seismologie weit bekannt. Einer der meist Verbreiteten ist der STA/LTA-Detektor (Allen, 1982), welcher die Amplitudenverhältnisse zwischen zwei Zeitfenstern des Seismogramms vergleicht. Ein anderer oft eingesetzter Algorithmus umfasst, entweder mit oder ohne auto-regressive (AR) Faktoren, den Varianzgehalt der seismischen Spuren. Diese sind unter den Namen (AR-)AIC-Detektoren bekannt (Maeda, 1985; Akaike, 1998).

Im ersten Schritt dieser Arbeit werden Erdbeben, für die Testregionen Nordchile (re-

gional) und Vogtland (lokal, regional) separat, manuell ausgewählt und anschließend für jedes Beben die Phaseneinsätze der P- und S-Welle manuell bestimmt. Diese Auswertung geschieht mit Hilfe des Programms SEISCOMP3. Dieses Programm dient der Auswertung und Überwachung von Erdbeben, in teleseismischen, regionalen sowie lokalen Entfernungsbereichen, und der Tsunamifrühwarnung, da es sich im Jahr 2006 aus dem GITEWS-Projekt entwickelte und seit dem als weltweiter Standard gilt [pers. Komm. Dirk Rößler]. Im Folgenden werden die gleichen Wellendaten den S-Pickern übergeben, welche automatisch die Welleneinsätze bestimmen. Die Ergebnisse der beiden Auswertungen werden für jeden Datensatz separat verglichen und ausgewertet. Als Kriterien zur Bewertung werden Qualitätsfaktoren erstellt, woraus sich ein Score berechnen lässt. Dieser soll mit den Faktoren Aufschluss über die Qualität der automatisch generierten Picks geben. Abschließend werden die S-Picker untereinander verglichen und ein optimaler Picker für den Datensatz wird bestimmt. Das Ziel ist es den Picker zu finden, welcher am effizientesten, d.h. Genauigkeit, Konsistent, Rechenlaufzeit etc., in Bezug zur manuellen Auswertung, die Picks setzt. Die Abbildung 1.1 zeigt den groben Ablauf dieser Optimierung.

Die automatisch generierten Phaseneinsätze können folglich zur Lokalisierung von Ereignissen benutzt werden. Diese Arbeit hat jedoch nicht das Ziel die Lokationen anhand der automatischen Picks zu optimieren. Trotzdem wird diese Lokalisierung einmal Beispielhaft für jeden Datensatz durchgeführt. Der Hauptfokus der Arbeit liegt auf der Optimierung der Qualität der automatischen Phaseneinsätze.

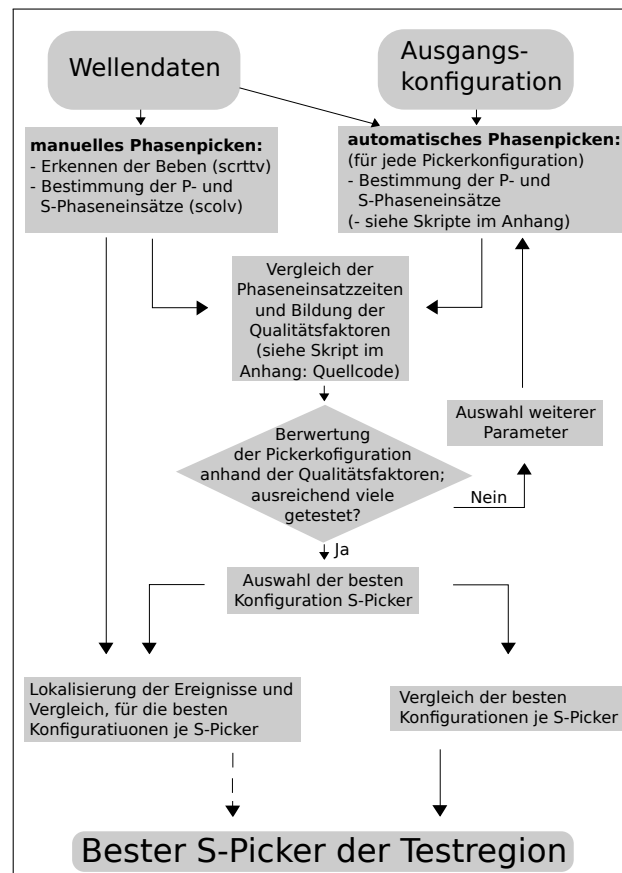


Abbildung 1.1: Der schematische Vorgang zum Testen und Vergleichen der S-Phasenpicker in dieser Bachelorarbeit

2 Seismologische Vorbetrachtung

Erdbeben zeichnen sich durch ihre charakteristische Seismogrammform aus, welche größtenteils durch die beiden Hauptwellentypen geprägt ist. Diese sind die P- und die S-Welle. Das Erreichen der Station durch die Wellen wird als Phaseneinsatz bezeichnet. Meist werden zwei deutliche Amplitudenanstiege, bedingt durch das Eintreffen der beiden Wellentypen, im Seismogramm zu beobachten sein. Diese Anstiege sollten auf allen drei Komponenten des Seismometers erkennbar sein. Jedoch sind diese meistens, je nach Typ der Welle, unterschiedlich stark auf den Komponenten ausgeprägt. Diese Eigenschaft hängt unter anderem mit der Polarisierung bzw. Schwingungsrichtung des jeweiligen Wellentyps zusammen.

Der Rest des charakteristischen Seismogramms wird durch Wellen, welche aus den Phasenkonvertierungen zwischen der P- und der S-Phase resultieren, geprägt. Abhängig von der Abstrahlcharakteristik sollten die nicht konvertieren, direkten Wellen am deutlichsten zu beobachten sein, wobei die S-Welle zudem noch meistens die höchsten Amplituden erreicht (Aki and Richards, 2002).

Im Verlauf der Arbeit werden die Phaseneinsatzzeiten verglichen, weshalb zunächst die Eigenschaften der beiden Hauptwellentypen sowie deren Bedeutung gezeigt werden sollen. Die Wellen lassen sich mit Hilfe der allgemeinen Bewegungsgleichung beschreiben. Im Anhang A wird die Herleitung kurz nach Müller (2007) durchgeführt. Als Resultat erhält man die Bewegungsgleichung für P- und S-Wellen, als dessen Lösungen diese beiden Wellentypen hervorgehen. Die Namen leiten sich dementsprechend ab: die erste Welle heißt Kompressionswelle bzw. P-Welle (Primäre-Welle), während die zweite Welle folglich als Scherwelle bzw. S-Welle (Sekundäre-Welle) bezeichnet wird. Diese beiden Wellentypen werden von jedem Erdbeben richtungsabhängig ausgestrahlt und haben charakteristische Eigenschaften.

Eine der bedeutendsten Eigenschaften ist die Wellengeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit der P-Welle, als v_p bezeichnet:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}, \quad (2.1)$$

hat in der Kruste einen durchschnittlichen Betrag von ca. 5.8-6.5 km/s (Kennett and Engdahl, 1991). Die S-Wellengeschwindigkeit, als v_s bezeichnet:

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}, \quad (2.2)$$

hat in der Kruste typische Werte von ca. 3.36-3.75 km/s (Kennett and Engdahl, 1991).

Da in der kristallinen Erdkruste die beiden Lamé Parameter λ und μ etwa gleich groß sind, ergibt sich daraus ein v_p zu v_s Verhältnis von näherungsweise $\sqrt{3}$ (Kennett and Engdahl, 1991).

Eine weitere wichtige Eigenschaft ist die Polarisierung. Die P-Wellen sind Longitudinalwellen und schwingen somit in Ausbreitungsrichtung. Deshalb sind diese meist auf den vertikalen Komponenten der Seismogramme am deutlichsten zu sehen. Die Polarisierung der S-Wellen ist immer senkrecht zu denen der P-Wellen, weshalb diese auch als Transversalwelle bezeichnet werden. Dieser Fakt führt dazu, dass die S-Wellen meistens auf den horizontalen Komponenten am besten zu beobachten sind Aki and Richards (2002).

In der Regel sinkt die Stärke des beobachtbaren Signals mit zunehmender Entfernung vom Hypozentrum ab und somit die potentielle Genauigkeit zur Erkennung der Phaseneinsätze. Dies ist das Resultat aus der geometrischen Ausbreitung und der Dämpfung der Wellen (Müller, 2007).

3 Picker

3.1 Allgemeine Pickerbeschreibung

STA/LTA Der STA/LTA-Picker ist einer der am häufigsten benutzten Detektoren in der Seismologie. Dabei steht STA für ‘short-term average’ (Allen, 1982), Mittelwert eines kurzen Seismogrammabschnittes, und LTA für ‘long-term average’ (Allen, 1982), Mittelwert eines langen Seismogrammabschnittes. Die Längen dieser beiden Zeitfenster, für den STA als Δt_{STA} und für den LTA als Δt_{LTA} bezeichnet, werden vorgegeben und innerhalb dieser Fenster wird der Amplitudenmittelwert ($\overline{A_{\Delta t_{STA/LTA}}}$) der seismischen Spur gebildet (Trnkoczy, 1999). Die beiden resultierenden Mittelwerte werden anschließend durcheinander dividiert:

$$\frac{STA_i}{LTA_i} = \frac{\overline{A_{\Delta t_{STA},i}}}{\overline{A_{\Delta t_{LTA},i}}}. \quad (3.1)$$

Die Fenster laufen so sampleweise (i) über die Spur. Am Ende entsteht eine zeitliche Kurve dieses Verhältnisses, sie wird auch als charakteristische Funktion (CF) bezeichnet. Wenn laut Trnkoczy (1999); Ruud and Husebye (1992) ein gewisser Schwellwert des STA-zu-LTA-Verhältnisses überschritten wird, löst der Picker aus bzw. wird er aktiviert. Wenn das Verhältnis anschließend erneut unter einen gewissen Schwellwert fällt, wird der Detektor deaktiviert (Trnkoczy, 1999). Je nach genauer Konfiguration und Variante wird der Pick beim Aktivieren gesetzt. Das Zeitfenster zwischen der Aktivierung und der Deaktivierung kann später für weitere Auswertungen benutzt werden. Es existieren verschiedenste Varianten, wie die Fenster zueinander angeordnet sein können. Eine Variante lässt nach dem Auslösen das lange Zeitfenster bis zum Deaktivieren starr, während sich nur das Kurze bewegt (Trnkoczy, 1999). In einer anderen Variante bewegen sich beide dauerhaft, sind jedoch so angeordnet, dass sie immer den gleichen Endzeitpunkt haben (gempa GmbH, Potsdam, 2017). In der Abbildung 3.1 werden die Aktivierungen bzw. Deaktivierungen des Pickers für ein Beispielbeben mit der CF gezeigt.

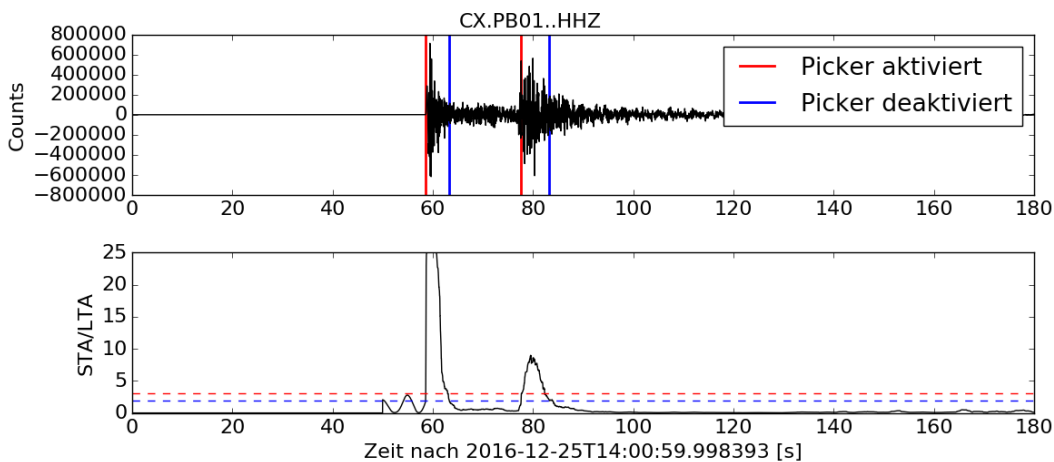


Abbildung 3.1: Anwendung eines STA/LTA-Detektor auf das Ereignis Nr. 13 (siehe Tabelle B.2). Im oberen Fenster sind die Aktivierungs- bzw. Deaktivierungszeiten farblich im Rohseismogramm markiert. Im unteren Fenster ist die charakteristische Funktion des STA/LTA-Detektors mit den entsprechenden Schwellwerten, als horizontale farblich gestrichelte Linien, gezeigt. Die Länge des STA-Zeitfensters beträgt 2s und die des LTA’s 50s. Der Schwellwert zur Aktivierung liegt bei 3s und zum Deaktivieren bei 2s.

AIC Der AIC-Picker¹ ist ein Picker, bei dem die seismische Spur in zwei Fenster geteilt wird. Die Länge der betrachteten seismischen Spur wird meist durch einen vorherigen STA/LTA-Picker, welcher einen gewissen Zeitraum bestimmt, oder durch den Benutzer, wenn z.B. die Zeit des Erdbebens bekannt ist, vorgegeben. Das Zeitfenster ist immer nur für genau einen Phaseinsatz geeignet. Mit Hilfe dieser Fenster lässt sich die charakteristische Funktion (CF) als AIC-Funktion wie folgt berechnen (abgewandelt nach Maeda (1985) und Zhang et al. (2003)):

$$AIC(t_n) = n * \log(\sigma_{1,n}^2) + (N - n - 1) * \log(\sigma_{n+1,N}^2), \quad (3.2)$$

dabei steht n für das Samples, $\sigma_{i,n}^2$ für Varianz der Amplitude zwischen dem i -ten und dem n -ten Sample und N für die Gesamtanzahl der Samples.

Die Funktion berechnet sich aus den logarithmierten Varianzen der Amplitude innerhalb der Zeitfenster, multipliziert mit der Fensterlänge. Dabei ändern sich die Fensterlängen gegenläufig, d.h. wenn das eine Fenster größer wird, verringert sich die Länge des Anderen. Das Sample n markiert den Übergang von einem Fenster zum Anderen.

Anders gesagt wird die Varianz von dem ersten Fenster, welches zuerst hauptsächlich das Hintergrundrauschen enthält, mit der Varianz des hinteren Fensters, welches am Anfang den Phaseinsatz enthält, verrechnet. Da die Varianz des hinteren Fensters bis zum Erreichen des Welleneinsatzes höher ist, sinken die Werte der AIC-Funktion. Beim Erreichen des Phaseinsatzes erhöht sich die Varianz des ersten Fensters schlagartig und somit steigen auch die Werte der AIC-Funktion an.

Die Picks werden an der Stelle des globalen Minimums der AIC-Funktionen gesetzt (Maeda, 1985; Zhang et al., 2003; Radlmeier et al., 2013). Dies ist in Abbildung 3.2 anhand eines Beispielbebens für die P-Phase gezeigt.

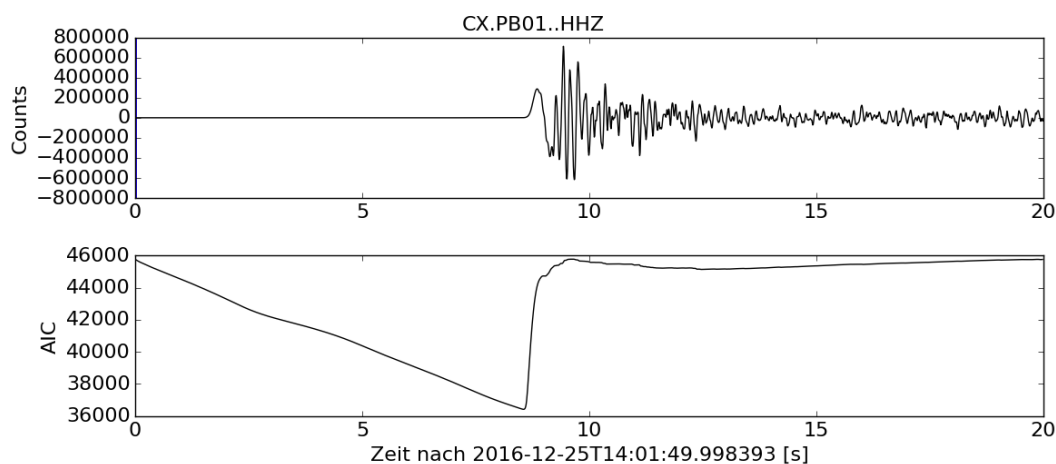


Abbildung 3.2: Anwendung eines AIC-Detektors auf das Ereignis Nr. 13 (siehe Tabelle B.2). Die charakteristische Funktion (CF) im unteren Fenster wurde mit Hilfe der Formel (3.2) für das Rohseismogramm im oberen Fenster berechnet. Der AIC-Picker setzt den Phaseinsatz beim Minimum der CF.

¹Im Folgenden wird nur der AIC-Picker ohne autoregressive (AR) Parameter beschrieben. Es soll erwähnt sein, dass auch eine AIC-Picker Methode mit AR-Parametern (AR-AIC) existiert (Sleeman and van Eck, 1999)

3.2 SEISCOMP3 S-Picker

Die nachfolgenden beschriebenen S-Picker sind für SEISCOMP3 programmiert und optimiert (im folgenden als SEISCOMP3 Picker bezeichnet). Alle benötigen einen vorausgehenden P-Pick, um den S-Pick setzen zu können.

S-L2 Der S-L2 ist ein frei verfügbarer (OpenSource) S-Picker. Hierbei handelt es sich um eine Kombination aus einem klassischen STA/LTA-Picker und einem späteren optionalen AIC Detektor. Zuerst bestimmt der STA/LTA die Phaseneinsatzzeiten auf der sogenannten L2-Spur, der Vektorsumme aus den horizontalen Spuren. Bevor diese gebildet wird, werden die beiden Spuren jeweils mit einem auswählbaren Filter gefiltert. Bei dieser Variante des STA/LTA-Pickers haben das kurze und das lange Zeitfenster den selben Endzeitpunkt und sind dauerhaft mobil. Resultierend wurde entweder ein Pick gesetzt oder das Zeitfenster für den optional folgenden AIC-Picker durch den STA/LTA bestimmt. Der AIC-Detektor bestimmt, wenn ausgewählt, die endgültigen Phaseneinsatzzeiten. Der S-L2-Picker verfügt über veränderliche Parameter, diese sind in der Tabelle 3.1 gezeigt.

S-AIC Der S-AIC-Picker ist ein kommerzieller S-Picker der gempa GmbH. Hierbei handelt es sich um einen AIC-Picker, der seine Picks auf der L2-Spur setzt (siehe S-L2). Zuerst wird die AIC-Funktion für die Zeitintervalle zwischen dem Einsatz und einem Endpunkt berechnet. Dabei wird der Endpunkt mit jedem Schritt um die Schrittlänge erweitert, solange bis das Signalende erreicht ist. Für jedes dieser Zeitintervalle wird ein Pick gesetzt, sobald ein bestimmtes SNR-Verhältnis (signal-noise-ration) überschritten wird. Ein endgültiger Phaseneinsatz wird erst bestimmt, wenn für unterschiedliche Zeitintervalle eine Mindestanzahl an Schwellwertüberschreitungen zur selben Zeit bestimmt worden sind. Der S-AIC-Picker verfügt ebenfalls über veränderliche Parameter, diese sind ebenso in der Tabelle 3.1 gezeigt.

S-AIC-V Der S-AIC-V-Picker funktioniert exakt wie der S-AIC-Picker, nur dass er nicht auf der L2-Spur pickt, sondern auf der vertikalen Komponente des Seismogramms. Die veränderlichen Parameter sind ebenfalls in der Tabelle 3.1 aufgelistet.

Parameter	Erklärung	S-L2	S-AIC	S-AIC-V
noiseBegin	Beginn des Rauschfensters (in Sekunden)	+	+	+
signalBegin	Beginn des Signalfensters (in Sekunden)	+	+	+
signalEnd	Ende des Signalfensters (in Sekunden)	+	+	+
filter	Filter vor der Bildung der L2-Spur	+	+	+
detecFilter	Filter angewandt auf die L2-Spur	+	+	+
threshold	Schwellwert zum Aktivieren des AIC	+	-	-
step	Schrittweite um die das AIC-Fenster erweitert wird	-	+	+
minCnt	Mindestanz. an Schwellwertüberschreitungen	-	+	+
timeCorr	Zeitkorrektur des STA/LTA Richtwerts	+	-	-
marginAIC	Zeitfenster des AIC	+	-	-
minSNR	Mindest SNR ² Wert für den AIC-Pick	+	+	+

Tabelle 3.1: Die veränderlichen Parameter mit kurzer Beschreibung [pers. Komm. Jan Becker] für die in SEISCOMP3 integrierten S-Picker . Ein +/- steht für einen verfügbaren/nicht verfügbaren Parameter.

3.3 PhasePapy Picker

Das PhasePapy-Paket beinhaltet drei in Python programmierte Phasendetektoren. Der FB-Picker ist ein auf die Energie der Spur basierender Picker; der KT-Picker benutzt die Kurtosis- und der AICD-Picker die Ableitung der AIC-Funktion zum Berechnen der charakteristischen Funktion (CF). Um die Detektoren auf seine Daten anzupassen, gibt es die Möglichkeit einige Parameter zu verändern. Diese Parameter sind mit einer kurzen Erklärung und den Standardwerten in der Tabelle 3.2 aufgelistet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden der KT- und AICD-Picker nicht getestet.

FB Beim FrequenzBand-Picker handelt es sich um einen Phasendetektor aus dem PhasePapy Paket von Chen and Holland (2016), welcher nach einer abgewandelte Variante der von Lomax et al. (2012) entworfenen Methode arbeitet. Hier wird als Erstes der Trend und der Mittelwert vom Seismogramm abgezogen. Als nächstes wird ein ‘Octavefilter’ (Chen and Holland, 2016) angewendet, d.h. das Seismogramm wird für bestimmte Frequenzbänder gefiltert. Dabei wird laut Chen and Holland (2016) die zentrale Frequenz des Bandes für jedes folgende Band verdoppelt, ausgehend von einer vorher definierten Startfrequenz. Die Frequenz des letzten Bandes orientiert sich automatisch an der Nyquist-Frequenz der Spur. Anschließend wird die Energie E_n von jedem i -ten Sample in dem n -ten Frequenzband BF_n berechnet (Chen and Holland, 2016):

$$E_n[i] = BF_n[i]^2. \quad (3.3)$$

Wie im Artikel von Chen and Holland (2016) erklärt, lässt sich der Picker in zwei verschiedene Modi ausführen: ‘rms’ (root-mean-square) und ‘std’ (Standardabweichung). Abhängig vom Modus wird die charakteristische Funktion CF_n von jedem Band wie folgt berechnet (Chen and Holland, 2016):

$$CF_n^{rms}[i] = \frac{E_n[i]}{rms(E_n[i-1-l, i-1])}, \quad (3.4)$$

$$CF_n^{std}[i] = \frac{E_n[i] - mean(E_n[i-1-l, i-1])}{std(E_n[i-1-l, i-1])}, \quad (3.5)$$

wobei l die Gesamtlänge der Spur in Samples, $E_n[i-1-l, i-1]$ die Energie in dem vorherigen Abschnitt, $mean$ der Mittelwert und std die Standardabweichung des vorherigen Fensters ist.

Die jeweiligen $CF_n[i]$ ’s zeigen somit die Energieänderung des Samples i im Vergleich zum vorherigen Fenster an (Chen and Holland, 2016). Als letztes wird, nach Lomax et al. (2012), der Maximalwert aller Frequenzbänder für das Sample i genommen und zu einer CF zusammengefasst.

Ein Phaseneinsatz wird gepickt, wenn ein bestimmter Schwellwert, multipliziert mit dem ‘rms’ der CF, innerhalb eines sich bewegenden Fensters, überschritten wird. Danach wird das Zeitfenster vor dem Pick zurückgegangen, bis das erste lokale Minimum gefunden wird. Dort wird der endgültige Pick gesetzt (Chen and Holland, 2016). Der Picker wird nur auf jeweils einer Komponente der Station angewendet und pickt somit unabhängig und für jede Spur individuell.

Parameter	Erklärung	FB	KT	AICD
t_long	Fensterlänge zum Berechnen der CFs	+	-	-
freq_min	Erste Frequenz der Filterbänder	+	-	-
t_win	Zeitfensterlänge zum Berechnen der Kurtosis	-	+	-
cnr	Ordnung des Filters	+	-	-
t_ma	Fensterlänge zum Berechnen des dynamischen Schwellwerts	+	+	+
n_sigma	Schwellwert	+	+	+
t_up	Zeitabstand zwischen zwei Picks	+	+	+
mode	Bestimmt den Modus	+	-	-
nr_len	Rauschfensterlänge zum Bereinigen	+	+	+
nr_coeff	Rauschschwellwert	+	+	+
pol_len	Fensterlänge für die Polarisationsbestimmung	+	+	+
pol_coeff	Polarisationsschwellwert	+	+	+
uncert_len	Fensterlänge zum Berechnen des quadratischen Mittel	+	+	+
uncert_coeff	Schwellwert für die Unsicherheit	+	+	+

Tabelle 3.2: Die veränderlichen Parameterwerte für die PhasePApy-Picker. Ein +/- steht für ein verfügbaren/nicht verfügbaren Parameter. Genauere Beschreibungen zu den Parametern sind auf der PhasePApy-Website zu finden (siehe Glossar).

4 Qualitätsfaktoren

Um die verschiedenen Pickerkonfigurationen vergleichbar zu machen, werden verschiedene Qualitätsfaktoren eingeführt. Dazu werden die Ergebnisse der automatischen Auswertung mit denen der Manuellen verglichen. Daraus leiten sich insgesamt 6 Faktoren ab.

Der erste Qualitätsfaktor ist die Anzahl an übereinstimmenden S-Picks (n). Um diesen zu berechnen, werden für die manuellen P-Picks in einem bestimmten Zeitfenster nach automatisch generierten P-Picks der getesteten Picker gesucht. Gibt es Übereinstimmungen, werden zu den manuellen P-Picks die passenden manuellen S-Picks ausgewählt. Im Anschluss wird erneut in einem bestimmten Zeitfenster um diese ausgewählten S-Picks nach den automatisch generierten S-Picks gesucht. Wird ein S-Pick gefunden, gilt dieser Phaseneinsatz als übereinstimmend. Diese Beschreibung trifft nur auf die SEISCOMP3 S-Detektoren zu. Für den Fb-Picker aus dem PhasePApy Paket wird nur um die manuellen S-Picks in einem Zeitfenster nach automatisch generierten Picks gesucht. Grund ist die nicht existierende Phasenzuweisung (weitere Erklärungen siehe Kapitel 5.3.1).

Anschließend werden die zeitlichen Differenzen (in Sekunden) zwischen den automatisch generierten S-Picks (t_a) und den Manuellen (t_m) gebildet, wenn diese eine übereinstimmendes Paar sind. Diese Differenz wird im Folgenden als Pickzeitdifferenz (Δt) bezeichnet:

$$\Delta t = t_a - t_m. \quad (4.1)$$

Als weiteres Resultat der Suche nach übereinstimmenden Picks folgt der nächste Qualitätsfaktor: die Prozentangabe über die möglichen S-Picks (n_s). Da die SEISCOMP3 S-Detektoren einen P-Pick für die Bestimmung des S-Picks brauchen, wird die Anzahl der automatischen S-Picks (n_a) durch die Anzahl der manuellen S-Picks (n_m), insofern diese übereinstimmende P-Picks haben, geteilt:

$$n_s = \frac{n_a}{n_m} * 100. \quad (4.2)$$

Für den FB-Detektor aus dem PhasePApy-Paket entfällt dieser Qualitätsfaktor, aufgrund der nicht bestimmbar Phasen.

Da der vorherige Faktor stark vom P-Detektor beeinflusst und dieser nicht getestet wird, existiert ein alternativer Qualitätsfaktor (n_{ges}). Dieser gibt die absolute Prozentzahl an übereinstimmenden S-Picks an, unabhängig davon ob ein P-Pick existiert oder wie gut dieser ist. Für alle manuellen S-Picks wird so innerhalb eines bestimmten Zeitfensters nach automatisch generierten S-Picks gesucht. Anschließend wird die Anzahl aller gefundenen automatischen S-Picks (n_{a_ges}) durch die Anzahl aller manuell gepickten S-Phasen (n_{m_ges}) geteilt:

$$n_{ges} = \frac{n_{a_ges}}{n_{m_ges}} * 100. \quad (4.3)$$

Aus den Pickzeitdifferenzen (Δt) lassen sich zwei weitere Faktoren ableiten. Der Erste ist der Mittelwert ($\overline{\Delta t}$) (in Sekunden) und der Zweite ist die Standardabweichung ($\sigma(\Delta t)$) (in Sekunden) dieser Pickzeitdifferenz. Diese Faktoren dienen zur Abschätzung der Qualität der Picks bzw. der getesteten Detektorkonfiguration.

Der letzte Qualitätsfaktor ist die Rechenzeit t_r (in Sekunden), die eine Pickerkonfiguration zum Bestimmen der Picks für einen Durchlauf benötigt.

Um später die Pickerkonfigurationen objektiv bewerten zu können, wird ein Score (als sc bezeichnet) eingeführt. Dieser setzt sich aus den Faktoren n_s (für den FB-Picker n_{ges}), $\overline{\Delta t}$ und $\sigma(\Delta t)$ zusammen. Dabei fließt der erst Genannte mit 60% in die Wichtung ein, während die anderen Beiden jeweils nur mit 20% einfließen.

5 Testregion Chile

5.1 Manuelle Auswertung

5.1.1 Datengrundlage

Die Seismogramme dieser Testregion stammen vom IPOC-Seismic-Network (2017) und sind frei zugänglich. Das Netzwerk enthält 16 Stationen im Norden Chiles (Abb. 5.1), wovon eine nicht genutzt werden konnte. Alle sind mit drei Komponenten Breitbandseismometern ausgestattet und haben eine Abtastrate von 100 Hz für die drei Kanäle (HHZ, HHE, HHN). Eine genaue Auflistung der Stationsnamen und zugehörige Lokation sind im Anhang B.1.2 in der Tabelle B.1 sichtbar. Die Länge der Wellendaten betrug je Station ca. 12 h.

Da das Netzwerk in direkter Nähe zu einer Plattengrenze liegt, dort schiebt sich die Nazcaplatte unter die südamerikanische Platte (Subduktionzone), weist diese Region eine erhöhte Seismizität auf (Barrientos et al., 2004). So wird in Quakelink (siehe Glossar) ca. alle 5-10 min ein Erdbeben registriert. Diese Region eignet sich deshalb gut um die Detektoren für regionale Erdbeben zu testen.

5.1.2 Datenbearbeitung

Die Wellendaten wurden manuell und zufällig in der Zeit zwischen 12 und 17.25 Uhr am 25.12.2016 ausgewertet. Grund für diesen Zeitraum war ein Magnitude 7.6 Beben um 14.22 Uhr. Dieses und ein Nachbeben, welches keine bestimmten S-Phaseneinsätze besitzt, um 22.54 Uhr, wurde zusätzlich hinzugefügt. Insgesamt wurden so 48 Erdbeben manuell für die spätere Auswertung ausgewählt. Die Abbildung 5.1 zeigt alle manuell registrierten Ereignisse auf einer Karte. Die Beben konzentrierten sich hauptsächlich auf die Grenzregionen zwischen Peru, Bolivien, Argentinien und Nordchile. Außerhalb dieser Region vor der südlichen Küste Chiles liegen nur das Haupt- und Nachbeben.

Das Finden der Beben geschah mit Hilfe des SEISCOMP3-Moduls SCRTTV (siehe Glossar) (Abb. 5.2), indem die Wellendaten manuell nach möglichen Erdbeben abgesucht und Origins (siehe Glossar) erstellt wurden. Anschließend wurden im SCOLV (siehe Glossar) (Abb. 5.3) die Einsatzzeiten der P- und S-Phasen für jeden Origin auf allen Stationen visuell bestimmt. Die P- und S-Einsätze wurden auf ungefilterten oder 3 Hz BW (Abkürzung für Butterworth) Hochpass gefilterten Spuren bestimmt. So konnten die Beben mit dem Lokalisierungsprogramm LocSAT und dem 1D Geschwindigkeitsmodell IASP91 (Kennett and Engdahl, 1991) lokalisiert werden, um später mit den automatischen Lösungen verglichen werden zu können. Anschließend sind die Magnituden bestimmt worden. Diese sind in Abbildung 5.4 in Form eines Histogramms abgebildet.

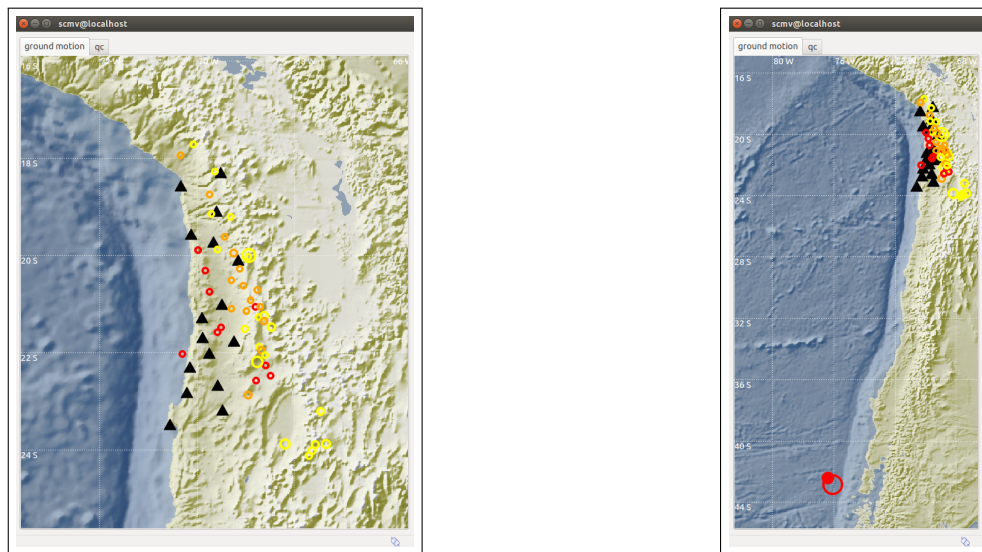


Abbildung 5.1: IPOC-Stationen (schwarze Dreiecke) und die manuell ausgewerteten Erdbeben (farbige Kreisringe). Die linke Karte zeigt die Hauptregion für die ausgewerteten Beben in Chile. Die Rechte hingegen beinhaltet noch zusätzlich das Haupt- und ein Nachbarbeben. Diese Karten wurden mit Hilfe des SEISCOMP3-Moduls SCMV hergestellt. (Die Größe des Kreisringes repräsentiert die Magnitude; rote Farbe: Tiefe < 50 km, gelbe Farbe: $50 \text{ km} < \text{Tiefe} < 150 \text{ km}$).

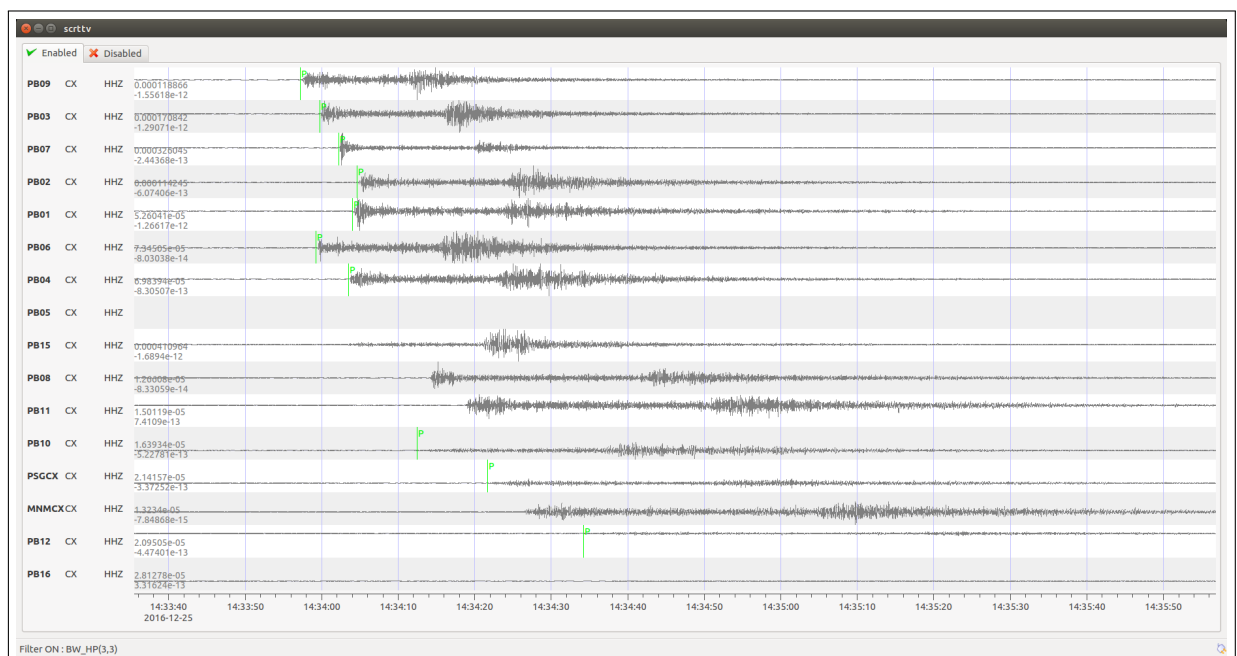
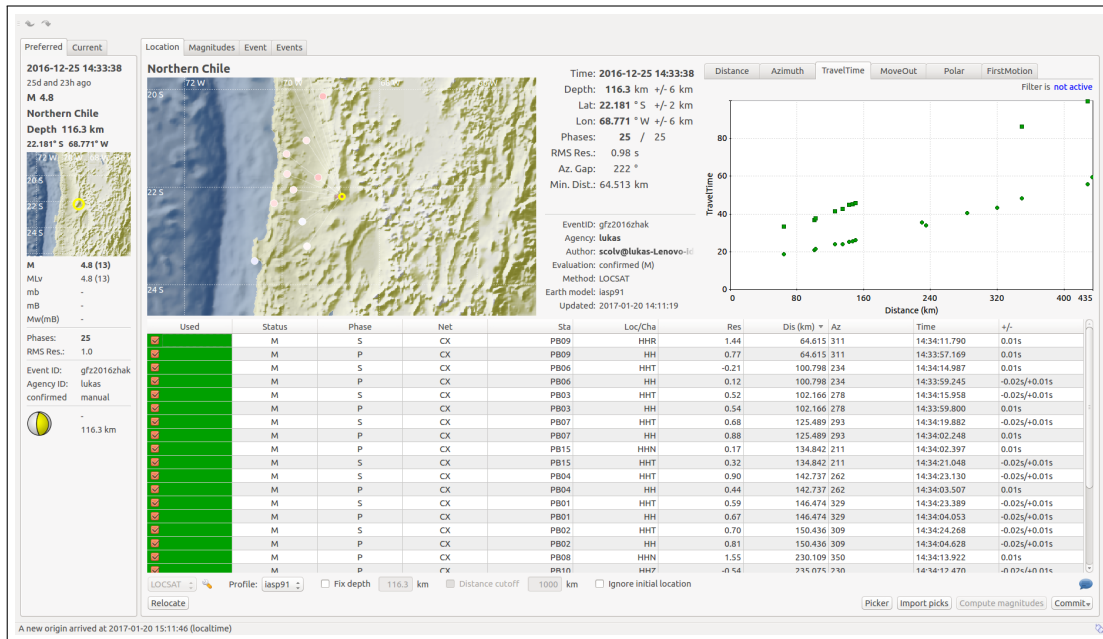


Abbildung 5.2: Das SEISCOMP3-Modul SCRRTV zeigt die vertikalen Seismogramme der benutzten Stationen. Manuell können dort Ereignis-Origins erstellt werden. Der Ausschnitt für das abgebildete Erdbeben wurde während des Pickens aufgenommen. Die bereits manuell gepickten P-Phasen werden auf den Spuren grün markiert. Die Spuren sind filterbar und hier mit einem 3 Hz Butterworth Hochpassfilter gefiltert.

a)



b)

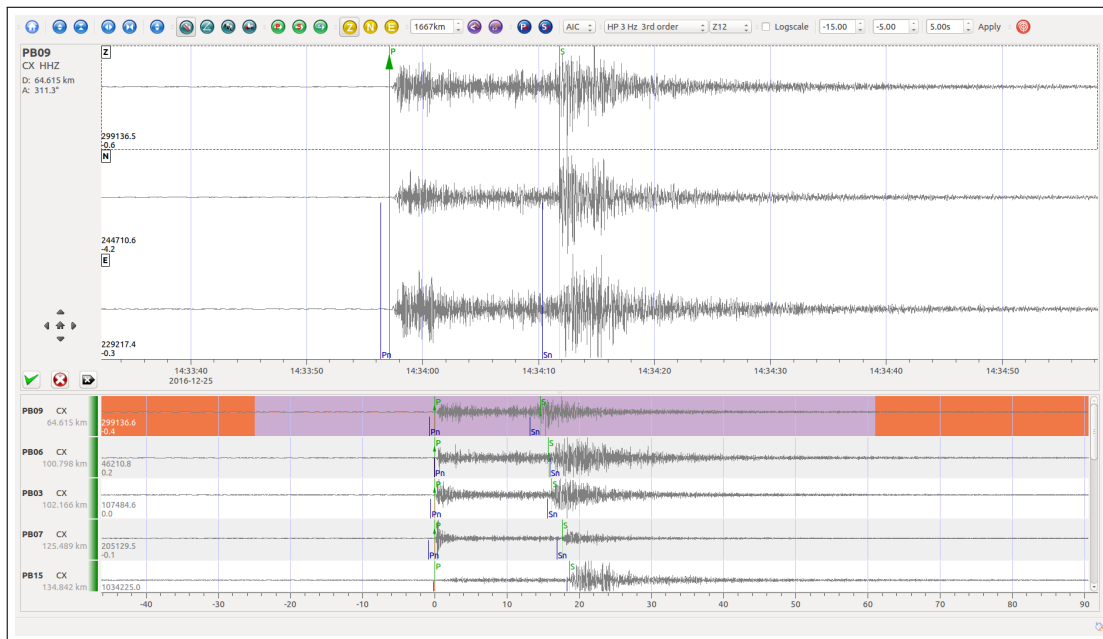


Abbildung 5.3: Die interaktiven Arbeitsoberflächen im SEISCOMP3-Modul SCOLV bieten die Möglichkeit Ereignis-Origins zu bearbeiten. a) Das Informationsfenster zeigt unter anderem die Ereignisinformationen und -zusammenfassung, Pickinformationen, sowie die Laufzeitkurven und die Residuenverteilung zu den gepickten Phaseneinsätzen an. b) Im Pickfenster können für die verschiedenen Stationen die Phaseneinsätze manuell bestimmt oder korrigiert werden. Zusätzlich kann, wenn benötigt, die Richtung des Erstausschlags der P-Phase gesetzt werden (grünes Dreieck).

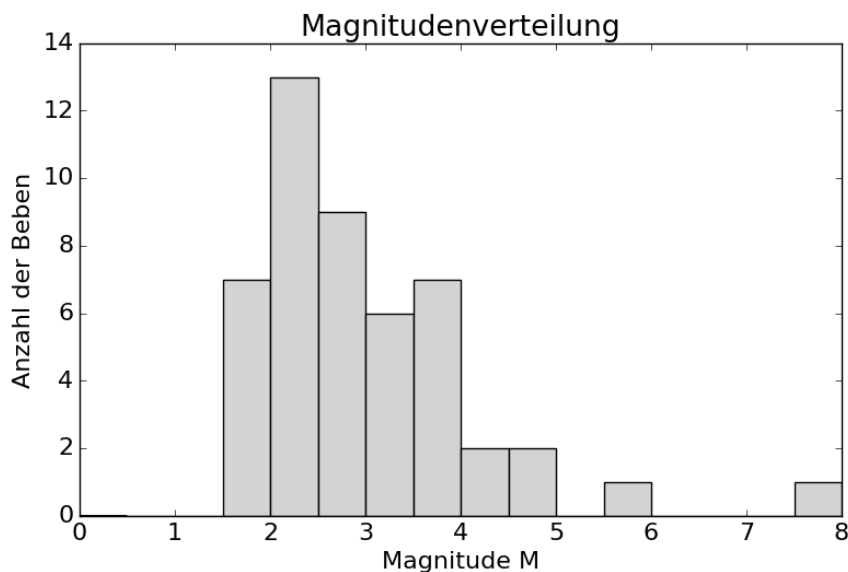


Abbildung 5.4: Die Magnitudenverteilung der manuell ausgewerteten Beben in Chile. Die Bereiche sind in 0.5 M Schritten eingeteilt. Zu erkennen ist, dass es sich um eine 'zufällige' Auswahl der Ereignisse handelt.

5.1.3 Ergebnisse der manuellen Auswertung

Für die 48 registrierten Erdbeben wurden insgesamt 610 Phaseneinsatzzeiten manuell bestimmt, davon 345 für die P-Phase und 265 für die S-Phase. Wie in Abbildung 5.5 zu sehen ist, wurden am meisten Phasenpicks für die kleineren Magnituden gesetzt. Für einige Magnitudenbereiche wurden vergleichsweise wenig Erdbeben registriert, was sich durch das kurze Auswertungsfenster begründet lässt. Mit Hilfe des in SEISCOMP3 integrierten Lokationsmodul LocSAT wurden Residuen für die Phasen gebildet. Diese setzen sich aus dem Unterschied zwischen der erwarteter Ankunftszeit und der tatsächlich gepickten Zeit zusammen. In der Abbildung 5.6 sind diese Residuen als Verteilung dargestellt. Zu sehen ist, dass die Abweichungen einer Gaußverteilung ähneln und die meisten Residuen einen Betrag von unter 0.5 s aufweisen. Diese Residuen sind jedoch sehr stark abhängig von dem benutzten Untergrundmodell bzw. von der Eignung des Modells für diese Region passt. Deshalb dienen die Laufzeitresiduen nur zu einer ungefähren Abschätzung, wie gut die Phasen für ein Ereignis bestimmt wurden.

Im Anhang B.2 sind weitere Abbildungen zu den Auswertungen dieser Testregion gezeigt. Unter anderem ist dort in Abbildung B.1 eine Distanzverteilung mit gleichzeitiger Residuumsangabe des Picks gezeigt. Des Weiteren wird in Abbildung B.2 für jedes Beben die Anzahl der Picks über der jeweiligen Magnitude aufgetragen.

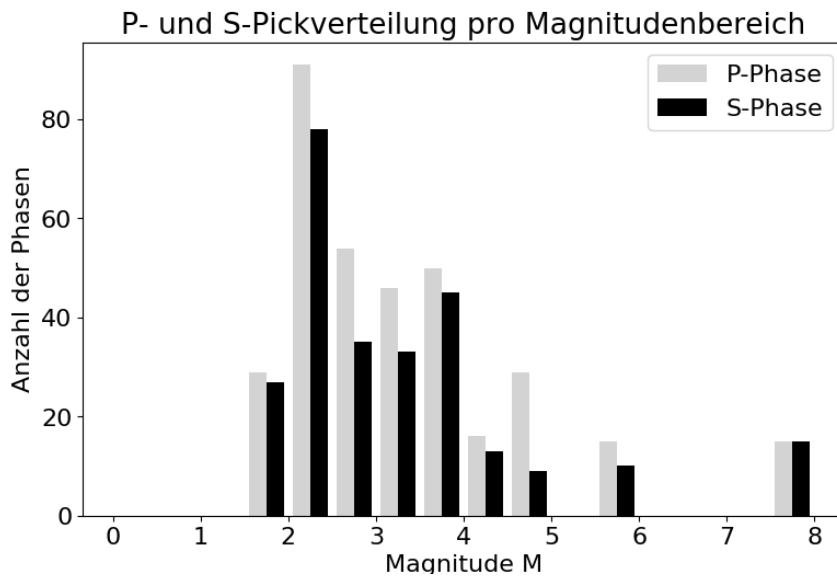


Abbildung 5.5: Aufgetragen sind die P- und S-Picks je Magnitudenbereich. Die beiden Balken umfassen den selben Bereich (0.5 M).

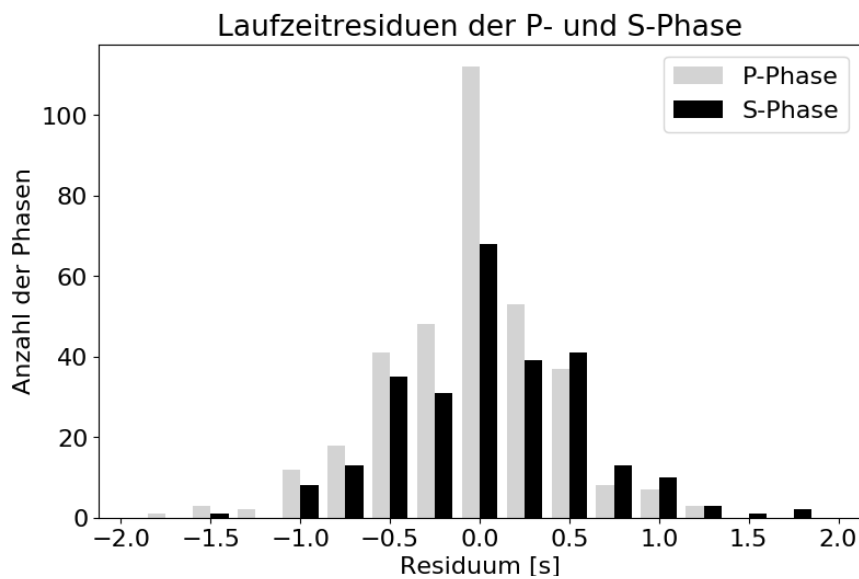


Abbildung 5.6: Die hier dargestellte Verteilung zeigt die Laufzeitabweichungen vom benutzten Untergrundmodell an. Die beiden Balken umfassen den selben Bereich (0.25 s).

5.2 SEISCOMP3 S-Phasenpicker

5.2.1 Datenbearbeitung

Die Parameter der in SEISCOMP3 integrierten Picker lassen sich manuell und automatisch anpassen. Die Parameterwerte welche als Ausgangswerte genommen wurden, sind in der Tabelle 5.1 gezeigt. Nachdem diese ausgewählt und die Wellendaten den Pickern übergeben wurden, werden die Picker im --ep (--playback) Modus des SCAUTOPICK(siehe Glossar) gestartet. Die Phaseneinsatzzeiten werden für die drei Komponenten einer Station simultan bestimmt.

Als Erstes wurde der Parameter 'filter', im folgenden als Vorfilter bezeichnet, verändert, danach wurde für den S-L2 der Parameter 'threshold' und für den S-AIC bzw. S-AIC-V gleichzeitig die Parameter 'step' und 'minCnt' getestet. Dabei wurden die Picks der Durchläufe mit denen der manuellen Auswertung anhand der Qualitätsfaktoren verglichen. Das Zeitfenster, welches zur Berechnung der Faktoren benutzt wird, hat eine Länge von ± 1 s. Da auch der P-Detektor durchaus einen Einfluss auf die Ergebnisse hat, dieser in der Arbeit jedoch nicht betrachtet wird, haben alle SEISCOMP3 S-Picker den gleichen schon optimierten P-Picker benutzt.

Die Wellendaten wurden von 12 bis 24 Uhr nach Picks durchsucht.

Parameter	S-L2	S-AIC	S-AIC-V
noiseBegin	-10	-10	-10
signalBegin	4	1	1
signalEnd	50	50	50
filter	BW(4,3,20)	BW(4,3,20)	BW(4,3,20)
detecFilter	STALTA(0.2,10)	nicht gesetzt	nicht gesetzt
threshold	3	-	-
step	-	1	1
minCnt	-	3	3
timeCorr	0	-	-
marginAIC	5	-	-
minSNR	5	5	5

Tabelle 5.1: Die abgebildeten Parameter gelten als Ausgangswerte für die in SEISCOMP3 integrierten S-Picker.

5.2.2 Ergebnisse

In der ersten Testreihe wurden die drei in SEISCOMP3 integrierten S-Picker auf den Vorfilter, mit den sonstigen Standardwerten, getestet. Es zeigt sich, dass Filter, die Frequenzen im Bereich zwischen 1 bis zu 20 Hz enthalten, für alle S-Picker allgemein gebräuchlich sind. So wurden anhand des 'Score'-Wertes die Filter ausgewählt, mit denen andere Parameter getestet werden. Für den S-L2 wurden bei ähnlichem Score bevorzugt die Filter genommen, die einen Höheren n -Wert haben. Der S-AIC-V wurde mit den gleichen Filtern, die für den S-AIC ausgewählt wurden getestet.

Im nächsten Schritt ist der Parameter 'threshold' in der zweiten Testreihe für den S-L2-Detektor verändert worden (nur für die vorausgewählten Filter). Es zeigt sich, dass die 'threshold'-Werte 3 und 5 ähnlich gute Ergebnisse erzielen. Der Filter BW(4,4,8) mit einem Wert von 5 liefert jedoch den höchsten Score und die meisten übereinstimmende

Picks. Die Konfiguration wird als 'Beste' für den S-L2 bezeichnet.

Für die AIC-Picker wurde ebenfalls eine weitere Testreihe durchgeführt, bei der die Parameter 'step' und 'minCnt' verändert wurden. Hierzu wurden nur die beiden vorausgewählten Filter des S-AIC zum weiteren Testen für beide Picker benutzt. Als Resultat für den S-AIC zeigt sich, dass die beiden Filter kaum Unterschiede vorweisen, da sie auch sehr ähnlich sind. Die benötigte Zeit für einen Durchlauf ist bei geringem 'step'-Wert in Kombination mit einem hohem 'minCnt'-Wert stark erhöht. Für den BW(4,4,10) Filter mit einem 'step'-Wert von 0.5 und einem 'minCnt'-Wert von 3 wird die höchste Anzahl an übereinstimmenden Picks und der höchste Score erreicht. Somit wird diese Konfiguration als die 'Beste' für den S-AIC bezeichnet.

Beim S-AIC-V-Detektor wurde für die vorausgewählten Filter kein höherer Score, als wie beim Vorfilter BW(4,3,10) mit den restlichen Standardwerten erreicht. Diese Konfiguration des S-AIC-V wird als 'Beste' bezeichnet.

Abschließend zusammengefasst sind die 'besten' Pickerkonfigurationen mit den Werten der Qualitätsfaktoren in der Tabelle 5.2 für die 3 S-Picker zu sehen.

Insgesamt wurde der S-L2 Detektor in 30 Durchläufen getestet, während es beim S-AIC und beim S-AIC-V jeweils 39 Durchläufe waren. Alle Resultate dieser einzelnen Durchläufe sind in den Tabellen im Anhang B.1.1 zu sehen.

		S-L2	S-AIC	S-AIC-V
Parameter	noiseBegin	-10	-10	-10
	signalBegin	4	1	1
	signalEnd	50	50	50
	filter	BW(4,4,8)	BW(4,4,10)	BW(4,3,10)
	detectFilter	STALTA(0.2,10)	nicht gesetzt	nicht gesetzt
	threshold	5	-	-
	step	-	0.5	1
	minCnt	-	3	3
	timeCorr	0	-	-
	marginAIC	5	-	-
	minSNR	5	5	5
	Qualitätsfaktoren	n	165	196
n_s [%]		75.3	89.5	79
n_{ges} [%]		67.2	79.8	71
$\overline{\Delta t}$ [s]		0.141	0.156	0.27
$\sigma(\Delta t)$ [s]		0.181	0.201	0.26
t_r [s]		14	56	34
sc		78.7	86.6	77

Tabelle 5.2: Die Parameter und Qualitätsfaktoren der 'besten' Pickerkonfiguration der SEISCOMP3 S-Picker dieser Testregion. Ein - steht für einen nicht existierenden Parameter für den Picker.

5.3 PhasePApy Picker

5.3.1 Datenbearbeitung

Alle Phasendetektoren aus dem PhasePApy Paket bestimmen die Picks auf jeder Komponente einer Station einzeln, d.h. eine Station kann im Endeffekt für jede Spur eine andere Anzahl an Picks liefern. Der Associator, welcher ebenfalls in dem Paket enthalten ist, macht im Anschluss aus den Picks der jeweiligen Komponenten einheitliche Picks für die Stationen und ordnet ihnen erst die Phase zu. Der Associator konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht verwendet werden.

Im Laufe der Arbeit hat sich heraus gestellt, dass sich, aufgrund seiner geringeren Rechenzeit pro Durchlauf, für umfangreiche Tests sich nur der FB-Picker eignet. Um diese automatisch generierten Picks mit den Manuellen vergleichbar zu machen, wurde der Picker so eingesetzt, dass er immer nur auf einer kombinierten Spur pro Station pickt. In diesem Falle werden die beiden horizontalen Komponenten der Station via Vektorsummation vereint (L2). Um eine eventuelle Dominanz einer Rohspur gegenüber der Anderen auszugleichen, werden die Spuren vorher mit einem 1 Hz BW Hochpassfilter (wird im Folgenden als Vorfilter bezeichnet) gefiltert.

Da der Detektor an sich keine Phasenbestimmung macht, wurden die S-Picks so ausgewählt, dass innerhalb eines bestimmten Zeitfensters um die manuellen S-Picks nach automatisch generierten Picks gesucht wurde. Gab es einen Treffer, wird dieser Pick als ein S-Pick angenommen. Wie schon im Kapitel 4 beschrieben, werden nur 5 der 6 Qualitätsfaktoren verwendet. Die benötigte Zeitfensterlänge betrug für diesen Picker ebenfalls ± 1 s.

Für den FB-Detektor wurden die Parameter t_long , $nsigma$ und t_up getestet. Neben diesen Parametern wurde noch zusätzlich getestet, ob ein Filter nach der Bildung der Vektorsumme die Qualität der Picks verändert. Dazu wurde der gleiche Filter, wie beim Vorfiltern benutzt. Alle Durchläufe wurden zuerst im rms-Modus ausgeführt, da laut Chen and Holland (2016) dieser zeitlich effizienter sei, bevor die Besten davon noch zusätzlich im 'std'-Modus getestet wurden. Die Parameterwerte, welche als Ausgangswerte genommen wurden, sind in der Tabelle 5.3 gezeigt.

Da es zu Problemen kam, als der komplette Wellendatensatz dem Picker mit einem Mal gegeben wurde, ist der Datensatz in Stundenabschnitten übergeben worden. Dies wirkt sich durchaus auf die Pickzeit für einen Durchgang aus. Jedoch können die Abschnitte nach 18 Uhr vernachlässigt werden, da danach keine manuellen S-Phasen mehr gepickt wurden. Somit wurde nur die Hälfte der Daten dem FB-Detektor übergeben, was die Rechenzeit ca. halbiert hat.

5.3.2 Ergebnisse

Bei der ersten Testreihe zum FB-Detektor wurden die Parameter t_long , $nsigma$ und t_up , sowie der nachträgliche Filter im 'rms'-Modus getestet. Allgemein lässt sich erkennen, dass desto geringer der $nsigma$ -Wert gesetzt wurde, desto länger braucht ein kompletter Durchlauf. Dies kann evtl. dadurch erklärt werden, dass durch den geringeren Wert wesentlich mehr Picks gefunden wurden. Aus den Resultaten der ersten Testreihe wurden jeweils die drei Konfiguration, mit und ohne Nachfilter, welche die höchsten 'Score'-Werten haben, nachträglich in einer zweiten Testreihe im 'std'-Modus getestet und verglichen. Dort bestätigt sich die Annahme der längeren Rechenzeit. Jedoch verbessert dieser Modus nur die Werte einer Konfiguration. Diese Parameterkonfiguration liefert sogar die besten Resultate. Deshalb wird diese als die 'Beste' für den FB-Picker bezeichnet.

Die Parameterwerte dieser Konfiguration sind in der Tabelle 5.4 zu sehen. Alle Ergebnisse der 30 Durchläufe für die Testreihen sind in den Tabellen im Anhang B.1.2 zu sehen.

Parameter	FB
t_long	2
freq_min	1
cnr	4
t_ma	2
n_sigma	6
t_up	0.4
mode	rms
nr_len	2
nr_coeff	2
pol_len	10
pol_coeff	10
uncert_len	t_ma
uncert_coeff	3

Tabelle 5.3: Die Parameter die als Ausgangswerte für den FB-Picker verwendet wurden.

Parameter	FB
t_long	2
freq_min	1
cnr	4
t_ma	2
n_sigma	4
t_up	0.8
mode	std
nr_len	2
nr_coeff	2
pol_len	10
pol_coeff	10
uncert_len	t_ma
uncert_coeff	3
Nachfilter	Ja
Qualitätsfaktor	
n	206
$\frac{n_{ges}}{\Delta t}$	78.6
$\sigma(\Delta t)$	0.169
t_r	361
sc	78.4

Tabelle 5.4: Die Parameter und Qualitätsfaktoren der 'besten' Konfiguration des FB-Picker dieser Testregion.

5.4 Pickervergleich

Abschließend wird ein Picker gesucht, welcher die besten Ergebnisse für diese Testregion liefert. Dazu werden die 'besten' Konfigurationen aller getesteten Picker miteinander verglichen.

Theoretisch könnten einfachheitshalber die 'Score'-Werte verglichen und so ein Sieger bestimmt werden. Jedoch sind diese errechneten Werte für die SEISCOMP3 Picker nicht mit dem des FB-Detektors vergleichbar, da sie sich aus anderen Werten zusammensetzen. Somit muss eine allgemeine Auswertung erfolgen.

Der erste Unterschied zwischen den Detektoren ist die benötigte Rechenzeit (t_r). Diese ist bei den SEISCOMP3 Picker wesentlich geringer als bei dem FB-PhasePapy Picker. Der S-L2-Detektor zeigt die geringste Rechenzeit. Allgemein gesehen sind alle Picker zur echtzeitfähigen Auswertung in der Lage.

Der Parameter n ist zwischen den SEISCOMP3 Detektoren und dem FB-Picker ebenfalls nicht vergleichbar, da sie sich anders berechnen (siehe Kapitel 4). Deshalb wird für den Vergleich der Faktor n_{ges} benutzt. Aus diesem ist zu erkennen, dass der S-AIC die höchste Prozentzahl erreicht, dicht gefolgt vom FB.

Für die Faktoren Mittelwert ($\overline{\Delta t}$) und Standardabweichung ($\sigma(\Delta t)$) zeigt der S-L2 die geringsten und somit besten Werte, wobei die Werte des S-AIC Picker nicht wesentlich schlechter sind, wenn man die hohe Anzahl von n betrachtet.

Als ein weiterer Vergleich wurden die Pickzeitdifferenzen der 'besten' Konfigurationen der vier S-Picker verglichen. Dies ist in Abbildung 5.7 zu sehen. Aus diesem Diagramm ist zu erkennen, dass die meisten Picks des S-L2- und des S-AIC-Detektors nur eine Abweichung von ± 0.125 s haben, während die höchste Anzahl der Picks für die anderen beiden Picker im Intervall um 0.25 s liegt. Bei allen ist generell zu beobachten, dass viele Picks eine positive Abweichung besitzen und somit später gesetzt werden.

Aus den aufgetragenen Pickzeitdifferenzen über der Distanz je Pick (Abb. 5.8), zeigt sich die zunehmende Ungenauigkeit mit steigender Distanz. Beim S-L2 und S-AIC ist dieser Effekt am geringsten zu beobachten.

Als besten Detektor für dieses Testgebiet kristallisiert sich so der S-AIC mit seiner 'besten' Konfiguration heraus, aufgrund der hohen Anzahl an übereinstimmenden Picks, der geringeren Streuung und des höchsten Scores unter den SEISCOMP3 Pickern. Anhand eines Beispielbebens werden die S-Picks aller 'besten' Konfigurationen aufgezeigt (Abb. 5.9).

Im Anhang B.2 wurde ein direkter Vergleich für gleich gesetzte S-Picks zwischen den SEISCOMP3 Pickern durchgeführt (Abb B.5). Zudem wurden all diese Picks (sowohl S als auch P), für jede 'beste' Konfigurationen der SEISCOMP3 Picker, zu Ereignissen (Origins) mit Hilfe des SEISCOMP3-Modul SCANLOC zusammengefasst und anschließend auf einer Karte markiert (Abb. B.6).

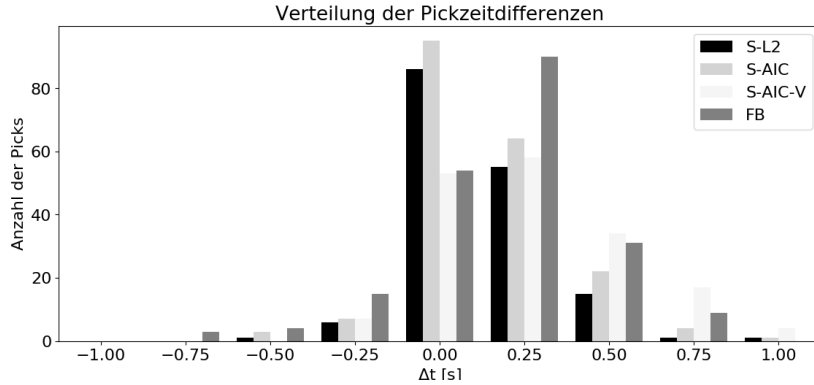


Abbildung 5.7: Verteilung der zeitlichen Differenz zwischen den manuellen und den automatische generierten S-Picks. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration. Die Balken umfassen immer das gleiche Intervall mit einer Länge von 0.25 s.

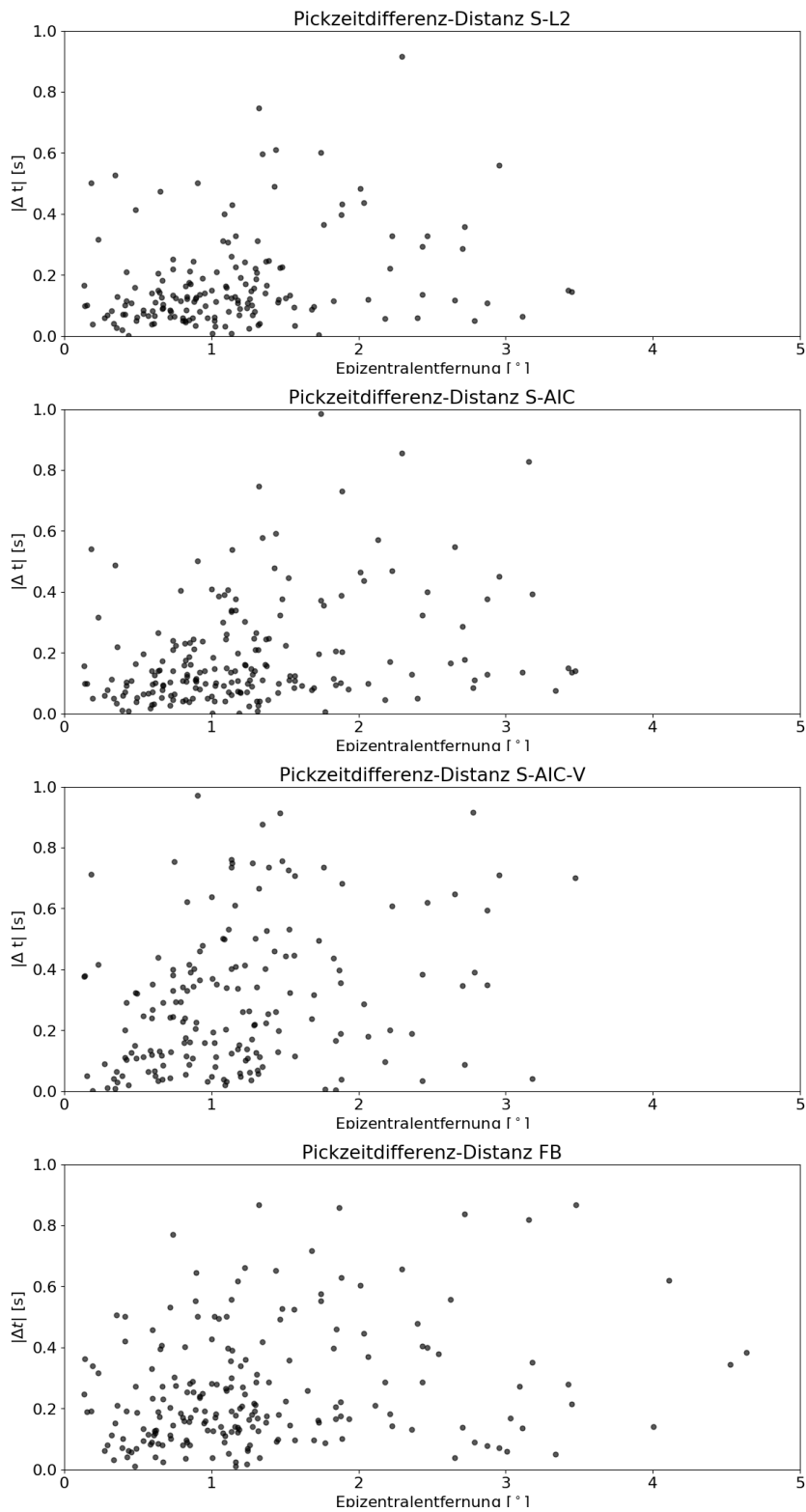


Abbildung 5.8: Die Pickzeitdifferenzen jedes Picks werden über der Distanz aufgetragen. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Konfiguration des S-L2 (oben), des S-AIC (oben mitte), des S-AIC-V (unten mitte) und des FB-Detektors (unten).

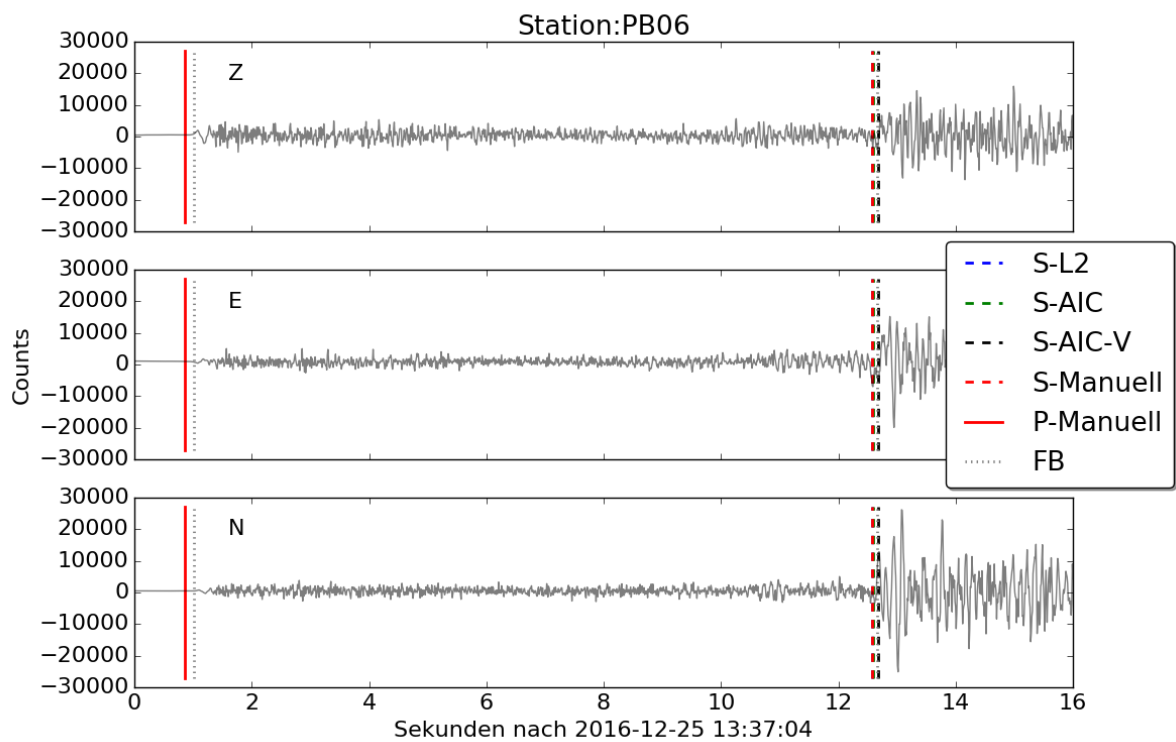


Abbildung 5.9: Die Phaseneinsatzzeiten der getesteten S-Picker und die der manuellen Auswertung, sind farblich für das Beben Nr. 7 (siehe Tabelle B.2) markiert. Für den FB-Detektor ist die Phase unklar, deshalb sind alle gefundenen Picks innerhalb des Zeitraums gezeigt. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration.

6 Testregion: Vogtland, Lokal und Regional

6.1 Manuelle Auswertung

6.1.1 Datengrundlage

Die Wellendaten zu dieser Testregion stammen vom frei zugängliche SeedLink Server der Universität Leipzig bzw. vom GEOFON. Hierbei handelt es sich um Daten zu repräsentativen Ereignissen in dieser Region. Die Daten enthalten meist einige Minuten vor dem P-Einsatz und nach dem S-Einsatz an Wellenform, somit handelt es sich hierbei nicht um kontinuierliche Daten. Die Wellendaten dieser Testregion sind in zwei Datensätze getrennt. Der als 'Lokal' bezeichnete, enthält nur Wellenform von ausgewählten Erdbeben, welche in der Region des Vogtlandes zwischen dem 24.01.17 und dem 12.02.17 klar und eindeutig zu erkennen sind. Der andere Datensatz, welcher als 'Regional' bezeichnet wird, enthält Wellendaten zu verschiedenen Ereignissen. Die Häufigsten sind Sprengungen im Steinbruch bzw. Tagebau und Erdbeben innerhalb diesem Datensatz. Diese Ereignisse wurden zwischen August 2016 bis Mitte Januar 2017 registriert. Bei beiden Datensätzen handelt es sich um nicht kontinuierliche Daten.

Die Gemeinsamkeit der Datensätze liegt in der gleichen Stationsverteilung. Diese beinhaltet Stationen von mehreren Netzwerken, welche mit unterschiedlichen Abstraten arbeiten. Eine genaue Übersicht über die verwendeten Stationen ist in der Tabelle C.1 im Anhang aufgezeigt. Diese sind auch auf der Abbildung 6.1 als schwarze Dreiecke markiert. Die Region des Vogtlandes ist vor allem durch die dort typischen Schwarmbeben (Fischer et al., 2014) bekannt. Zudem existiert dort eine markante Anisotropie im Untergrund (Röfller, 2006). Da es in der Umgebung sehr viele Steinbrüche und andere Abbaugelände gibt, werden viele Erderschütterungen durch die dortigen Sprengungen ausgelöst.

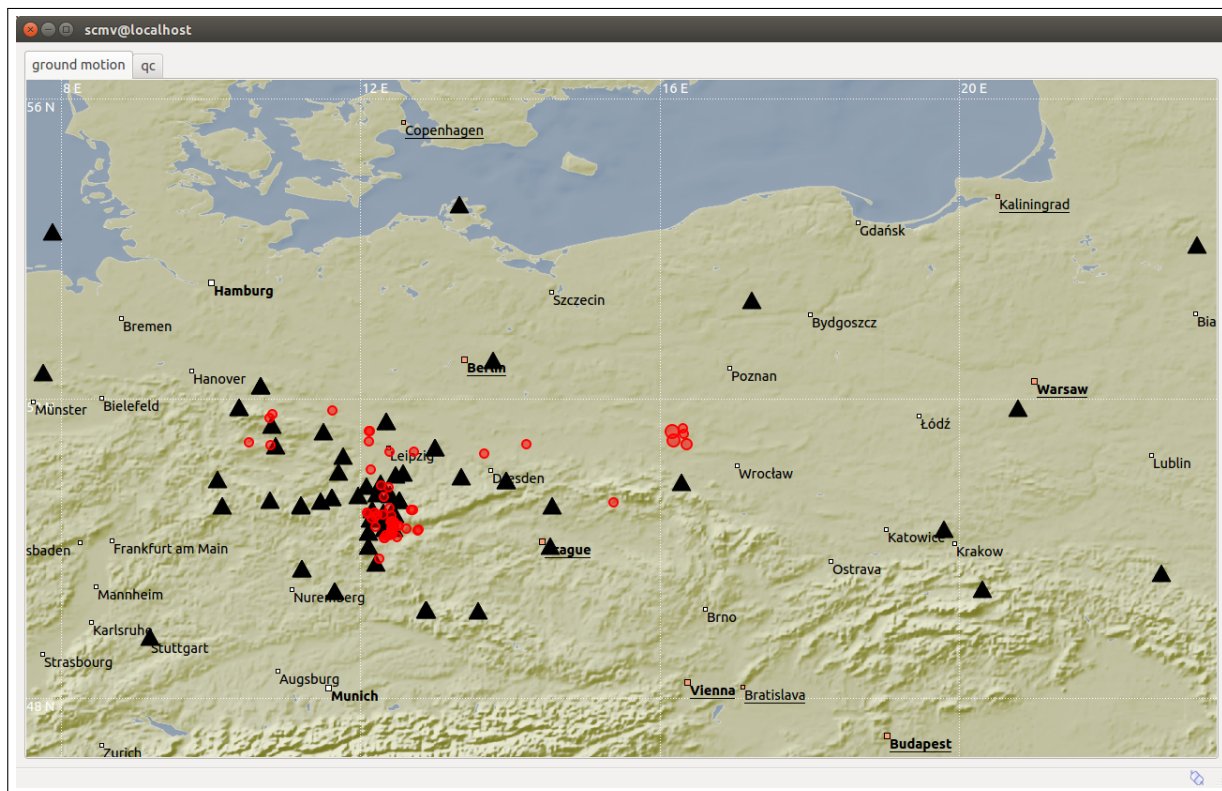


Abbildung 6.1: Die Übersichtskarte zeigt die Verteilung der Stationen (schwarze Dreiecke) und die registrierten Ereignisse (farbige Kreise) beider Datensätze.

6.1.2 Datenbearbeitung

Da es sich bei beiden Datensätzen um keine kontinuierlichen, sondern um ausgewählte Ereignisse handelt, wurden die Daten im SCRITV angeschaut und Origins erstellt. Die Phaseneinsätze für die Origins wurden anschließend manuell mit dem SEISCOMP3-Modul SCOLV auf ungefilterten bzw. 3 Hz Hochpassgefilterten Spuren bestimmt. So erhält man für den 'Lokalen' Datensatz 10 eindeutige Erdbeben. Die Lokation der Erdbeben ist lokal im Vogtland. Der Datensatz 'Regional' ergab insgesamt 51 Ereignisse, welche nicht nur im Vogtland, sondern auch unter anderem in Polen und im Harz lokalisiert wurden. Die Ereignisse beider Datensätze sind auf der Karte in Abbildung 6.1 als rote Kreise markiert. Auch für diese Datensätze wurden mit Hilfe des Lokationsmodul LocSAT und dem Geschwindigkeitsmodell IASP91 die Ereignisse lokalisiert. Anschließend wurden ebenfalls die Magnituden bestimmt. Die Magnitudenverteilung für diese Datensätze sind in der Abbildung 6.2 jeweils gezeigt. Die 10 Erdbeben aus dem Vogtland haben sehr geringe Magnituden von unter 1, während die Steinbruchsprengungen aus den anderen Datensätze durchaus Magnituden von über 3 bis sogar über 4 annehmen können.

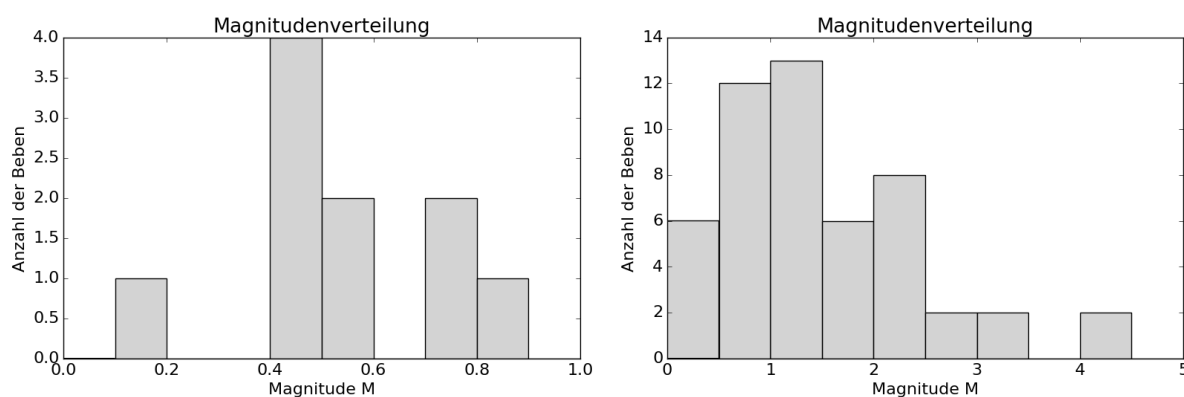


Abbildung 6.2: Die Magnitudenverteilung für den 'Lokalen' Datensatz links (Bereiche in 0.1 M Schritten) und den 'Regionalen' rechts (Bereiche in 0.5 M Schritten).

6.1.3 Ergebnisse der manuellen Auswertung

Nach dem die Phasen innerhalb der Wellendaten bestimmt wurden, erhält man für den 'Lokalen'-Datensatz insgesamt 145 Phaseneinsätze (75 P-Phase, 70 S-Phase) und für den 'Regionalen'-Datensatz 1476 Phaseneinsätze (807 P-Phase, 669 S-Phase). In der Abbildung 6.3 sind die Phaseneinsätze beider Datensätze über dem Magnitudenbereich aufgetragen. Daraus zeigt sich, dass es sich um ausgewählte Ereignisse handelt, da keine kontinuierliche Abdeckung aller Magnitudenbereiche vorhanden ist. Zudem ist deutlich zu erkennen, dass Sprengungen höhere Magnituden produzieren als die in dieser Region üblichen Erdbeben. Die Laufzeitresiduen resultierend aus der Lokalisation mit LocSAT werden in der Abbildung 6.4 für jede Phase der Datensätze gezeigt. Im 'Lokalen'-Datensatz sind die Abweichungen nicht normalverteilt, dies könnte mit dem benutzen Untergrundmodell, welches anscheinend eher ungeeignet für diese Region ist, erklärt werden. Für den anderen Datensatz scheinen die Laufzeitresiduen schon eher einer Normalverteilung zu ähneln. Jedoch haben die meisten Phasen der beiden Datensätze einen Betrag des Residuums von unter 0.5 s.

Im Anhang C.2 und D.2 sind weitere Abbildungen zur manuellen Auswertung dieser Testregion gezeigt.

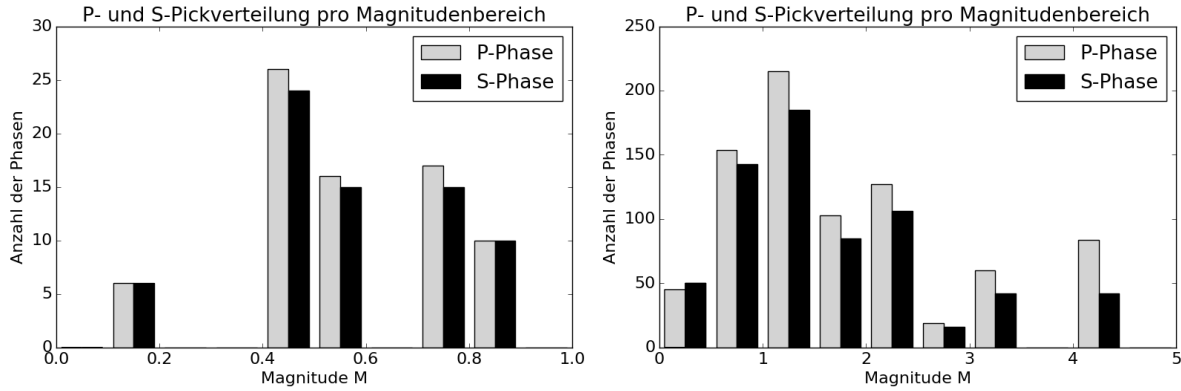


Abbildung 6.3: Aufgetragen sind die P- und S-Picks je Magnitudenbereich. Die beiden Balken umfassen den selben Bereich. Für den 'Lokalen'-Datensatz (links) sind die Bereiche in 0.1 M Schritten eingeteilt. Und für den 'Regionalen' (rechts) sind sie in 0.5 M Schritten eingeteilt.

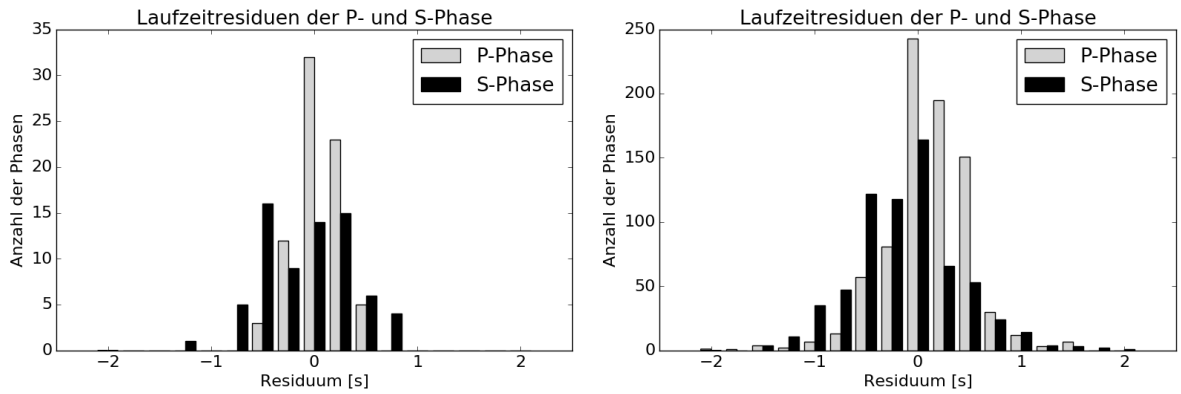


Abbildung 6.4: Die hier dargestellte Verteilung der Laufzeitresiduen der jeweiligen Picks, Lokal (links), Regional (rechts), zeigt die Abweichungen vom benutzten Untergrundmodell an. Die beiden Balken umfassen den selben Bereich (0.25 s).

6.2 SEISCOMP3 S-Phasenpicker

6.2.1 Datenbearbeitung

Die Daten der beiden Datensätze wurden analog zu denen der Testregion Chile bearbeitet (siehe 5.2.1). D.h. als Erstes wurde der Filter getestet, danach für den S-L2-Detektor der 'threshold'-Parameter und für die AIC-Detektoren wurden die Werte von 'minCnt' und 'step' gleichzeitig getestet.

Ein signifikanter Unterschied liegt darin, dass die Stationen für diese Region unterschiedliche Abtastraten haben. Deshalb muss beim Wechsel des Filter darauf geachtet werden, dass die Nyquist-Frequenz der Station nicht mit dem Filter überschritten wird. Wenn somit ein BW Bandpassfilter mit einer Eckfrequenz oberhalb von 80% der Nyquist-Frequenz getestet wird, ist dieser durch einen BW Hochpassfilter mit den ansonsten gleichen Filterparametern zu ersetzen. Ein weiterer Unterschied liegt in der Länge des Zeitfensters zur Berechnung der Qualitätsfaktoren. Diese beträgt in dieser Testregion für den 'Lokale' Datensatz, aufgrund der deutlichen Einsatzzeiten, nur ± 0.5 s und für den 'Regionalen' ± 1 s.

Parameter	S-L2	S-AIC	S-AIC-V
noiseBegin	-10	-10	-10
signalBegin	4	1	1
signalEnd	50	50	50
filter	BW(4,3,20)	BW(4,3,20)	BW(4,3,20)
detecFilter	STALTA(0.2,10)	nicht gesetzt	nicht gesetzt
threshold	3	-	-
step	-	0.2	0.2
minCnt	-	5	5
timeCorr	0	-	-
marginAIC	5	-	-
minSNR	5	5	5

Tabelle 6.1: Die abgebildeten Parameter gelten als Ausgangswerte für die in SEISCOMP3 integrierten S-Picker für beide Datensätze.

6.2.2 Ergebnisse - Lokal

In der ersten Testreihe für diesen Datensatz wurde lediglich der Vorfilter für alle drei S-Picker getestet. Wie schon für die Testregion Chile zu beobachten war, erhalten die Filter, die Frequenzen im Bereich zwischen 1 bis zu 20 Hz enthalten, den höchsten Score. Die Resultate vom S-AIC und vom S-L2 sind für diese Testreihe weitestgehend ähnlich, nur der S-AIC-V hat in den Qualitätsfaktoren vergleichbar schlechtere Werte. Aus dieser Testreihe wurden erneut die Filter mit den höchsten 'Score'-Werten ausgesucht. Dabei wurde versucht, wenn die 'Score'-Werte sehr ähnlich waren, möglichst viele unterschiedliche gute Filter auszuwählen.

Für die nächste Testreihe des S-L2 wurden die ausgewählten Vorfilter für den Parameter 'threshold' getestet. Auch hier liefern die Werte 3 und 5 die meisten übereinstimmenden Picks. Da jedoch keine Konfiguration im Vergleich zu den Standardwerten mit den Vorfilter BW(3,4,20) bessere Resultate liefert, wird diese Konfiguration als 'Beste' für den S-L2 bezeichnet.

In der letzten Testreihe des Datensatzes wurden die Parameter 'step' und 'minCnt' für den S-AIC und S-AIC-Detektor getestet. Dazu wurden nur die beiden Vorfilter, die für den S-AIC den höchsten Score hatten, ausgewählt. Die Qualitätsfaktoren zeigen beim Testen des S-AIC nahezu überall die gleichen Werte. Somit wird der Vorfilter BW_HP(3,3) mit einem 'step'-Wert von 0.1 und einem 'minCnt'-Wert von 10, aufgrund des höchsten Scores, als 'beste' Konfiguration für den S-AIC ausgewählt.

Für den S-AIC-V Detektor verhält es sich ähnlich, jedoch hat die Konfiguration mit dem BW(3,4,20) Filter, einem 'step'-Wert von 0.1 und einem 'minCnt'-Wert von 3 den höchsten Score und wird somit als 'beste' Konfiguration für diesen Picker bezeichnet.

Abschließend zusammengefasst sind die 'besten' Pickerkonfigurationen mit den Werten der Qualitätsfaktoren in der Tabelle 6.2 für die 3 S-Picker zu sehen.

Der S-L2 Detektor wurde insgesamt in 30 Durchläufen getestet, während es beim S-AIC und beim S-AIC-V jeweils 39 waren. Alle Resultate dieser einzelnen Durchläufe sind in den Tabellen im Anhang C.1.1 zu sehen.

		S-L2	S-AIC	S-AIC-V
Parameter	noiseBegin	-10	-10	-10
	signalBegin	4	1	1
	signalEnd	50	50	50
	filter	BW(3,4,20)	BW_HP(3,3)	BW(3,4,20)
	detectFilter	STALTA(0.2,10)	nicht gesetzt	nicht gesetzt
	threshold	3	-	-
	step	-	0.1	0.1
	minCnt	-	10	3
	timeCorr	0	-	-
	marginAIC	5	-	-
	minSNR	5	5	5
Qualitätsfaktoren	n	31	34	26
	n_s [%]	62.0	68.0	52.0
	n_{ges} [%]	44.3	50.0	38.6
	$\overline{\Delta t}$ [s]	0.036	0.030	0.056
	$\sigma(\Delta t)$ [s]	0.019	0.020	0.081
	t_r [s]	8	94	76
	sc	56.1	59.8	48.4

Tabelle 6.2: Die Parameter und Qualitätsfaktoren der 'besten' Pickerkonfiguration der SEISCOMP3 S-Picker dieses Datensatzes. Ein - steht für einen nicht existierenden Parameter für den Picker.

6.2.3 Ergebnisse - Regional

Wie schon für die anderen Datensätze wurde zuerst der Vorfilter für alle 3 S-Picker getestet. Auch hier zeigt sich, dass die Filter mit beinhalteteten Frequenzen zwischen 1-20 Hz die besten Ergebnisse liefern.

Aus der ersten Testreihe wurden für den S-L2 die drei Vorfilter ausgewählt, die den höchsten Score haben (bei gleichem Score, wurden nach höherem n -Wert entschieden). Mit diesen Filtern wurde in der zweiten Testreihe der Parameter 'threshold' untersucht. Dabei zeigt sich ebenfalls, dass die Werte 3 und 5 die besten Ergebnisse liefern. Für den Vorfilter Bw(3,3,10) mit einem 'threshold'-Wert von 5 wird zwar nicht die höchste Anzahl übereinstimmende Picks gefunden, jedoch sind die Werte des Mittelwerts und der Standardabweichung deutlich geringer. Zudem erreicht diese Konfiguration den besten 'Score'-Wert und wird aufgrund dessen als die 'Beste' für den S-L2-Picker bezeichnet.

Aus der ersten Testreihe ergeben sich ebenfalls für die AIC-Picker zwei Vorfilter. Dabei wurden die Vorfilter nach höchsten Score bzw. höchstem n -Wert ausgewählt. Diese wurden in einer weiteren Testreihe mit Parametern 'step' und 'minCnt' auf bessere Resultate untersucht.

Für den S-AIC erhält man so für den 'step'-Wert 0.1, einem 'minCnt'-Wert von 6 und den Vorfilter BW(4,1,20) die 'beste' Konfiguration. Die Parameterkonfiguration mit dem 'step'-Wert 0.1, dem 'minCnt'-Wert 10 und den Vorfilter BW(4,1,10) erhält man für den S-AIC-V-Detektor die 'beste' Parameterkonfiguration. Die 'besten' Pickerkonfigurationen sind mit den zugehörigen Werten der Qualitätsfaktoren in der Tabelle 6.3 zusammengefasst.

Der S-L2 Detektor wurde in 30, während der S-AIC und der S-AIC-V jeweils in 39 Durchläufen getestet wurden. Alle Resultate dieser einzelnen Durchläufe sind in den Tabellen

im Anhang D.1.1 abgebildet.

		S-L2	S-AIC	S-AIC-V
Parameter	noiseBegin	-10	-10	-10
	signalBegin	4	1	1
	signalEnd	50	50	50
	filter	BW(3,3,10)	BW(4,1,20)	BW(4,1,10)
	detectFilter	STALTA(0.2,10)	nicht gesetzt	nicht gesetzt
	threshold	5	-	-
	step	-	0.1	0.1
	minCnt	-	6	10
	timeCorr	0	-	-
	marginAIC	5	-	-
	minSNR	5	5	5
	Qualitätsfaktoren	n	141	247
n_s [%]		33.9	59.4	49.3
n_{ges} [%]		22.6	40.9	32.8
$\overline{\Delta t}$ [s]		0.080	0.141	0.135
$\sigma(\Delta t)$ [s]		0.114	0.212	0.301
t_r [s]		100	605	587
sc		56.5	68.6	60.9

Tabelle 6.3: Die Parameter und Qualitätsfaktoren der 'besten' Pickerkonfiguration der SEISCOMP3 S-Picker dieses Datensatzes. Ein - steht für einen nicht existierenden Parameter für den Picker.

6.3 PhasePapy Picker

6.3.1 Datenbearbeitung

Die Datenbearbeitung erfolgte analog zu der aus der Testregion Chile (siehe 5.3.1). Nur die Länge des benötigten Zeitfensters für die Qualitätsfaktoren betrug ± 0.5 s.

Die Wellendaten wurden dem Picker für jedes Ereignis einzeln übergeben.

Wie schon für die Testregion Chile wurde dieser Datensatz für die Parameter n_{sigma} , t_{long} , t_{up} und einen nachträglichen Filter getestet. Im Anschluss wurden die resultierenden Ergebnisse mit dem Modus 'std' verglichen.

Die Parameterwerte, welche als Ausgangswerte genommen wurden, sind in der Tabelle 6.4 gezeigt.

Aufgrund der großen Datenmenge konnte der FB-Picker für den 'Regionalen' Datensatz nicht innerhalb einer angemessenen Zeit getestet werden. Somit wird auf diesem Datensatz kein FB-Detektor angewendet.

6.3.2 Ergebnisse - Lokal

Aus den Resultaten der ersten Testreihe für den FB-Detektor zeigt sich, bei der die Parameter n_{sigma} , t_{long} , t_{up} und der nachträgliche Filter untersucht wurden, dass hohe n_{sigma} -Werte die Anzahl an übereinstimmenden Picks reduzieren und die Rechenzeit erhöhen. So wurden aus der ersten Testreihe die drei Parameterkonfigurationen mit den höchsten Score, egal ob mit oder ohne Nachfilter, ausgewählt und im 'std'-Modus getestet.

Aus dieser neuen Testreihe lässt sich sogar die 'beste' Konfiguration für den FB-Picker auswählen, aufgrund guter Werte in allen Faktoren und dem höchsten Wert des Scores. Diese Konfigurationsparameter- und Qualitätsfaktorwerte sind in der Tabelle 6.5 gezeigt. Insgesamt wurde der FB-Detektor in 30 Durchläufen getestet. Alle Ergebnisse dieser Läufe sind in den Tabellen im Anhang C.1.2 zu sehen.

Parameter	FB
t_long	2
freq_min	1
cnr	4
t_ma	2
n_sigma	6
t_up	0.4
mode	rms
nr_len	2
nr_coeff	2
pol_len	10
pol_coeff	10
uncert_len	t_ma
uncert_coeff	3

Tabelle 6.4: Die Parameter die als Ausgangswerte für den FB-Picker verwendet wurden.

Parameter	Lokal
t_long	2
freq_min	1
cnr	4
t_ma	2
n_sigma	2
t_up	0.2
mode	std
nr_len	2
nr_coeff	2
pol_len	10
pol_coeff	10
uncert_len	t_ma
uncert_coeff	3
Nachfilter	Ja
Qualitätsfaktor	
n	42
n_{ges}	60.0
Δt	-0.056
$\sigma(\Delta t)$	0.170
t_r	757
sc	51.5

Tabelle 6.5: Die Parameter und Qualitätsfaktoren der 'besten' Konfiguration des FB-Picker dieses Datensatzes.

6.4 Pickervergleich - Lokal

Als Abschluss wird der beste Picker für diesen Datensatz gesucht. Dabei werden alle 'besten' Konfigurationen der getesteten S-Detektoren miteinander verglichen.

Auch für diesen Datensatz der Testregion sind alle Picker echtzeitfähig.

Analog zu dem Pickervergleich der Testregion Chile (Kapitel 5.4) können die 'Score'-Werte nicht einfach verglichen werden. So werden die Picker aufgrund der Qualitätsfaktoren bewertet.

Für diesen Datensatz benötigte der S-L2-Detektor die geringste Rechenzeit von nur 8 s, im Gegensatz dazu braucht der FB-Picker fast hundertmal länger.

Als Vergleich zwischen den SEISCOMP3 Detektoren und dem FB-Picker wird der Faktor n_{ges} betrachtet. Für diesen zeigt der FB-Picker die höchste Prozentzahl an absoluten, übereinstimmenden S-Picks. Jedoch sind die Werte der Faktoren Mittelwert und vor allem des Faktors Standardabweichung für die anderen S-Picker in der Regel besser. Die Werte dieser beiden Faktoren sind für den S-L2 und den S-AIC sehr ähnlich.

Wie man in Abbildung 6.5 erkennt, konzentrieren sich alle gepickten Phaseneinsätze des

S-L2- und S-AIC-Pickers auf den Bereich zwischen ± 0.125 s. Während die beiden übrigen Picker auch Picks mit höheren Abweichungen in der Pickzeit besitzen. Allgemein gesehen sind die Pickzeitdifferenzen sehr zentriert, was auch in den geringen Mittelwerten zu erkennen ist.

In den Grafiken der Abbildung 6.6 wird nochmals die geringe zeitliche Abweichung zu den manuellen Picks für den S-L2 und den S-AIC deutlich. Dort ist sogar klar zu erkennen, dass deren Beträge der Pickzeitdifferenzen über die Distanzen nahezu unverändert bleiben und die allgemeine Streuung sehr gering ist. Der FB-Picker zeigt in dieser Abbildung hingegen eine vergleichsweise sehr große Streuung, was auch in dem hohen Wert der Standardabweichung sichtbar ist.

Um anhand eines Beispielbebens zu zeigen, wie die Picks im Vergleich gesetzt wurden, sind für alle Picker die Picks im entsprechende Seismogram markiert worden (Abb. 6.7). Als besten Picker für diesen Datensatz hat sich, aufgrund der hohen Streuung des S-AIC-V und des FB-Pickers und einer höheren Anzahl an übereinstimmenden Picks, im Vergleich zum S-L2, der S-AIC mit seiner 'besten' Konfiguration erwiesen.

Im Anhang C wurde ein weiterer Vergleich zwischen den getesteten SEISCOMP3 Pickern durchgeführt. Dort wurden die gleichen Picks untereinander verglichen (Abb C.5). Zudem wurden die P- und S-Picks zu Ereignissen (Origins) zusammengefasst und mit den Manuellen auf einer Karte abgebildet (Abb.C.6).

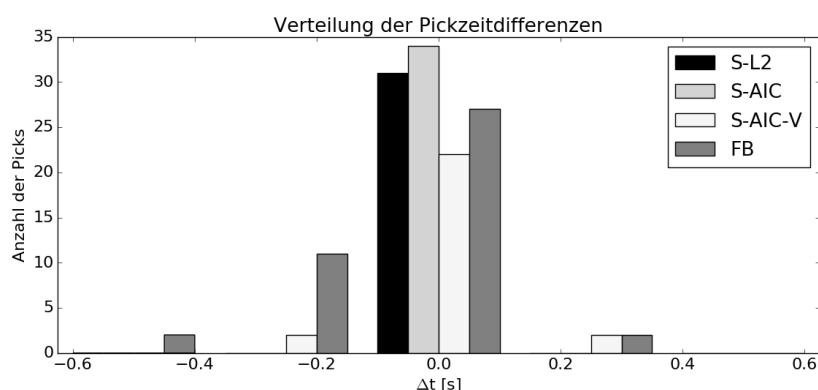


Abbildung 6.5: Verteilung der zeitlichen Differenz zwischen den manuellen und den automatisch generierten S-Picks. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration. Die Balken umfassen immer das gleiche Intervall mit einer Länge von 0.25 s.

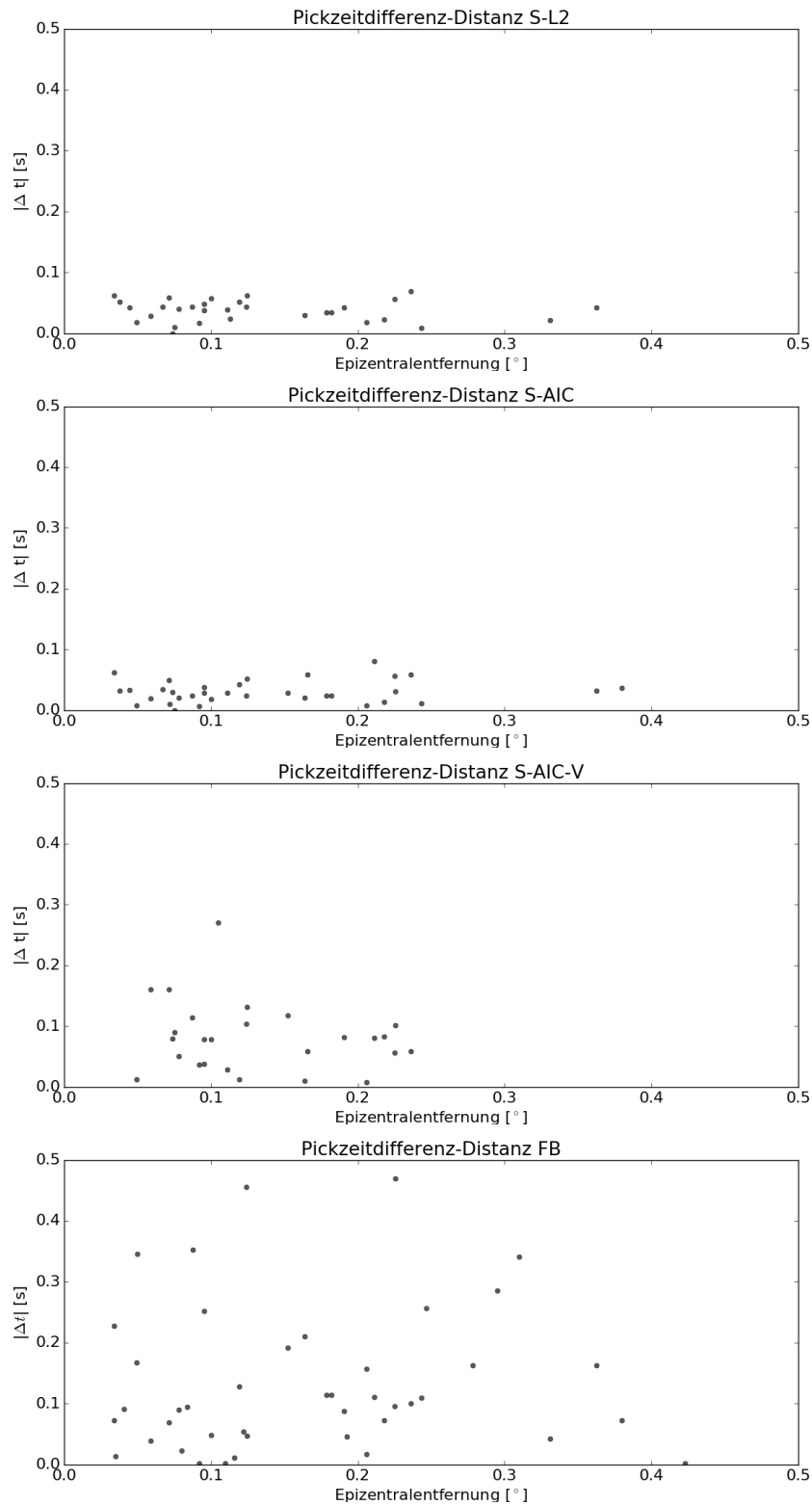


Abbildung 6.6: Die Pickzeitdifferenzen jedes Picks werden über der Distanz aufgetragen. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Konfiguration des S-L2 (oben), des S-AIC (oben mitte), des S-AIC-V (unten mitte) und des FB-Detektors (unten).

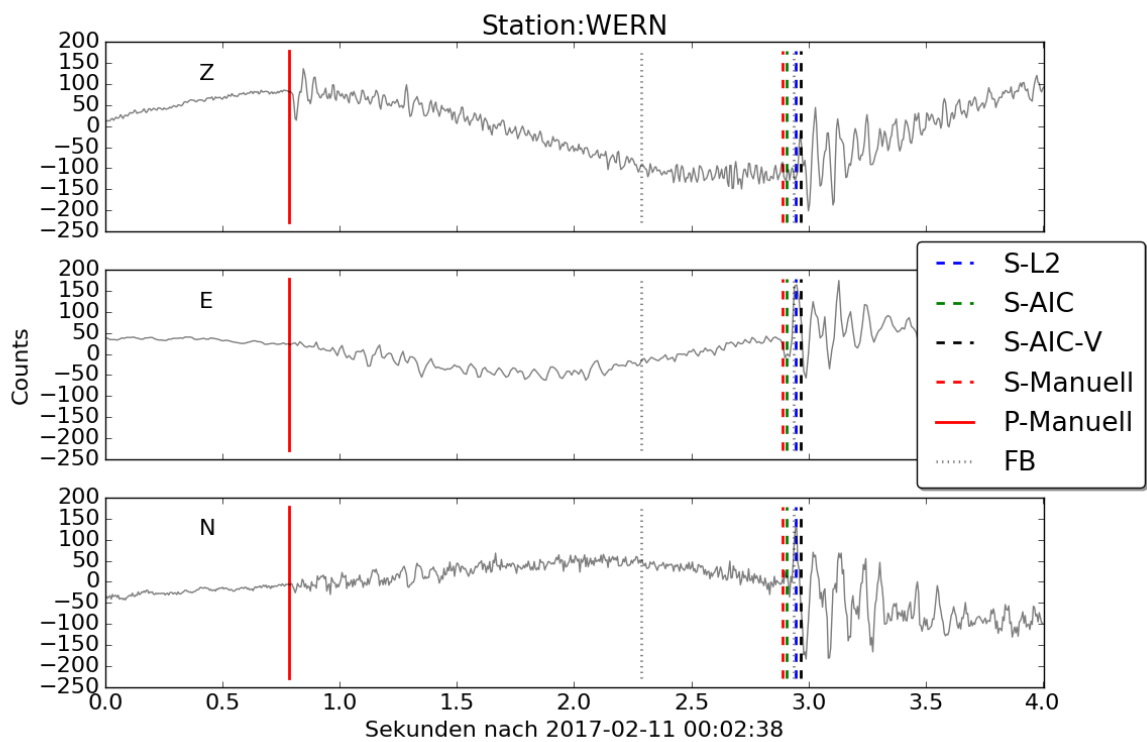


Abbildung 6.7: Die Phaseneinsatzzeiten der getesteten S-Picker und die der manuellen Auswertung, sind farblich für das Beben Nummer 9 (siehe Tabelle C.2) markiert. Für den FB-Detektor ist die Phase unklar, deshalb sind alle gefundenen Picks innerhalb des Zeitraums gezeigt. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration.

6.5 Pickervergleich - Regional

Auch für diesen Datensatz wird abschließend die 'beste' Pickerkonfiguration für die getesteten S-Picker gesucht. Da diesmal nur die für SEISCOMP3 programmierten Picker untereinander verglichen werden, können alle 6 Qualitätsfaktoren und der 'Score'-Wert zur Bewertung herangezogen werden.

Als erstes ist deutlich sichtbar, dass der S-AIC-Detektor mit Abstand die meisten übereinstimmenden Picks gefunden hat. Der S-L2-Detektor hingegen hat die geringsten Werte im Mittelwert und in der Standardabweichung, zudem hat dieser die geringste Rechenzeit. Des Weiteren besitzt der S-AIC auch den höchsten Score.

Allgemein ist erneut zu erkennen dass alle Picker echtzeitfähig sind.

In der Abbildung 6.8 ist zu erkennen, dass die meisten zeitlichen Pickabweichungen im Bereich zwischen ± 0.125 s für alle Picker liegen. Wie schon in den anderen Pickervergleichen beobachtet, werden wesentlich mehr Picks zeitlich nach den Manuellen gesetzt.

In den Grafiken der Abbildung 6.9 ist zu sehen, dass der S-AIC-V die größte Streuung der Pickzeitdifferenzen über alle Distanzbereiche besitzt. Während die anderen Beiden für die Bereiche, abgesehen von einigen Ausreißern, nur einen minimalen Anstieg mit zunehmender Distanz zeigen. Für den S-AIC existieren mehr dieser Ausreißer als für den S-L2, was die erhöhten Werte des Mittelwerts und der Standardabweichung erklärt. Auch mit diesen Ausreißern zeigt der S-AIC in fast allen Kriterien sehr gute Ergebnisse, weshalb er für diesen Datensatz ebenfalls als 'Bester' Picker ausgewählt wird.

An einem Beispielbeben werden die gesetzten Picks der Picker direkt im Seismogramm miteinander verglichen (Abb. 6.10).

Im Anhang ist noch zusätzlich ein direkter Vergleich für jeden gleichen S-Pick zwischen den S-Pickern gemacht worden (Abb. D.5). Zudem wurden, aus veranschaulichen Zwecken, die automatischen generierten Picks zu Origins zusammengefasst und anschließend auf einer Karte zusammen mit den manuell ausgewertete Ereignissen geplottet (Abb. D.6).

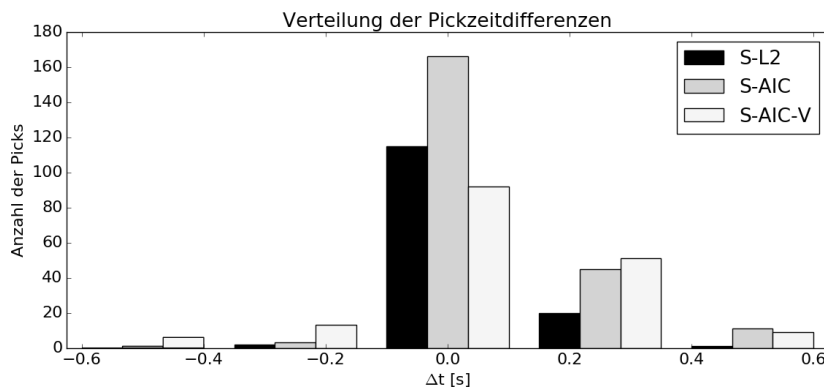


Abbildung 6.8: Verteilung der zeitlichen Differenz zwischen den manuellen und den automatisch generierten S-Picks. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration. Die Balken umfassen immer das gleiche Intervall mit einer Länge von 0.25 s.

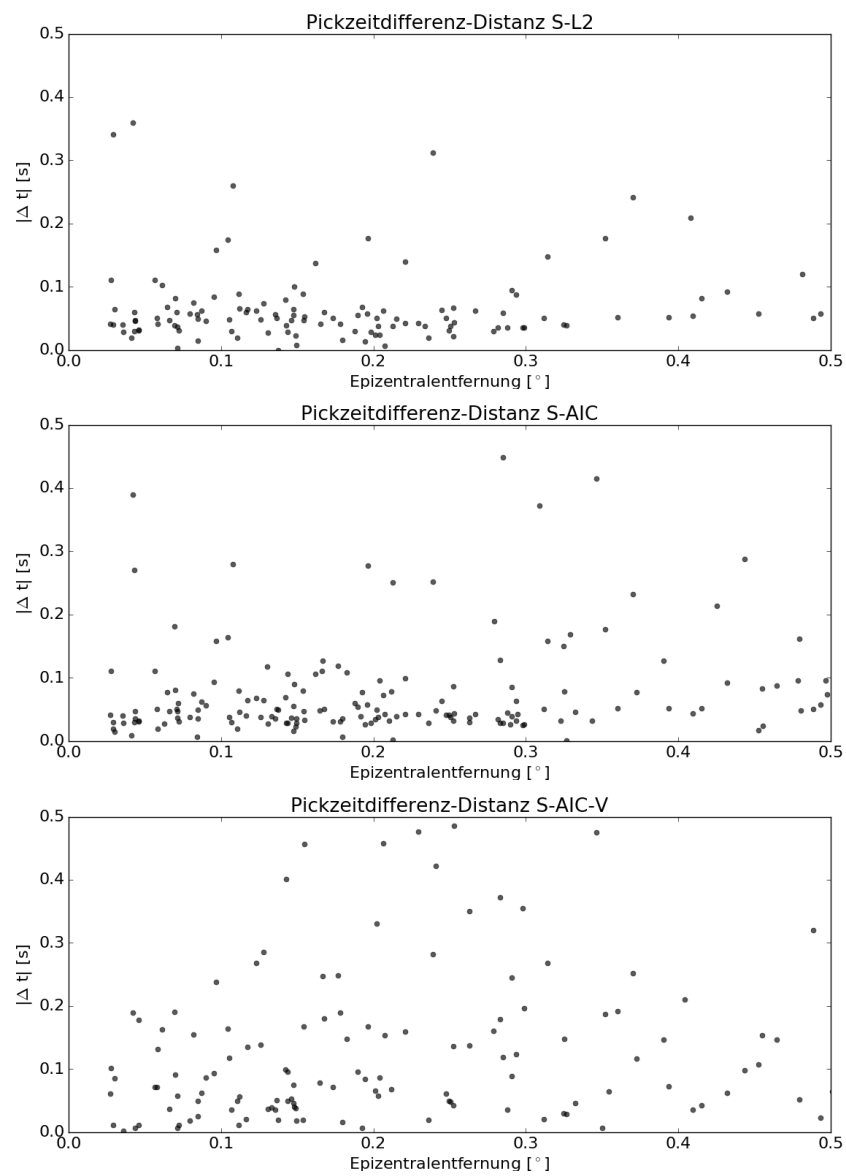


Abbildung 6.9: Dargestellt sind nur die Resultate mit der 'besten' Konfiguration des S-L2 (oben), des S-AIC (mitte) und des S-AIC-V (unten).

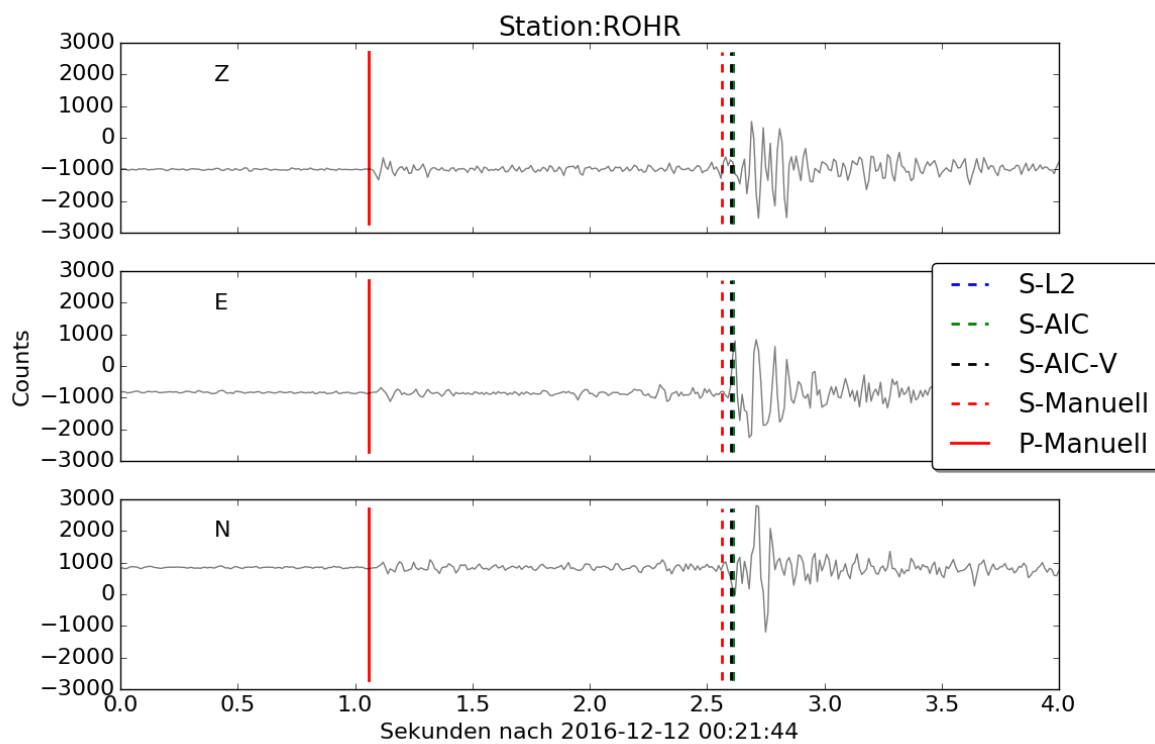


Abbildung 6.10: Die Phaseneinsatzzeiten der getesteten SEISCOMP3 S-Picker und die der manuellen Auswertung, sind farblich für das Beben Nummer 9 (siehe Tabelle D.1) markiert. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration.

7 Zusammenfassung

Fazit Wie eingangs erwähnt, soll die Arbeit zeigen, ob verlässliche S-Picker Routinen unter den hier getesteten Detektoren existieren. Dazu wurde die Performance von vier S-Detektoren für zwei Testregionen bzw. drei Datensätzen untersucht. Die Bewertung der S-Picker ist anhand der Qualitätsfaktoren und des sich daraus bildenden Score-Wertes weitestgehend objektiv geschehen.

Für die erste Testregion Chile zeigt sich der S-AIC als bester Detektor. Dieser zeichnet sich vor allem durch eine hohe Anzahl an übereinstimmenden S-Picks, bei ansonst vergleichsweise guten Qualitätsfaktoren, aus. Einzige die geringe Anzahl an übereinstimmenden Picks wertet den S-L2-Picker ab. Abgesehen von diesem Faktor ist dessen Performance gleichwertig, wenn nicht sogar besser, als die des S-AIC. Jedoch genau dieser Qualitätsfaktor ist in dieser Arbeit am wichtigsten.

Ebenso ist der S-AIC für den 'Lokalen' Datensatz des Vogtlandes als bester S-Picker hervorgegangen. Für diesen Datensatz ist hingegen die Qualitätsdifferenz zu den anderen Pickern noch geringer, als in der vorherigen Testregion. Dies liegt unter anderem an der geringen Anzahl an manuell bestimmten Picks. Allgemein zeichnen sich alle Pickerkonfigurationen mit einer hohen Genauigkeit aus, abgesehen vom FB-Detektor.

Auch für den letzten getesteten Datensatz, dem 'Regionalen' im Vogtland, zeigt sich, dass der beste getestete S-Picker der S-AIC ist. Erneut sticht dieser durch die hohe Anzahl an gefundenen S-Picks heraus. Diesmal schneidet der S-L2 wesentlich schlechter als in den vorherigen Datensatz ab, weil der Faktor über die Anzahl der gefundenen Picks der wichtigste ist. Dieser findet nur rund die Hälfte der Anzahl der Picks, die der S-AIC gefunden hat. Abgesehen von diesem Qualitätsfaktor hat der S-L2 in den Faktoren Mittelwert und Standardabweichung die besten Werte.

Zusammenfassend stellt sich der S-AIC für alle Regionen als bester unter den getesteten Phasendetektor heraus, wobei jedes mal eine andere Konfiguration des Pickers verwendet wird. Somit konnte aus den S-Pickern ein guter und verlässlicher Algorithmus gefunden werden. Lediglich die genaue Konfiguration muss für die Datensätze bestimmt werden, um optimale Ergebnisse liefern zu können.

Diskussion Das Ziel einen allgemeinen Algorithmus für S-Picker zu finden, der verlässliche und gute Resultate liefert gelang nur bedingt, da lediglich eine geringe Anzahl an Pickern, für die nicht alle Parameter optimiert werden konnten, getestet wurden.

Eine der häufigsten Bedingungen zum Setzen eines S-Picks ist für Detektoren, wie z.B. den SEISCOMP3 integrierten Pickern, der vorherige gesetzte P-Pick. Dies ist in mehreren Hinsichten problematisch. Einerseits könnte der benutzte P-Picker nicht optimal konfiguriert sein und verpasst somit einige Picks. Andererseits kann ein Signal, z.B. aufgrund der Abstrahlcharakteristik, keinen pickbaren P-Einsatz enthalten, wodurch ein evtl. vorhandener S-Pick nie gesetzt werden kann. So müsste entweder davon ausgegangen werden, dass der P-Picker optimal getestet wurde, was in der Testregion Chile der Fall war, oder es müssten separate S-Picker benutzt werden, wozu selbst die PhasePapy-Picker mit dem Associator nur bedingt in der Lage sind.

Eingehend auf die Ergebnisse der einzelnen Testregionen bzw. Datensätze, zeigt sich für Chile ein zu erwartendes, gutes Ergebnis. Mit annähernd 90% an übereinstimmenden S-Picks, im Vergleich zu manueller Auswertung, wurden die Erwartungen erfüllt. Zudem sind die Werte des Mittelwerts und der Standardabweichung in einem akzeptablen Rahmen für diese Region.

Der 'Lokale' Datensatz der Testregion Vogtland diente primär zur Überprüfung der Ge-

nauigkeit der S-Picker, denn es wurden ausschließlich Erdbeben mit sehr guten Phaseneinsätzen manuell ausgewählt. Deshalb erfüllt die Anzahl an übereinstimmenden Picks des besten S-Pickers nicht die Erwartungen. Die Genauigkeit der Picks lag im akzeptablen Bereich, was anhand des Mittelwertes und der Standardabweichung zu beurteilen ist.

Der andere Datensatz der Testregion Vogtland ist etwas komplexer zusammengestellt. So sind in diesen Vogtlandbeben, welche klare Phaseneinsätze haben, Steinbruchsprengungen und Erschütterungen anderer Abbaugebiete enthalten. Die Letzteren haben meistens keine guten Phaseneinsätze. Zudem ist der Entfernungsbereich sehr unterschiedlich; es sind die Beben im lokalen und Sprengungen im regionalen Bereich vertreten. Somit hat diese komplexe Situation die automatische Auswertung der S-Picker erschwert. Folglich waren die Erwartungen nicht allzu hoch. Nichtsdestotrotz zeigt dieser Datensatz vergleichbare Werte mit dem 'Lokalen' für die prozentualen Qualitätsfaktoren.

Ein Grund für die nicht erfüllten Erwartungen in die Pickanzahl könnte dem P-Picker zu geschrieben werden. Anders als für die Testregion Chile, wurde der P-Picker, der im Vogtland benutzt wurde, nicht ausreichend getestet, weshalb dieser eher als genügend und nicht optimal eingestuft wurde.

Eine allgemeine Fehlerquelle, die für alle Datensätze zutrifft, ist die manuelle Auswertung, auf denen die Vergleiche und Bewertungen basieren. Wie schon in der Einleitung erwähnt, ist ein Ziel automatische Picker einzusetzen, um die Subjektivität des Operators, der die Beben manuelle auswertet, zu eliminieren. Somit kommt es auch in dieser Arbeit dazu, dass die manuell getätigten Auswertungen mit einem gewissen Maß an Ungenauigkeit und evtl. fehlender Erfahrung getätigt wurden. Außerdem mussten einige manuelle Picks auf gefilterten Spuren gepickt werden, was möglicherweise nicht mehr der exakten Phaseneinsatzzeit entspricht.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Entfernungsbereich für den die Picker getestet werden. In dieser Arbeit wurden die S-Picker hauptsächlich auf lokale (Vogtland) und regionale (Chile) Beben untersucht. Für verschiedenen Entfernungen sind erstens die Parameter und zweitens die Bewertungskriterien anders zu setzen. Z.B. sind die Werte des Mittelwertes und der Standardabweichung für Chile in der vorhandenen Größenordnung akzeptabel, während die Werte für die gleichen Faktoren im Vogtland schon geringer sein sollten. Vor allem muss ein Parameter angepasst werden, der die Zeit zwischen P-Pick und dem Beginn der Suche nach des S-Picks angibt. Dies resultiert aus der Laufzeitdifferenz zwischen der P- und S-Phase. Für nahe Bereiche ist diese Differenz im einstelligen Sekundenbereich und der Picker muss dementsprechend zeitig nach dem P-Pick schon beginnen die S-Phase zu suchen. Dem hingegen kann die Differenz bei entfernteren Beben mehrere zehner Sekunden oder sogar mehrere Minuten betragen. Ist hierfür die Zeit zu gering eingestellt, kann es dazu kommen, dass evtl. andere Phasen, wie die Konvertierten zwischen der P- und S-Phase, als S-Einsatz angenommen werden. Alleine aus diesem Fakt kann es keinen Picker ohne automatische Anpassung dieses Parameters für alle Entfernungsbereiche geben.

In dieser Arbeit sind die S-Picker nur auf Genauigkeit und Übereinstimmung getestet worden. Eine Sache die einen guten Phasendetektor zusätzlich ausmacht, ist die möglichst geringe Anzahl an Fehl Picks. Darunter sind alle Picks gemeint, die keinem Ereignis zugeordnet werden können und unter Umständen einfach nur Rauschanomalien sind. Die hier verwendeten S-Picker wurden nicht auf entstehende Fehl Picks getestet oder bewertet, da nicht alle möglichen Ereignisse innerhalb der Wellendaten manuell ausgewertet wurden und somit kein direkter Vergleich angebracht gewesen wäre.

Da im Rahmen dieser Bachelorarbeit keine ausgiebigen Test möglich waren und die Picker im Vorhinein einmal grob konfiguriert werden mussten, wurden nur die S-Picker berück-

sichtigt, die innerhalb eines gewissen Zeitraums ordentlich zum Laufen gebracht und grob konfiguriert werden konnten. Diese Kriterien konnten unter anderem der KT- und der AICD-Detektor aus dem PhasPapy Paket nicht erfüllen.

Abschließend sei gesagt, dass die Suche nach geeigneten Pickern immer in einem Kompromiss endet. Zuerst muss man sich für einen Entfernungsbereich entscheiden, um so die Pickerkonfiguration optimal anzupassen. Des Weiteren können die Prioritäten je nach Netzwerk und Anwendungsziel, z.B. auf Genauigkeit oder auf das Erfassen möglichst aller Ereignisse, variieren. Für Ersteres empfahl sich der S-L2-Detektor, während sich der S-AIC für Letzteres besonders gut eignet.

Ausblick Wie bereits erwähnt, konnten aufgrund der begrenzten Bearbeitungszeit die S-Picker nicht auf alle Parameter getestet werden. Deshalb wäre es in weiteren Projekten erstrebenswert, die anderen verbliebenen Parameter auf gleicher Weise zu untersuchen. Eine andere Möglichkeit besteht in einer optimierten Suche mit Hilfe z.B. von Inversionsmethoden.

Zudem würde es sich anbieten weitere vorhandene S-Pick Algorithmen auf gleicher Art und Weise zu testen. Zur freien Verfügung stehen z.B. die restlichen PhasePapy Detektoren, die in Obspy implementierte Picker sowie ein Kurtosis-Picker von Baillard et al. (2013).

Alternativ wäre es sogar angebracht neue Qualitätsfaktoren zu entwickeln oder die Wichtungen des Score anders zu legen.

Eine andere Vergleichsmethodik für Phasenpicker wäre die Bewertung der Konfigurationen anhand der Lokalisierungsgenauigkeit der Ereignisse, welche mit Hilfe der automatisch generierten P- und S-Picks erstellt werden.

Da anhand der Vergleichsdiagramme zur Pickzeitdifferenz und den Mittelwerten erkennbar ist, dass die Picker dazu tendieren eher später zu picken, könnte dieser Fakt den Pickern zu gute geschrieben werden. So kann es sein das gewissen Algorithmen limitiert darauf sind immer erst nach dem eigentlichen Phaseneinsatz zu picken. Nach ausreichenden Tests, bei denen sich ein Mittelwert des Pickers ergibt, könnte man diesen als eigenen konfigurierbaren Parameter (z.B. als nachträgliche Zeitkorrektur bezeichnet) setzen. So kann die Qualität und Genauigkeit der endgültigen Pickzeit angepasst und zugleich verbessert werden.

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, mit deren persönlicher sowie fachlicher Unterstützung diese Arbeit gelungen ist. Dabei gilt ein großes Danke der Firma gempa GmbH. Während der gesamten Bearbeitungszeit stellte mir die Firma einen ganztägigen Arbeitsplatz zur freien Verfügung, sodass ich unbeschwert im fachlichen Austausch vor Ort arbeiten konnte. Insbesondere gilt dabei der Dank den Geschäftsleitern Jan Becker und Bernd Weber sowie Ralph Hennenberger, der für die Einrichtung meines Arbeitsplatzes verantwortlich war. Zusätzlich sei allen anderen Mitarbeitern ebenfalls gedankt.

In weiteres großes Danke gilt meinem Hauptbetreuer Dirk Rößler. Von ihm kam die Hauptidee des Themas, welches in dieser Arbeit bearbeitete wurde. Zu jeder Zeit der Arbeit stand er mir mit Rat und Tat, bei Problemen und speziellen Fragen, zur Verfügung. Unter seiner Betreuung habe ich fachlich, aber auch formell, sehr viel gelernt.

Auch meinem Zweitbetreuer Frank Krüger gilt großer Dank. Bei den beratenen Gesprächen im Vorhinein oder selbst während der Bearbeitungszeit, haben mir seine Hinweise und Ratschläge ungemein weiter geholfen.

Ich danke dem GeoforschungsZentrum Potsdam und der Universität Leipzig für die frei zugänglichen Daten, die in dieser Arbeit verwendet wurden.

Abschließend möchte ich mich bei allen Helfern, die die Arbeit zur Korrektur gelesen haben: Verena Troxler, Debby Schmidt, Moritz Zöllner; die mich mental unterstützt und aufgebaut haben: Debby Schmidt Justus Gimsa, Marija Krstulovic, Felix Reinecke und explizit meinen Eltern, die mir dies erst finanziell ermöglichten, herzlich bedanken.

9 Selbständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich Lukas Lehmann die Arbeit 'Performance Test von Phasenpickern' selbstständig und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln (z. B. Nachschlagewerke oder Internet) angefertigt habe. Alle Stellen der Arbeit, die ich aus diesen Quellen und Hilfsmitteln dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen habe, sind kenntlich gemacht und im Literaturverzeichnis aufgeführt. Weiterhin versichere, ich, dass weder ich noch andere diese Arbeit weder in der vorliegenden noch in einer mehr oder weniger abgewandelten Form als Leistungsnachweise in einer anderen Veranstaltung bereits verwendet haben oder noch verwenden werden.

Die „Richtlinie zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis für Studierende an der Universität Potsdam (Plagiatsrichtlinie) - Vom 20. Oktober 2010“, im Internet unter <http://uni-potsdam.de/ambek/ambek2011/1/Seite7.pdf>, ist mir bekannt. Es handelt sich bei dieser Arbeit um meinen ersten Versuch.

Ort, Datum

Unterschrift

Literatur

- Akaike, H. (1998). *Autoregressive Model Fitting for Control*, pages 153–170. Springer New York, New York, NY.
- Aki, K. and Richards, P. G. (2002). *Quantitative Seismology, Second Edition*. Sausalito, California, University Science Books.
- Allen, R. v. (1982). Automatic phase pickers: Their present use and future prospects. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72(6):S255–S242.
- Baillard, C., Crawford, W. C., Ballu, V., Hibert, C., and Mangeney, A. (2013). An automatic kurtosis-based p- and s-phase picker designed for local seismic networks. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(1):394–409.
- Barrientos, S., Vera, E., Alvarado, P., and Monfret, T. (2004). Crustal seismicity in central Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(8):759–768.
- Chen, C. and Holland, A. A. (2016). Phasepapy: A robust pure python package for automatic identification of seismic phases. *Seismological Research Letters*, 87(6):1384–1396.
- Fischer, T., Horálek, J., Hrubcová, P., Vavryčuk, V., Bräuer, K., and Kämpf, H. (2014). Intra-continental earthquake swarms in west-bohemia and vogtland: A review. *Tectonophysics*, 611:1–27.
- gempa GmbH, Potsdam (2017). Url: <https://gempa.de> (13.02.2017).
- Gomberg, J. S., Shedlock, K. M., and Roecker, S. W. (1990). The effect of s-wave arrival times on the and accuracy of hypocenter estimation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(6):1605–1628.
- IPOC-Seismic-Network (2017). GFZ German Research Centre for Geosciences; Institut des Sciences de l’Univers-Centre National de la Recherche CNRS-INSU (2006): IPOC Seismic Network. Integrated Plate boundary Observatory Chile - IPOC. Other/Seismic Network. doi:10.14470/PK615318.
- Kennett, B. L. N. and Engdahl, E. R. (1991). Traveltimes for global earthquake location and phase identification. *Geophysical Journal International*, 105:429–465.
- Leonard, M. (2000). Comparison of manual and automatic onset and time picking. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(6):1384–1390.
- Lomax, A., Satriano, C., and Vassallo, M. (2012). Automatic picker developments and optimization: Filterpicker—a robust, broadband picker for real-time seismic monitoring and earthquake early warning. *Seismological Research Letters*, 83(3):531–540.
- Maeda, N. (1985). A method for reading and checking phase time in auto-processing system of seismic wave data. *Zisin*, 38(2):365–379.
- Müller, G. (2007). *Theory of Elastic Waves*. (Scientific Technical Report STR ; 07/03), Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 228 S.

- Radlmeier, M., Richter, R., and Große, C. U. (2013). Automatische Qualitätsbeurteilung der Ersteinsatzbestimmung von Schallemissionssignalen mit Hilfe von autoregressiven Pickerfunktionen. *Konferenzbeitrag, Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, 19. Kolloquium Schallemission Augsburg, Berichtsband BB 142-CD (ISBN 978-3-940283-51-1)*. DGZfP, Berlin.
- Ruud, B. O. and Husebye, E. S. (1992). New three-component detector and automatic single-station bulletin production. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(1):221–237.
- Rößler, D. (2006). Retrieval of earthquake source parameters in inhomogeneous anisotropic media with application to swarm events in west bohemia in 2000. PhD Thesis (Scientific Technical Report STR ; 06/09), Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 190 S.
- Sleeman, R. and van Eck, T. (1999). Robust automatic p-phase picking: an on-line implementation in the analysis of broadband seismogram recordings. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 113:265–275.
- Trnkoczy, A. (1999). Understanding and parameter setting of sta/lta trigger algorithm. In *Bormann, P. (Ed.), New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)*, pages 1–20. Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
- Zhang, H., Thurber, C., and Rowe, C. (2003). Automatic p-wave and arrival detection and picking with multiscale and wavelet analysis and for single-component and recordings. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(5):1904–1912.

A Anhang: Herleitung der seismischen Wellen

Im Folgenden wird gezeigt, wie die seismischen Wellen als Lösung aus der (allgemeinen) Bewegungsgleichung hervorgehen. Die Ausgangsgleichung ist die für Körper im statischen Gleichgewicht (Müller, 2007):

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = 0, \quad (\text{A.1})$$

σ_{ij} ist der Spannungstensor und x_j die Raumrichtung. Wenn diese Gleichung laut Müller (2007) um die internen Bewegungen des Körpers und die Volumenkräfte f_i , die auf den Körper wirken, erweitert wird und mit Hilfe des Ansatzes des 2. Newtonschen Gesetzes ($\vec{F} = m\vec{a}$) ergibt sich die Bewegungsgleichung für homogene, isotrope Materialien:

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + f_i, \quad (\text{A.2})$$

dabei steht ρ für die Dichte, u_i für die (Boden)Verschiebung und t für die Zeit. Mit Hilfe der Spannungs-Dehnungsbeziehung (Müller, 2007):

$$\sigma_{ij} = \lambda \epsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \epsilon_{ij}, \quad (\text{A.3})$$

wobei λ und μ die beiden Lamé-Konstanten, ϵ_{ij} der Straintensor und δ_{ij} das Kronecker-Delta sind, und der Beziehung zwischen dem Strain und dem Verschiebungsfeld (Müller, 2007):

$$\epsilon_{ij} = 0.5 \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (\text{A.4})$$

erhält man die Bewegungsgleichung für homogene, isotrope, elastische Körper:

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 u_i + f_i, \quad (\text{A.5})$$

wobei $\theta = \frac{\partial u_i}{\partial x_i}$ (bzw. $\theta = \nabla \cdot \vec{u}$) ist und ∇ sei der räumliche Ableitungsvektor ($\nabla = \frac{\partial}{\partial x_i}$). Laut Müller (2007) erhält man in Vektorschreibweise und nach weiteren Umformungen eine Gleichung, die vom Koordinatensystem unabhängig ist:

$$\rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \nabla (\nabla \cdot \vec{u}) - (\mu \nabla \times \nabla \times \vec{u}) + \vec{f}. \quad (\text{A.6})$$

Das Helmholtz-Theorem (Müller, 2007) beschreibt allgemein ein Verschiebungspotential mit:

$$\vec{u} = \nabla \Phi + \nabla \times \vec{\Psi}, \quad (\text{A.7})$$

wobei Φ das Skalarpotential bzw. Kompressionspotential und $\vec{\Psi}$ das Vektorpotential bzw. Scherpotential ist. Analog zum Helmholtz-Theorem lässt sich die Volumenkraft \vec{f} , laut Müller (2007), auch in Potentiale aufteilen:

$$\vec{f} = \nabla \varphi + \nabla \times \vec{\psi}. \quad (\text{A.8})$$

Müller (2007) leitet aus der allgemeinen Bewegungsgleichung eine Gleichung, die die Bewegungen eines isotropen, homogenen, elastischen Materials beschreibt, her. Sie ist zudem unabhängig vom Koordinatensystem. Seine Lösung lautet:

$$\rho \left[\nabla \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \times \frac{\partial^2 \vec{\Psi}}{\partial t^2} \right] = (\lambda + 2\mu) \nabla \nabla^2 \Phi - \mu \nabla \times \nabla \times \nabla \times \vec{\Psi} + \nabla \varphi + \nabla \times \vec{\psi}. \quad (\text{A.9})$$

Wenn seine Gleichung nun nach Skalarpotential- bzw. Vektorpotentialtermen sortiert wird:

$$0 = \nabla[(\lambda + 2\mu)\nabla^2\Phi - \rho\frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} + \varphi] + \nabla \times [-\mu\nabla \times \nabla \times \vec{\Psi} - \rho\frac{\partial^2\vec{\Psi}}{\partial t^2} + \vec{\psi}], \quad (\text{A.10})$$

erkennt man, dass sie nur gelöst wird, wenn die beiden in eckigen Klammern stehenden Terme null werden. Mit folgende Definitionen:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (\text{A.11})$$

und:

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}, \quad (\text{A.12})$$

ergeben sich zwei Gleichungen, ähnlich zu denen von Müller (2007), die zu lösen sind:

$$\nabla^2\Phi - \frac{1}{v_p^2}\frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} + \frac{\varphi}{\lambda + 2\mu} = 0, \quad (\text{A.13})$$

$$-\nabla \times \nabla \times \vec{\Psi} - \frac{1}{v_s^2}\frac{\partial^2\vec{\Psi}}{\partial t^2} + \frac{\vec{\psi}}{\mu} = 0. \quad (\text{A.14})$$

Die Lösungen der Gleichungen des Kompressionspotentialfelds und des Scherpotentialfelds ergeben die beiden seismischen Wellen. Die erste heißt folglich Kompressionswelle, auch als P-Welle bezeichnet, und die zweite Scherwelle oder auch S-Welle genannt.

B Anhang: Chile

B.1 Tabellen

Netzwerk- code	Stations- name	geogr. Breite, Nord [°]	geogr. Länge, Ost [°]	Höhe [m]
CX	MNMCX	-19.13108	-69.59553	2304.0
CX	PB01	-21.04323	-69.4874	900.0
CX	PB02	-21.31973	-69.89603	1015.0
CX	PB03	-22.04847	-69.7531	1460.0
CX	PB04	-22.33369	-70.14918	1520.0
CX	PB05	-22.85283	-70.20235	1150.0
CX	PB06	-22.7058	-69.57188	1440.0
CX	PB07	-21.72667	-69.88618	1570.0
CX	PB08	-20.14112	-69.1534	3060.0
CX	PB09	-21.79638	-69.24192	1530.0
CX	PB10	-23.51343	-70.55408	250.0
CX	PB11	-19.76096	-69.65582	1400.0
CX	PB12	-18.61406	-70.32809	908.0
CX	PB15	-23.208335	-69.47092	1830.0
CX	PB16	-18.3351	-69.50767	4480.0
CX	PSGCX	-19.59717	-70.12305	966.0

Tabelle B.1: Auflistung der chilenischen Stationen des CX-Netzwerkes mit ihren geographischen Koordinaten und ihrer Höhe.

B.1.1 SEISCOMP3 S-Picker

Event- nummer	Herdzeit (2016-12-25)	geogr. Breite, Nord [°]	geogr. Länge, Ost [°]	Tiefe [km]	P- Picks	S- Picks
1	12:14:00.6	-21.57	-69.62	34	7	6
2	12:27:45.2	-20.31	-69.84	19	10	4
3	12:59:44.6	-20.52	-69.32	85	10	4
4	13:13:48.1	-24.01	-67.60	222	11	8
5	13:18:24.8	-21.87	-68.67	140	8	7
6	13:20:08.0	-20.62	-69.04	80	3	3
7	13:36:50.1	-22.87	-68.95	74	11	6
8	13:39:24.6	-21.26	-68.72	101	8	7
9	13:48:09.5	-24.13	-67.72	218	8	5
10	13:54:06.4	-22.26	-68.60	16	5	5
11	13:56:42.3	-20.28	-69.12	94	6	5
12	13:59:01.9	-20.90	-68.82	94	9	5
13	14:01:35.3	-20.02	-69.00	114	15	10
14	14:10:52.1	-20.02	-68.94	105	10	5
15	14:22:23.8	-42.85	-76.05	0	15	15
16	14:33:38.3	-22.20	-68.74	114	15	9
17	14:43:30.2	-19.96	-69.26	84	5	4
18	14:56:03.7	-23.86	-68.22	155	8	4
19	14:59:45.2	-21.24	-68.62	113	5	5
20	15:03:36.1	-21.94	-68.69	91	4	2
21	15:06:23.0	-21.48	-68.52	152	11	10
22	15:17:15.3	-21.35	-68.61	96	6	5
23	15:22:13.2	-21.49	-68.75	52	4	4
24	15:26:48.1	-18.28	-69.63	116	4	4
25	15:30:25.0	-21.05	-68.79	0	4	3
26	15:36:38.7	-23.88	-67.34	206	8	9
27	15:41:53.5	-21.09	-69.29	93	6	4
28	15:46:40.7	-23.89	-67.58	207	5	6
29	15:56:34.4	-21.47	-69.51	2	5	4
30	16:04:40.0	-19.21	-69.31	112	7	6
31	16:08:10.5	-21.17	-69.06	93	7	6
32	16:15:12.1	-20.71	-68.78	87	5	5
33	16:16:48.6	-22.46	-68.50	17	5	6
34	16:22:16.3	-22.57	-68.79	27	6	6
35	16:23:11.8	-17.72	-70.09	177	4	2
36	16:26:32.6	-20.74	-69.73	0	3	3
37	16:32:07.3	-17.94	-70.35	59	6	5
38	16:36:06.0	-21.51	-69.00	103	13	10
39	16:46:35.1	-23.20	-67.43	233	9	10
40	16:49:49.7	-19.87	-69.55	98	6	7
41	16:59:45.9	-22.03	-68.66	103	4	5
42	17:01:43.6	-18.76	-69.75	79	4	5
43	17:04:11.8	-22.03	-70.30	18	6	4
44	17:06:52.8	-21.06	-68.71	84	5	4
45	17:10:32.9	-19.90	-69.99	36	5	5
46	17:12:38.9	-19.60	-69.42	95	5	4
47	17:22:16.8	-19.14	-69.71	103	5	4
48	22:54:42.7	-42.41	-76.39	45	14	0

Tabelle B.2: Auflistung der manuellen Ereignisse mit der Herdzeit, geografischen Koordinaten, Höhe und der jeweiligen Anzahl der gepickten Phaseneinsätzen.

Filter	S-L2				S-AIC				S-AIC-V												
	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\frac{\Delta t}{\sigma(\Delta t)}$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\frac{\Delta t}{\sigma(\Delta t)}$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\frac{\Delta t}{\sigma(\Delta t)}$ [s]	t_r [s]	sc			
BW(4,0,7,2)	52	24	20	0.09	0.21	14	48	63	29	24	0.09	0.24	40	51	45	20	17	0.20	0.41	36	40
BW(4,1,3)	111	51	45	0.04	0.24	14	65	118	54	47	0.05	0.25	41	66	96	44	37	0.21	0.36	36	55
BW(4,1,10)	147	67	61	0.05	0.17	14	76	174	80	71	0.07	0.19	37	83	159	73	64	0.25	0.27	34	73
BW(4,2,6)	154	70	64	0.07	0.18	15	77	182	83	74	0.08	0.19	37	84	163	74	67	0.19	0.28	35	75
BW(4,3,10)	154	70	63	0.10	0.17	15	77	186	85	76	0.12	0.18	34	85	173	79	71	0.27	0.26	34	77
BW(4,3,20)	158	72	65	0.12	0.18	14	77	187	85	76	0.16	0.20	37	84	155	71	63	0.33	0.26	32	71
BW(4,4,8)	155	71	64	0.11	0.18	15	77	191	87	78	0.15	0.19	34	86	173	79	70	0.27	0.28	31	76
BW(4,4,10)	155	71	63	0.12	0.17	14	76	194	89	79	0.15	0.20	36	86	170	78	70	0.30	0.26	32	76
BW(4,4,20)	156	71	64	0.15	0.19	15	76	186	85	76	0.19	0.21	35	83	149	68	60	0.34	0.27	33	68
BW(4,20,50)	38	17	14	0.41	0.27	15	37	58	26	22	0.47	0.26	41	41	33	15	13	0.52	0.33	36	32
BW_HP(4,1)	149	68	61	0.12	0.17	14	75	171	78	68	0.12	0.17	36	81	122	56	48	0.31	0.28	38	62
BW_HP(4,3)	146	67	60	0.14	0.17	14	74	180	82	72	0.17	0.19	35	82	123	56	49	0.36	0.28	34	61
BW_LP(4,3)	3	1	1	-0.07	0.23	15	37	10	5	4	-0.00	0.21	41	38	7	3	3	-0.09	0.38	41	36
BW_LP(4,10)	14	6	5	0.01	0.16	15	40	19	9	7	0.03	0.19	43	41	14	6	5	0.19	0.39	41	32
BW_LP(4,20)	15	7	6	0.05	0.20	14	39	21	10	8	0.07	0.26	41	39	16	7	6	0.16	0.44	40	32

Tabelle B.3: Auflistung der Resultate aller Durchläufe zur ersten Testreihe. Hierbei wurde der Vorfilter für die SeisCOMP3 S-Picker verändert. In Grau sind vorausgewählte Konfigurationen zum weiteren Testen markiert, während eine grüne Markierung die 'beste' Konfiguration repräsentiert. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; Δt - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

Filter	Schwellwert	S-L2						
		n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
BW(4,2,6)	1	12	5.5	4.6	-0.030	0.193	14	40.0
BW(4,3,20)	1	12	5.5	4.6	-0.030	0.145	14	41.0
BW(4,4,8)	1	10	4.6	3.8	-0.018	0.183	14	39.5
BW(4,2,6)	2	99	45.2	42.0	0.053	0.178	16	62.5
BW(4,3,20)	2	80	36.5	33.6	0.091	0.177	15	56.5
BW(4,4,8)	2	87	39.7	35.9	0.084	0.165	15	58.8
BW(4,2,6)	3	154	70.3	63.7	0.072	0.179	15	77.2
BW(4,3,20)	3	158	72.1	64.9	0.120	0.178	16	77.3
BW(4,4,8)	3	155	70.8	63.7	0.108	0.178	15	76.8
BW(4,2,6)	5	158	72.1	64.1	0.075	0.186	16	78.1
BW(4,3,20)	5	146	66.7	58.8	0.140	0.166	15	73.9
BW(4,4,8)	5	165	75.3	67.2	0.141	0.181	14	78.7
BW(4,2,6)	8	101	46.1	40.1	0.081	0.144	15	63.2
BW(4,3,20)	8	46	21.0	17.9	0.086	0.133	15	48.2
BW(4,4,8)	8	94	42.9	37.0	0.127	0.153	16	60.2

Tabelle B.4: Auflistung der Resultate aller Durchläufe der zweiten Testreihe. Hierbei wurde für den S-L2 Picker neben den drei vorausgewählten Filtern der Schwellwert verändert. Eine grüne Markierung repräsentiert die 'beste' Konfiguration. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

Filter	step	minCnt	S-AIC					S-AIC-V								
			n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
BW(4,4,8)	0.1	3	176	80.4	72.5	0.148	0.184	193	81.6	158	72.1	64.5	0.270	0.300	182	71.9
BW(4,4,8)	0.1	6	185	84.5	75.6	0.158	0.181	216	83.9	164	74.9	66.8	0.294	0.273	193	73.6
BW(4,4,8)	0.1	10	188	85.8	76.7	0.161	0.180	214	84.6	166	75.8	67.2	0.285	0.277	190	74.2
BW(4,4,8)	0.5	3	192	87.7	78.2	0.154	0.189	56	85.8	171	78.1	69.1	0.289	0.274	48	75.6
BW(4,4,8)	0.5	6	191	87.2	77.1	0.147	0.186	57	85.7	173	79.0	71.0	0.278	0.281	51	76.2
BW(4,4,8)	0.5	10	188	85.8	75.6	0.142	0.183	58	85.0	168	76.7	68.3	0.264	0.277	57	75.2
BW(4,4,8)	1	3	191	87.2	77.5	0.146	0.186	35	85.7	173	79.0	70.2	0.272	0.276	32	76.4
BW(4,4,8)	1	6	185	84.5	74.4	0.134	0.184	38	84.3	168	76.7	68.3	0.247	0.282	34	75.4
BW(4,4,8)	1	10	167	76.3	66.8	0.117	0.192	41	79.6	137	62.6	55.3	0.215	0.280	40	67.7
BW(4,4,8)	2	3	182	83.1	72.5	0.130	0.182	25	83.6	167	76.3	67.9	0.254	0.280	24	75.1
BW(4,4,8)	2	6	142	64.8	56.9	0.118	0.195	28	72.6	105	47.9	42.7	0.220	0.274	26	58.9
BW(4,4,8)	2	10	61	27.9	24.0	0.105	0.192	29	50.8	42	19.2	17.2	0.214	0.259	27	42.0
BW(4,4,10)	0.1	3	178	81.3	72.9	0.142	0.181	187	82.3	152	69.4	61.8	0.308	0.270	176	70.1
BW(4,4,10)	0.1	6	190	86.8	77.9	0.148	0.189	195	85.4	159	72.6	64.5	0.314	0.269	189	71.9
BW(4,4,10)	0.1	10	190	86.8	77.9	0.151	0.193	207	85.2	162	74.0	65.6	0.315	0.270	190	72.7
BW(4,4,10)	0.5	3	196	89.5	79.8	0.156	0.201	56	86.6	165	75.3	66.8	0.320	0.262	53	73.5
BW(4,4,10)	0.5	6	193	88.1	78.2	0.151	0.204	55	85.8	170	77.6	69.1	0.301	0.260	52	75.3
BW(4,4,10)	0.5	10	188	85.8	76.0	0.155	0.198	59	84.4	164	74.9	67.2	0.278	0.265	57	74.1
BW(4,4,10)	1	3	194	88.6	78.6	0.151	0.203	35	86.1	170	77.6	69.5	0.296	0.257	35	75.5
BW(4,4,10)	1	6	184	84.0	74.4	0.152	0.200	36	83.4	164	74.9	66.8	0.273	0.267	36	74.1
BW(4,4,10)	1	10	171	78.1	68.3	0.126	0.184	39	80.7	129	58.9	51.9	0.244	0.277	36	64.9
BW(4,4,10)	2	3	182	83.1	73.3	0.149	0.195	28	83.0	161	73.5	65.6	0.261	0.260	25	73.7
BW(4,4,10)	2	6	148	67.6	58.4	0.114	0.181	28	74.7	98	44.7	39.7	0.236	0.273	26	56.6
BW(4,4,10)	2	10	60	27.4	24.0	0.085	0.165	29	51.4	30	13.7	12.2	0.175	0.222	30	40.3

Tabelle B.5: Auflistung der Resultate aller Durchläufe zur dritten Testreihe. Hierbei wurden die Parameter 'step' und 'minCnt' für die beiden vorausgewählten Filter getestet. Eine grüne Markierung repräsentiert die 'beste' Konfiguration. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

B.1.2 PhasePapy FB-Picker

Ohne Nachfilter

t_long	$nsigma$	t_up	n	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
1	2	0.4	196	74.8	-0.068	0.314	592	77.2
1	2	0.8	147	56.1	-0.247	0.383	456	61.1
1	4	0.4	123	46.9	0.192	0.249	242	59.3
1	4	0.8	126	48.1	0.177	0.248	260	60.4
1	5	0.4	59	22.5	0.221	0.186	213	45.4
1	5	0.8	60	22.9	0.219	0.185	221	45.7
2	2	0.4	185	70.6	-0.053	0.292	690	75.5
2	2	0.8	147	56.1	-0.225	0.386	434	61.4
2	4	0.4	161	61.5	0.207	0.205	281	68.7
2	4	0.8	167	63.7	0.188	0.210	277	70.2
2	5	0.4	110	42.0	0.240	0.189	337	56.6
2	5	0.8	114	43.5	0.235	0.189	322	57.6

Mit Nachfilter

t_long	$nsigma$	t_up	n	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
1	2	0.4	179	68.3	-0.020	0.317	579	74.2
1	2	0.8	141	53.8	-0.213	0.383	404	60.4
1	4	0.4	144	55.0	0.256	0.249	263	62.9
1	4	0.8	147	56.1	0.234	0.248	255	64.0
1	5	0.4	75	28.6	0.240	0.214	221	48.1
1	5	0.8	76	29.0	0.239	0.212	203	48.4
2	2	0.4	174	66.4	-0.015	0.281	603	73.9
2	2	0.8	137	52.3	-0.197	0.363	494	60.2
2	4	0.4	180	68.7	0.256	0.228	330	71.5
2	4	0.8	189	72.1	0.223	0.228	324	74.2
2	5	0.4	134	51.1	0.276	0.191	295	61.3
2	5	0.8	137	52.3	0.269	0.200	271	62.0

Tabelle B.6: Auflistung der Resultate aller Durchläufe zur ersten FB-Picker Testreihe. Hierbei wurden die Parameter t_long , $nsigma$, t_up und der Nachfilter getestet. In Grau sind die Konfigurationen markiert, die für den Test im ‘std’-Modus ausgewählt wurden. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

Ohne Nachfilter

t_long	n_sigma	t_up	n	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
1	2	0.4	187	71.4	-0.080	0.343	666	74.4
2	2	0.4	178	67.9	-0.099	0.320	717	72.4
2	4	0.8	189	72.1	0.149	0.243	380	75.4

Mit Nachfilter

t_long	n_sigma	t_up	n	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
1	2	0.4	163	62.2	-0.037	0.325	668	70.1
2	2	0.4	160	61.1	-0.047	0.302	737	69.7
2	4	0.8	206	78.6	0.169	0.269	361	78.4

Tabelle B.7: Die vorausgewählten Konfiguration der 'rms'-Testreihe wurden zusätzlich im 'std'-Modus getestet. Die Resultate sind hier aufgelistet. Eine grüne Markierung repräsentiert die 'beste' Konfiguration. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

B.2 Abbildungen

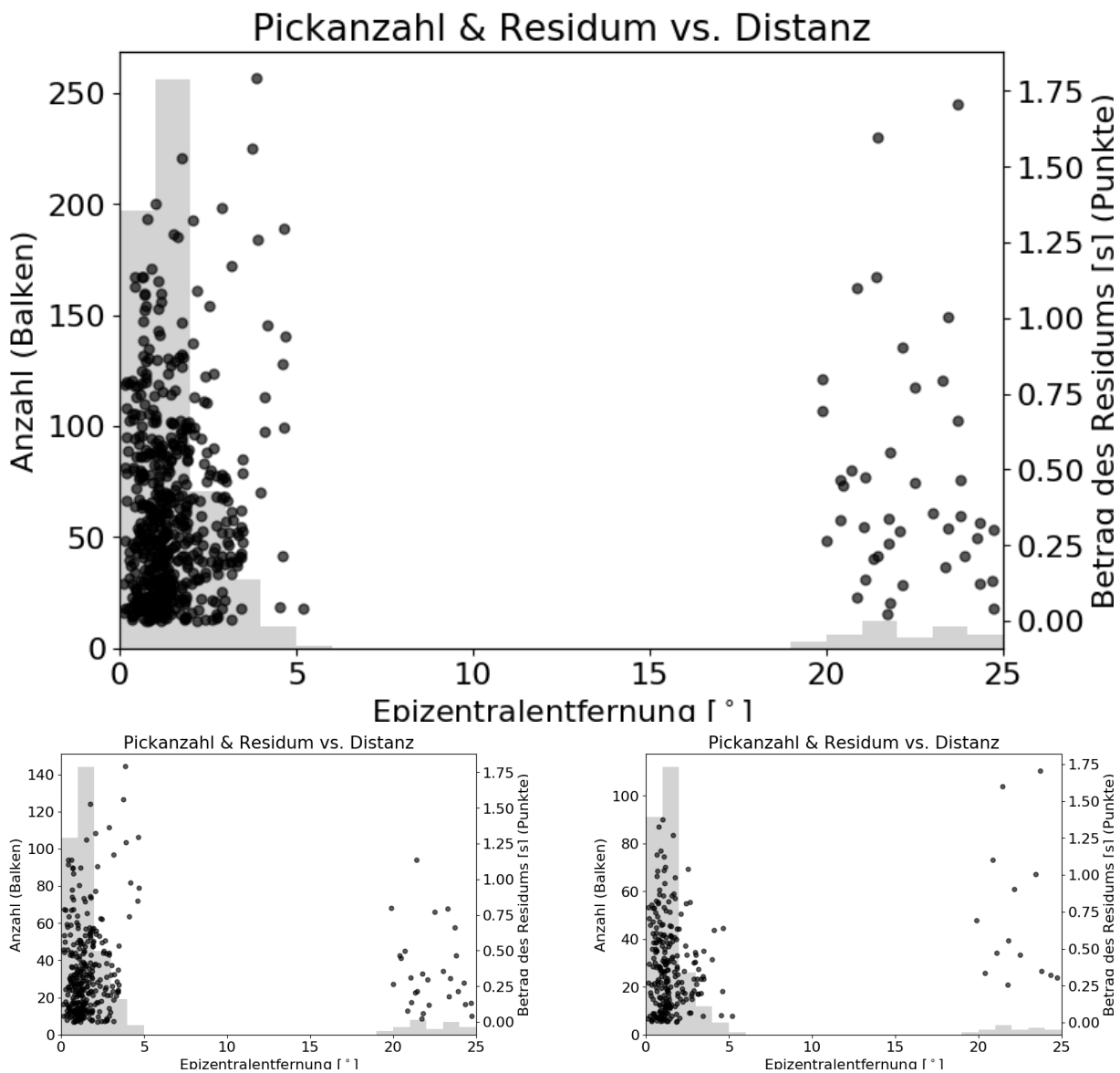


Abbildung B.1: Verteilung der Picks (Balken) und deren zeitlichen Residuen (Punkte) gegenüber der Distanz. Aufgeteilt in (oben) alle Phasen, (unten links) P-Phase und (unten rechts) S-Phase.

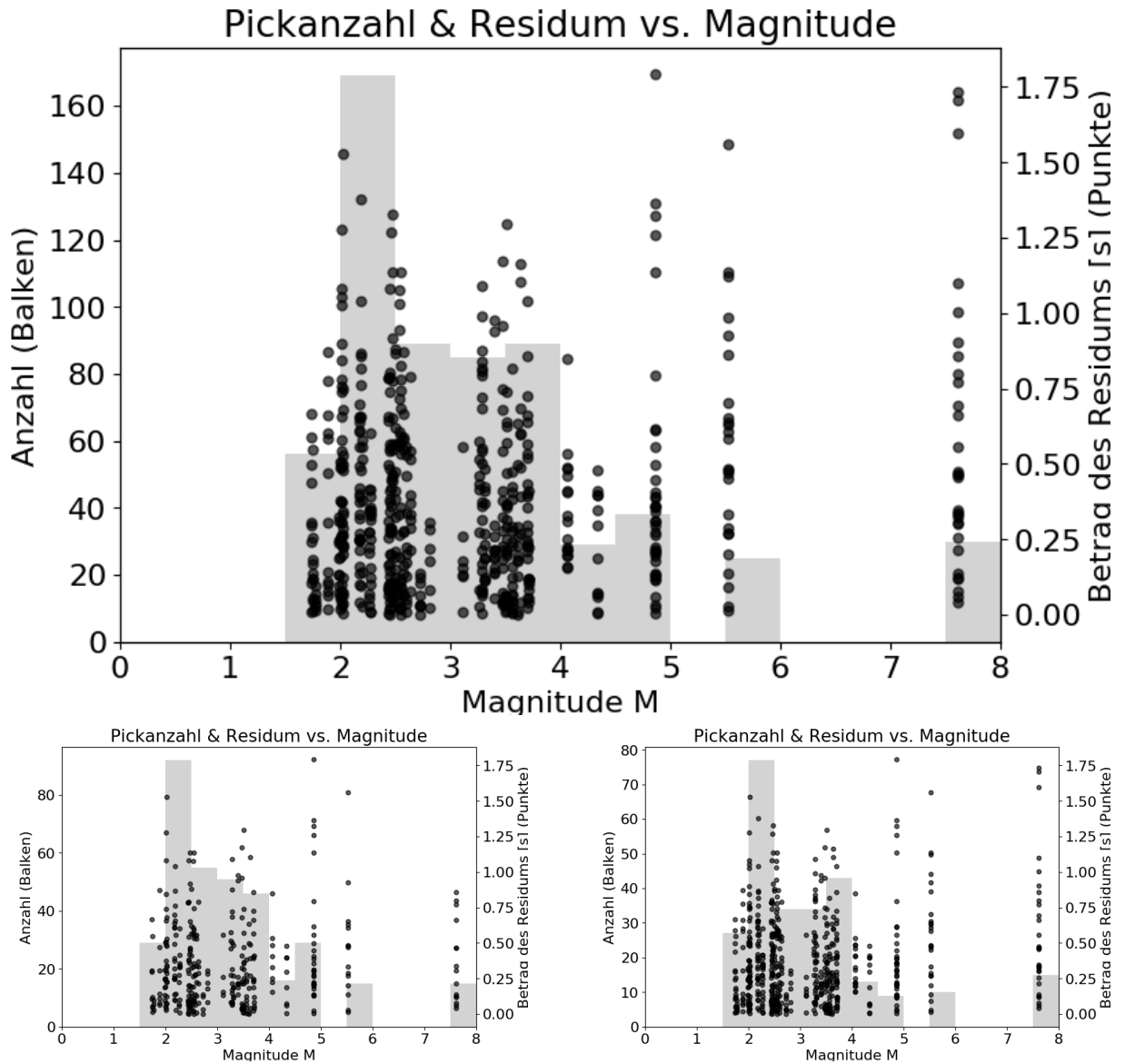


Abbildung B.2: Verteilung der Picks (Balken) und deren zeitlichen Residuen (Punkte) gegenüber der Magnitude. Aufgeteilt in (oben) alle Phasen, (unten links) P-Phase und (unten rechts) S-Phase.

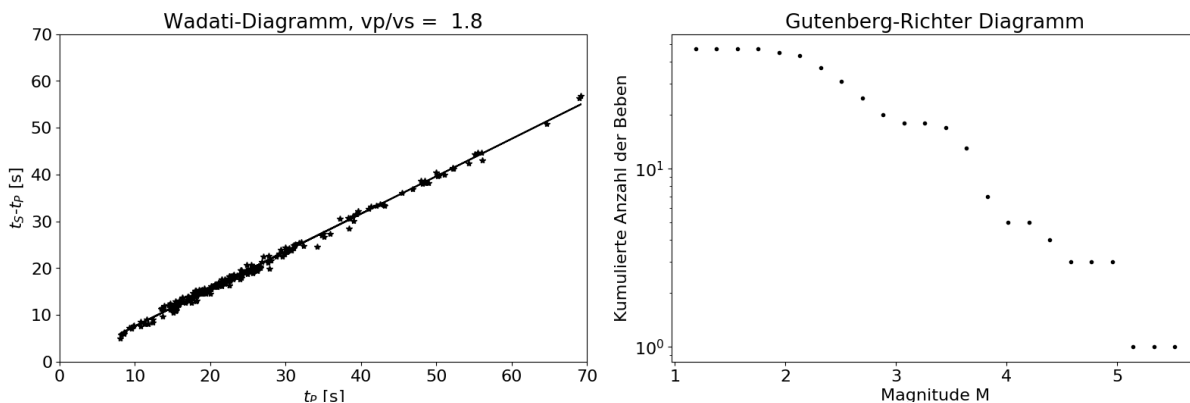


Abbildung B.3: (links) Wadati-Diagramm für die Beben der Hauptregion. Dabei wird die Differenz zwischen den Ankunftszeiten der S-Phase (t_s) und der P-Phase (t_p) über P-Ankunftszeit aufgetragen. Die Regressionsgerade zeigt indirekt mit ihrem Anstieg das Verhältnis zwischen P- und S-Wellengeschwindigkeit in der Region an: $\frac{v_p}{v_s} = 1.80$. (rechts) Die Gutenberg-Richter Verteilung zeigt die Häufigkeit der vorkommenden Mindestmagnituden.

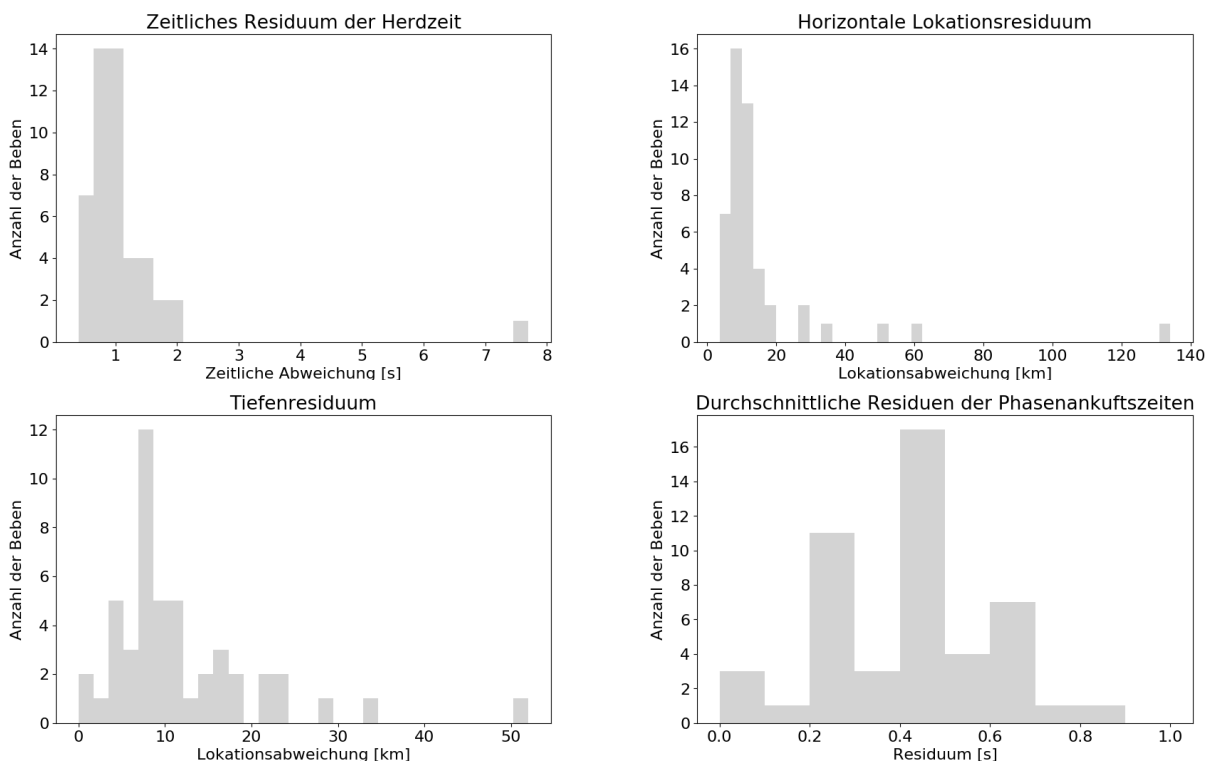


Abbildung B.4: (links oben) Verteilung der zeitlichen Residuen der Herzzeit. (rechts oben) Verteilung des horizontalen Lokationsresidums. (links unten) Verteilung des tiefen Lokationsresidums. (rechts unten) Verteilung der durchschnittlichen Residuen der Phasenankunftszeiten. Alle Grafiken beziehen sich auf die manuell ausgewerteten Ereignisse.

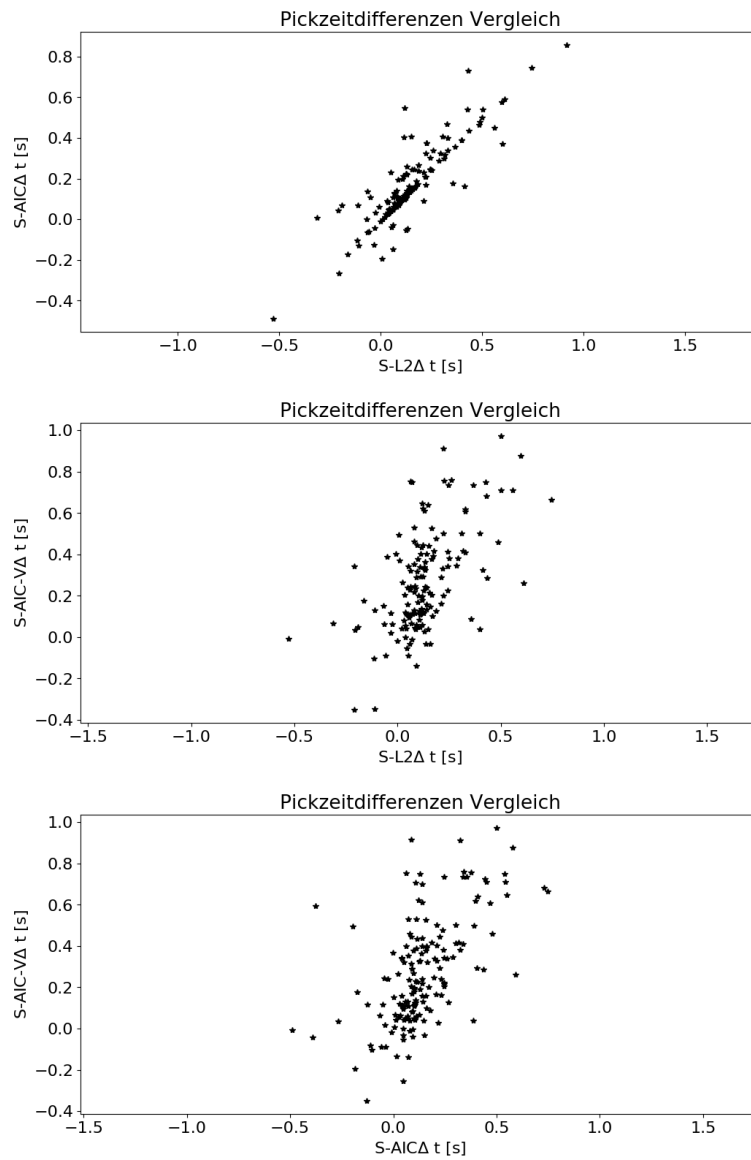


Abbildung B.5: Die Pickzeitdifferenz eines gleichen Picks wird zwischen den SEISCOMP3 S-Pickern verglichen. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration.

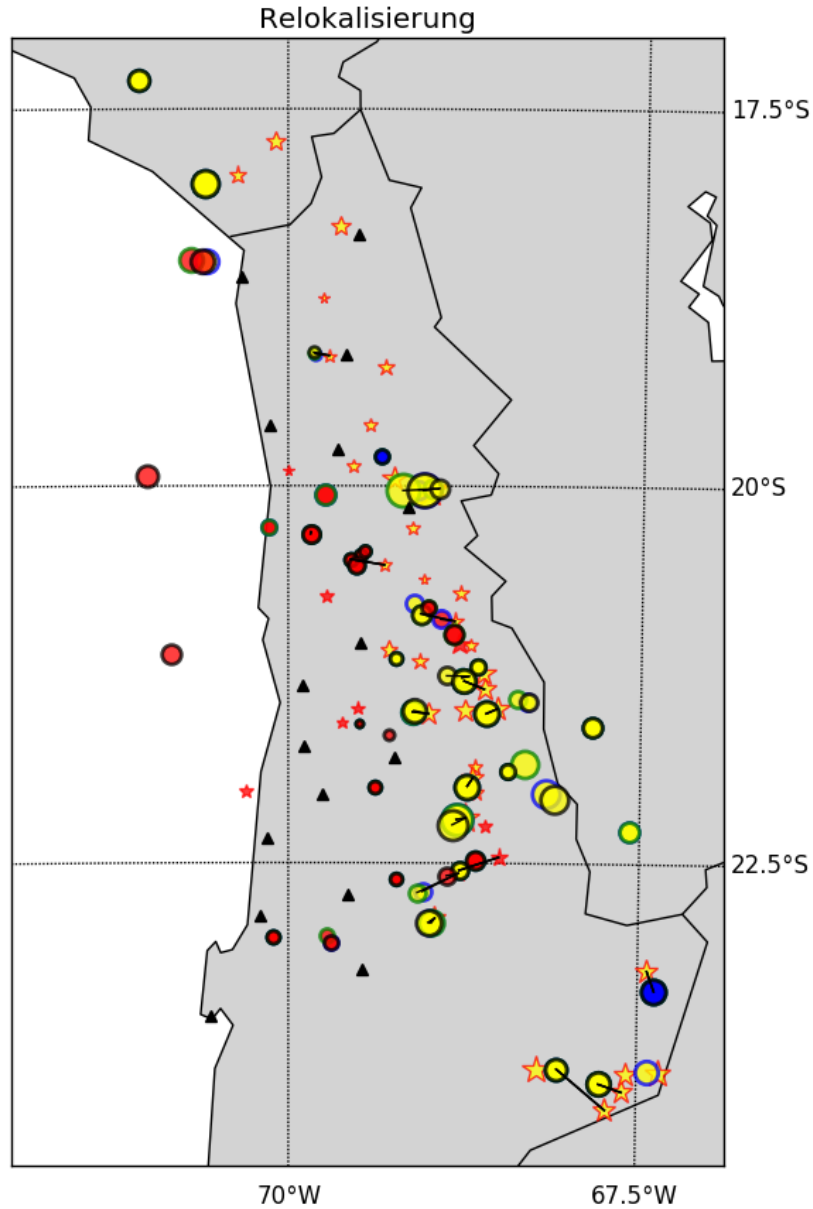


Abbildung B.6: Mit Hilfe der automatisch generierten P- und S-Picks der getesteten SEIS-COMP3 Picker wurden Origins erstellt und mit LocSAT wurden diese relokalisiert. Das Sternsymbol steht für das manuell ausgewertete Ereignis, während die Kreise für die Ereignisse der S-Picker stehen. Farbe des Kreisringes: blau S-L2, grün S-AIC, schwarz S-AIC-V. Farbe innerhalb der Symbole geben die Tiefe an: rot $< 50\text{km}$, $50\text{ km} < \text{gelb} < 250\text{km}$, blau $> 250\text{km}$. Die Größe des Symbols repräsentiert die Magnitude. Eine schwarze Linie verbindet zeitlich gleiche manuelle und automatisch produzierte Ereignisse.

C Anhang: Vogtland - Lokal

Netzwerk- code	Stations- name	geogr. Breite, Nord [°]	geogr. Länge, Ost [°]	Höhe [m]
BW	HROE	50.536598	10.157343	569.0
BW	HROE	50.536598	10.157343	569.0
BW	MANZ	49.986198	12.1083	635.0
BW	MANZ	49.986198	12.1083	635.0
BW	MANZ	49.986198	12.1083	635.0
BW	ROTZ	49.766899	12.207	430.0
BW	ROTZ	49.766899	12.207	430.0
BW	ROTZ	49.766899	12.207	430.0
BW	ROTZ	49.766899	12.207	430.0
BW	VIEL	50.18565	12.10279	670.0
BW	VIEL	50.18565	12.10279	670.0
CZ	KHC	49.1309	13.5782	700.0
CZ	NKC	50.2331	12.4479	546.0
CZ	PRU	49.9883	14.5417	302.0
CZ	PVCC	50.5282	14.569	311.0
GE	HLG	54.1847	7.8839	41.0
GE	IBBN	52.3063	7.7592	140.0
GE	RGN	54.5477	13.3214	15.0
GE	RUE	52.4759	13.78	40.0
GE	STU	48.7719	9.195	360.0
GR	ASSE	52.13	10.673	-308.6
GR	BRG	50.8748	13.9469	296.0
GR	CLL	51.309	13.004	230.0
GR	CLZ	51.8429	10.3741	680.0
GR	GRA1	49.6919	11.2217	499.5
GR	GRB1	49.3913	11.652	494.0
GR	MOX	50.6447	11.6156	455.0
GR	WET	49.144001	12.8782	613.0
PL	BEL	51.837	20.792	180.0
PL	GKP	53.2697	17.2367	115.0
PL	KSP	50.8428	16.2931	353.0
PL	KWP	49.6314	22.7075	448.0
PL	NIE	49.4189	20.3131	649.0
PL	OJC	50.2195	19.7984	300.0
PL	SUW	54.0125	23.1808	152.0
SX	FBE	50.921	13.354	230.0
SX	GUNZ	50.364	12.332	669.0
SX	LEUT	50.609	12.524	392.0
SX	MUHB	51.658	12.342	115.0
SX	MULA	50.413	12.407	678.0
SX	MULD	50.413	12.407	678.0
SX	NEUB	51.1942	11.7719	200.0
SX	ROHR	50.234	12.317	629.0
SX	SCHF	50.677	12.403	435.0
SX	TANN	50.415	12.461	600.0

SX	TRIB	50.352	12.137	510.0
SX	WERD	50.448	12.306	589.0
SX	WERN	50.287	12.376	672.0
SX	WIMM	51.521	11.505	80.0
TH	ABG1	50.965317	12.572083	203.0
TH	CHRS	51.6099	10.81884	560.0
TH	CRUX	50.603	10.7921	712.0
TH	GRZ1	50.6924	12.2196	203.0
TH	HKWD	50.83	12.268	232.0
TH	HWTS	50.59232	11.4723	555.0
TH	MLFH	50.79009	12.08088	212.0
TH	MODW	50.9426	12.4682	240.0
TH	PLN	50.48513	12.15733	432.0
TH	POSS	51.3334	10.8669	425.0
TH	SCHD	50.5351	11.21208	761.0
TH	TAUT	50.98157	11.7107	330.0
TH	VITZ	50.88703	10.09157	392.0
TH	WESF	50.53747	11.2123	744.0
TH	ZEU	50.67064	11.97713	346.0

Tabelle C.1: Auflistung der Stationen der Testregion Vogtland mit ihren geografischen Koordinaten und ihrer Höhe.

Event- nummer	Herdzeit	geogr. Breite, Nord [°]	geogr. Länge, Ost [°]	Tiefe [km]	P- Picks	S- Picks
1	2017-01-24 20:09:07.4	50.30	12.45	4	6	6
2	2017-01-31 02:23:22.7	50.21	12.41	4	7	7
3	2017-02-01 11:20:36.1	50.19	12.33	7	6	5
4	2017-02-01 11:21:07.2	50.15	12.31	4	9	8
5	2017-02-01 13:02:51.6	50.14	12.32	4	10	10
6	2017-02-05 12:44:51.0	50.26	12.41	6	8	8
7	2017-02-07 16:11:24.9	50.17	12.38	3	10	9
8	2017-02-08 10:22:15.1	50.37	12.42	9	6	5
9	2017-02-11 00:02:35.5	50.19	12.42	7	7	6
10	2017-02-12 16:10:38.7	50.30	12.50	5	6	6

Tabelle C.2: Auflistung der manuellen Ereignisse mit der Herdzeit, geografischen Koordinaten, Höhe und der jeweiligen Anzahl der gepickten Phaseneinsätzen.

C.1 Tabellen

C.1.1 SEISCOMP3 S-Picker

Filter	S-L2					S-AIC					S-AIC-V										
	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
BW(3,3,10)	28	56	40	0.05	0.03	7	52	31	62	46	0.05	0.04	54	55	20	40	30	0.08	0.10	49	40
BW(3,3,20)	30	60	43	0.04	0.02	7	55	32	64	47	0.04	0.02	51	57	19	38	30	0.06	0.04	49	41
BW(3,4,10)	30	60	43	0.06	0.04	7	54	32	64	47	0.06	0.04	54	56	22	44	34	0.07	0.11	47	43
BW(3,4,20)	31	62	44	0.04	0.02	7	56	33	66	49	0.04	0.02	53	58	21	42	33	0.06	0.04	49	43
BW(4,0,7,2)	2	4	3	0.10	0.02	8	20	3	6	4	0.07	0.05	54	21	4	8	6	0.09	0.19	46	19
BW(4,1,3)	6	12	9	0.02	0.20	7	23	7	14	10	0.05	0.19	53	24	8	16	11	0.10	0.21	49	23
BW(4,1,8)	24	48	36	0.03	0.08	7	46	26	52	39	0.06	0.03	52	49	15	30	23	0.04	0.13	47	35
BW(4,1,10)	27	54	39	0.05	0.03	7	51	31	62	46	0.06	0.05	52	55	16	32	26	0.07	0.10	47	36
BW(4,1,20)	28	56	40	0.03	0.02	7	53	32	64	47	0.04	0.02	52	57	20	40	31	0.09	0.05	46	41
BW(4,2,6)	20	40	30	0.08	0.04	7	42	21	42	31	0.08	0.04	52	43	10	20	14	0.10	0.12	48	28
BW(4,3,10)	30	60	43	0.06	0.03	7	54	31	62	44	0.07	0.04	52	55	17	34	27	0.07	0.13	47	36
BW(4,3,20)	28	56	40	0.04	0.03	7	52	32	64	46	0.05	0.03	51	57	19	38	30	0.07	0.04	46	40
BW(4,4,8)	29	58	43	0.08	0.04	7	52	32	64	47	0.09	0.04	52	56	20	40	31	0.07	0.15	48	40
BW(4,4,10)	30	60	43	0.07	0.04	7	54	33	66	49	0.08	0.04	52	57	22	44	34	0.08	0.14	48	42
BW(4,4,20)	29	58	41	0.05	0.03	7	53	31	62	44	0.05	0.02	53	56	25	50	39	0.08	0.05	48	47
BW_HP(3,1)	22	44	31	0.03	0.02	8	46	31	62	46	0.03	0.02	55	56	19	38	30	0.01	0.13	46	40
BW_HP(3,3)	28	56	40	0.02	0.02	7	53	34	68	50	0.03	0.02	50	60	17	34	27	0.01	0.14	49	37
BW_HP(4,1)	22	44	31	0.02	0.01	7	46	32	64	47	0.03	0.02	51	58	18	36	29	0.04	0.13	45	38
BW_HP(4,3)	27	54	39	0.03	0.02	7	51	32	64	47	0.03	0.02	50	57	17	34	27	0.01	0.14	45	37
BW_LP(4,3)	0	0	0	nan	nan	7	nan	1	2	1	0.23	0.00	54	17	0	0	0	nan	nan	49	nan
BW_LP(4,8)	0	0	0	nan	nan	7	nan	1	2	1	0.08	0.00	54	20	0	0	0	nan	nan	49	nan

Tabelle C.3: Auflistung der Resultate aller Durchläufe zur ersten Testreihe. Hierbei wurde der Vorfilter für die SEISCOMP3 S-Picker verändert. In Grau sind vorausgewählte Konfigurationen zum weiteren Testen markiert. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

Filter	Schwellwert	S-L2						
		n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
BW(3,4,20)	1	19	38.0	27.1	0.039	0.016	8	41.7
BW(4,3,10)	1	16	32.0	22.9	0.075	0.049	8	36.7
BW_HP(3,3)	1	20	40.0	28.6	0.026	0.016	8	43.2
BW(3,4,20)	2	26	52.0	37.1	0.036	0.017	8	50.1
BW(4,3,10)	2	26	52.0	37.1	0.062	0.031	7	49.3
BW_HP(3,3)	2	24	48.0	34.3	0.026	0.016	8	48.0
BW(3,4,20)	3	31	62.0	44.3	0.036	0.019	8	56.1
BW(4,3,10)	3	30	60.0	42.9	0.063	0.029	8	54.1
BW_HP(3,3)	3	28	56.0	40.0	0.024	0.017	8	52.8
BW(3,4,20)	5	28	56.0	40.0	0.036	0.020	7	52.5
BW(4,3,10)	5	28	56.0	40.0	0.061	0.036	8	51.7
BW_HP(3,3)	5	23	46.0	32.9	0.020	0.017	8	46.9
BW(3,4,20)	8	20	40.0	28.6	0.034	0.020	7	42.9
BW(4,3,10)	8	13	26.0	18.6	0.058	0.021	7	34.0
BW_HP(3,3)	8	15	30.0	21.4	0.021	0.015	7	37.3

Tabelle C.4: Auflistung der Resultate aller Durchläufe der zweiten Testreihe. Hierbei wurde für den S-L2 Picker neben den drei vorausgewählten Filtern der Schwellwert verändert. Eine grüne Markierung repräsentiert die 'beste' Konfiguration. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

Filter	step	minCnt	S-AIC					S-AIC-V								
			n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
BW_HP(3,3)	0.05	3	30	60.0	42.9	0.034	0.019	170	54.9	19	38.0	28.6	-0.049	0.193	142	39.9
BW_HP(3,3)	0.05	6	32	64.0	45.7	0.034	0.020	180	57.3	20	40.0	30.0	0.004	0.135	162	41.2
BW_HP(3,3)	0.05	10	32	64.0	47.1	0.031	0.020	188	57.4	21	42.0	32.9	0.010	0.135	167	42.3
BW_HP(3,3)	0.1	3	32	64.0	45.7	0.034	0.020	90	57.3	20	40.0	31.4	0.004	0.135	83	41.2
BW_HP(3,3)	0.1	6	32	64.0	47.1	0.031	0.020	93	57.4	20	40.0	31.4	0.031	0.093	83	41.5
BW_HP(3,3)	0.1	10	34	68.0	50.0	0.030	0.020	94	59.8	17	34.0	27.1	0.013	0.143	86	37.3
BW_HP(3,3)	0.2	3	33	66.0	48.6	0.030	0.020	54	58.6	20	40.0	31.4	0.031	0.093	48	41.5
BW_HP(3,3)	0.2	6	33	66.0	47.1	0.029	0.020	51	58.6	16	32.0	25.7	0.029	0.131	51	36.0
BW_HP(3,3)	0.2	10	27	54.0	38.6	0.026	0.017	56	51.5	9	18.0	14.3	0.077	0.034	51	28.6
BW_HP(3,3)	0.5	3	31	62.0	44.3	0.026	0.020	26	56.3	13	26.0	20.0	0.024	0.142	25	32.3
BW_HP(3,3)	0.5	6	13	26.0	18.6	0.023	0.017	26	34.8	6	12.0	8.6	0.077	0.041	24	24.8
BW_HP(3,3)	0.5	10	4	8.0	5.7	0.013	0.019	28	24.2	1	2.0	1.4	0.162	0.000	25	18.0
BW_HP(3,3)	1	3	13	26.0	18.6	0.023	0.017	17	34.8	4	8.0	5.7	0.078	0.050	16	22.2
BW_HP(3,3)	1	6	2	4.0	2.9	0.004	0.015	19	22.0	0	0.0	0.0	nan	nan	17	nan
BW_HP(3,3)	1	10	1	2.0	1.4	-0.011	0.000	18	21.4	0	0.0	0.0	nan	nan	16	nan
BW(3,4,20)	0.05	3	31	62.0	45.7	0.042	0.019	161	56.0	25	50.0	37.1	0.063	0.090	137	47.0
BW(3,4,20)	0.05	6	32	64.0	47.1	0.042	0.019	168	57.2	25	50.0	37.1	0.048	0.070	152	47.6
BW(3,4,20)	0.05	10	32	64.0	47.1	0.041	0.019	180	57.2	23	46.0	34.3	0.056	0.057	158	45.3
BW(3,4,20)	0.1	3	32	64.0	47.1	0.042	0.019	87	57.2	26	52.0	38.6	0.056	0.081	76	48.4
BW(3,4,20)	0.1	6	32	64.0	47.1	0.041	0.019	93	57.2	23	46.0	35.7	0.056	0.057	82	45.3
BW(3,4,20)	0.1	10	33	66.0	48.6	0.041	0.019	96	58.4	21	42.0	32.9	0.053	0.064	89	42.9
BW(3,4,20)	0.2	3	31	62.0	45.7	0.040	0.020	50	56.0	23	46.0	35.7	0.056	0.057	46	45.3
BW(3,4,20)	0.2	6	33	66.0	47.1	0.041	0.019	51	58.4	20	40.0	31.4	0.060	0.045	47	41.9
BW(3,4,20)	0.2	10	28	56.0	40.0	0.039	0.016	52	52.5	13	26.0	18.6	0.063	0.049	50	33.4
BW(3,4,20)	0.5	3	32	64.0	45.7	0.040	0.017	25	57.3	18	36.0	28.6	0.059	0.047	23	39.5
BW(3,4,20)	0.5	6	14	28.0	20.0	0.035	0.016	26	35.8	4	8.0	5.7	0.060	0.058	23	22.4
BW(3,4,20)	0.5	10	4	8.0	5.7	0.035	0.019	28	23.7	1	2.0	1.4	0.139	0.000	25	18.4
BW(3,4,20)	1	3	13	26.0	18.6	0.035	0.017	16	34.6	1	2.0	1.4	0.139	0.000	15	18.4
BW(3,4,20)	1	6	3	6.0	4.3	0.044	0.014	17	22.4	1	2.0	1.4	0.139	0.000	15	18.4
BW(3,4,20)	1	10	0	0.0	0.0	nan	nan	18	nan	0	0.0	0.0	nan	nan	15	nan

Tabelle C.5: Auflistung der Resultate aller Durchläufe zur dritten Testreihe. Hierbei wurden die Parameter 'step' und 'minCnt' für die beiden vorausgewählten Filter getestet. Eine grüne Markierung repräsentiert die 'beste' Konfiguration. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; Δt - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

C.1.2 PhasePapy FB-Picker

Ohne Nachfilter

t_long	$nsigma$	t_up	n	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
1	2	0.2	36	51.4	-0.090	0.178	773	45.5
1	2	0.8	24	34.3	-0.147	0.217	503	33.3
1	4	0.2	24	34.3	-0.021	0.206	264	36.0
1	4	0.8	25	35.7	-0.041	0.207	275	36.5
1	6	0.2	15	21.4	-0.001	0.210	263	28.6
1	6	0.8	15	21.4	-0.016	0.204	265	28.4
2	2	0.2	38	54.3	-0.065	0.182	647	47.6
2	2	0.8	24	34.3	-0.099	0.223	415	34.1
2	4	0.2	23	32.9	-0.006	0.210	330	35.4
2	4	0.8	24	34.3	-0.011	0.203	308	36.3
2	6	0.2	14	20.0	-0.033	0.188	300	27.6
2	6	0.8	18	25.7	-0.043	0.198	314	30.6

Mit Nachfilter

t_long	$nsigma$	t_up	n	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
1	2	0.2	36	51.4	-0.050	0.167	773	46.5
1	2	0.8	25	35.7	-0.128	0.215	399	34.6
1	4	0.2	28	40.0	-0.004	0.193	281	40.1
1	4	0.8	28	40.0	-0.027	0.197	288	39.5
1	6	0.2	18	25.7	0.013	0.197	259	31.2
1	6	0.8	18	25.7	0.013	0.197	262	31.2
2	2	0.2	40	57.1	-0.047	0.177	623	49.8
2	2	0.8	23	32.9	-0.068	0.215	432	34.1
2	4	0.2	27	38.6	-0.003	0.187	320	39.4
2	4	0.8	28	40.0	-0.025	0.198	299	39.6
2	6	0.2	20	28.6	-0.002	0.207	318	33.0
2	6	0.8	20	28.6	-0.016	0.200	302	32.9

Tabelle C.6: Auflistung der Resultate aller Durchläufe zur ersten FB-Picker Testreihe. Hierbei wurden die Parameter t_long , $nsigma$, t_up und der Nachfilter getestet. In Grau sind die Konfigurationen markiert, die für den Test im ‘std’-Modus ausgewählt wurden. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

Ohne Nachfilter

t_long	$n\sigma$	t_up	n	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
1	2	0.2	37	52.9	-0.095	0.180	951	46.3
1	4	0.2	29	41.4	-0.035	0.203	330	40.1
2	2	0.2	38	54.3	-0.062	0.180	811	47.8

Mit Nachfilter

t_long	$n\sigma$	t_up	n	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
1	2	0.2	36	51.4	-0.059	0.174	733	46.2
1	4	0.2	29	41.4	-0.023	0.208	369	40.2
2	2	0.2	42	60.0	-0.056	0.170	757	51.5

Tabelle C.7: Die vorausgewählten Konfiguration der 'rms'-Testreihe wurden zusätzlich im 'std'-Modus getestet. Die Resultate sind hier aufgelistet. Eine grüne Markierung repräsentiert die 'beste' Konfiguration. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

C.2 Abbildungen

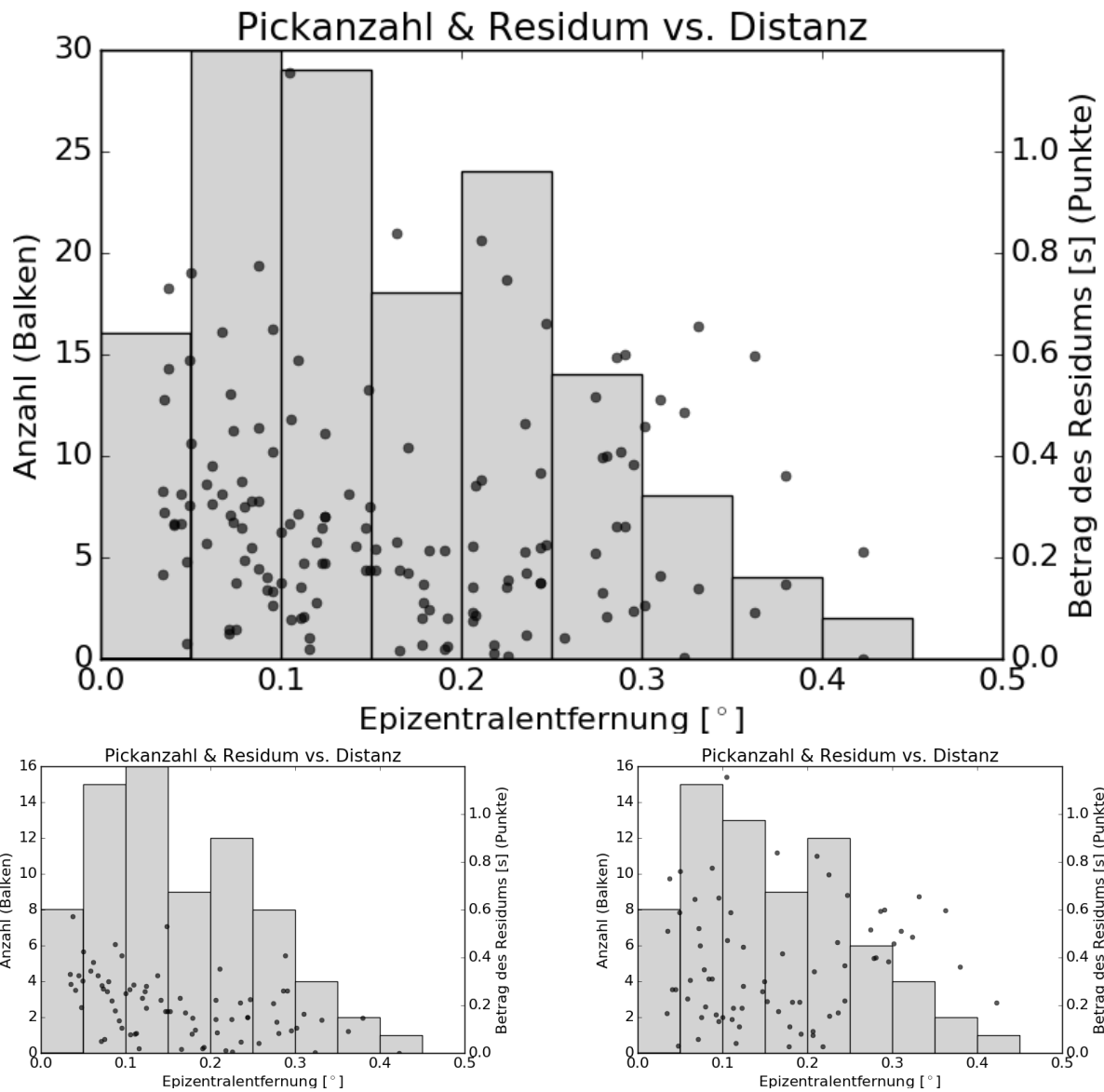


Abbildung C.1: Verteilung der Picks (Balken) und deren zeitlichen Residuen (Punkte) gegenüber der Distanz. Aufgeteilt in (oben) alle Phasen, (unten links) P-Phase und (unten rechts) S-Phase.

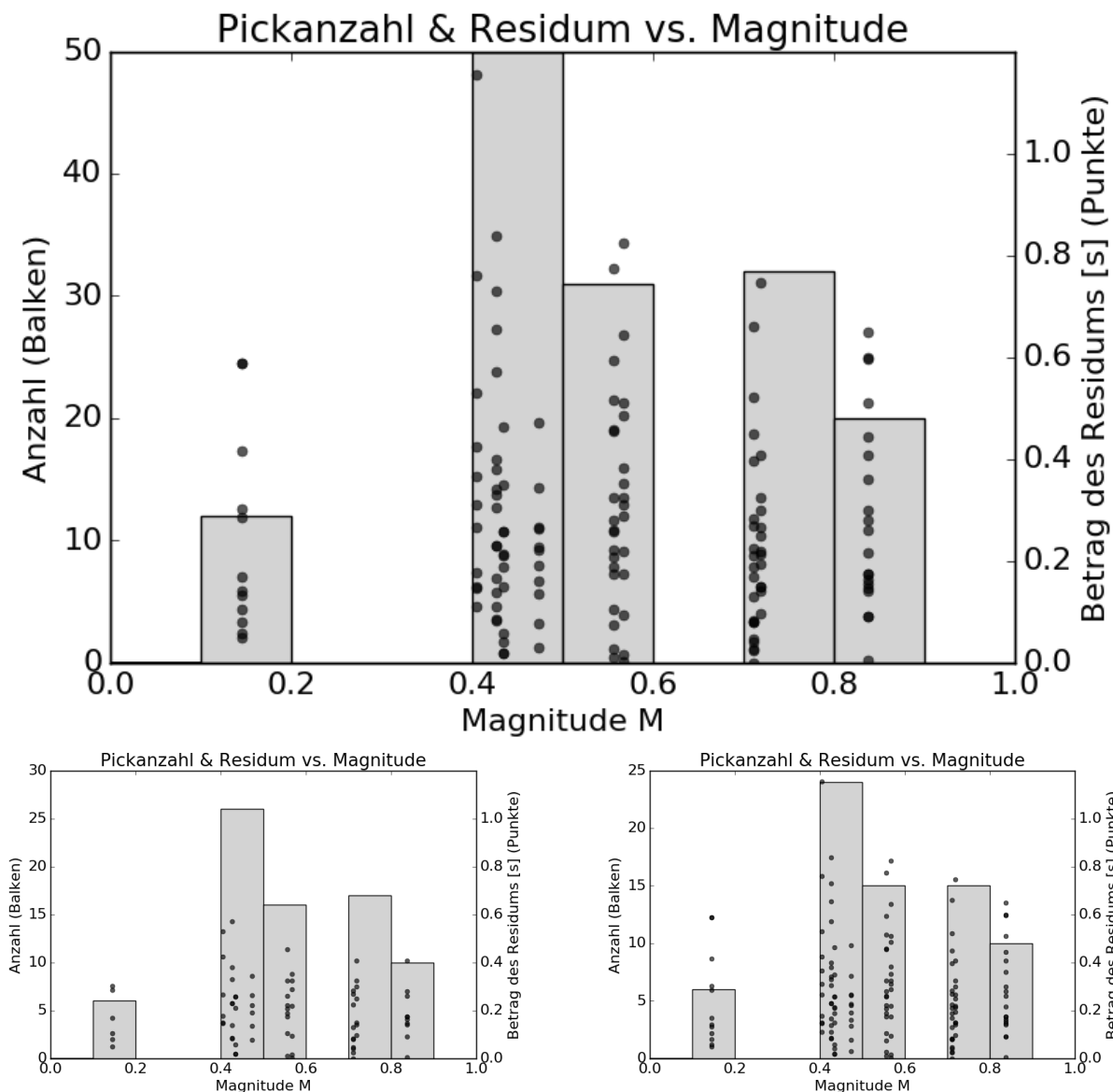


Abbildung C.2: Verteilung der Picks (Balken) und deren zeitlichen Residuen (Punkte) gegenüber der Magnitude. Aufgeteilt in (oben) alle Phasen, (unten links) P-Phase und (unten rechts) S-Phase.

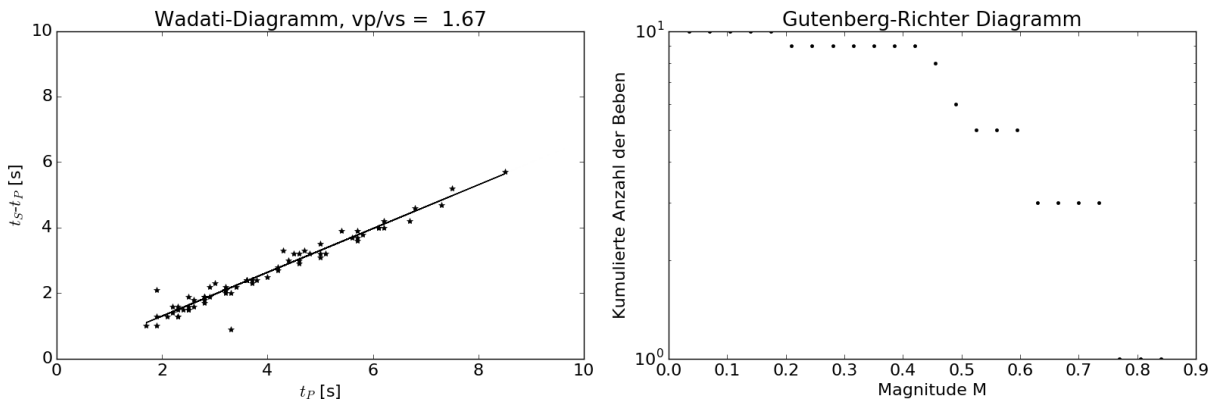


Abbildung C.3: (links) Wadati-Diagramm für die Beben der Hauptregion. Dabei wird die Differenz zwischen den Ankunftszeiten der S-Phase (t_s) und der P-Phase (t_p) über P-Ankunftszeit aufgetragen. Die Regressionsgerade zeigt indirekt mit ihrem Anstieg das Verhältnis zwischen P- und S-Wellengeschwindigkeit in der Region an: $\frac{v_p}{v_s} = 1.67$. (rechts) Die Gutenberg-Richter Verteilung zeigt die Häufigkeit der vorkommenden Mindestmagnituden.

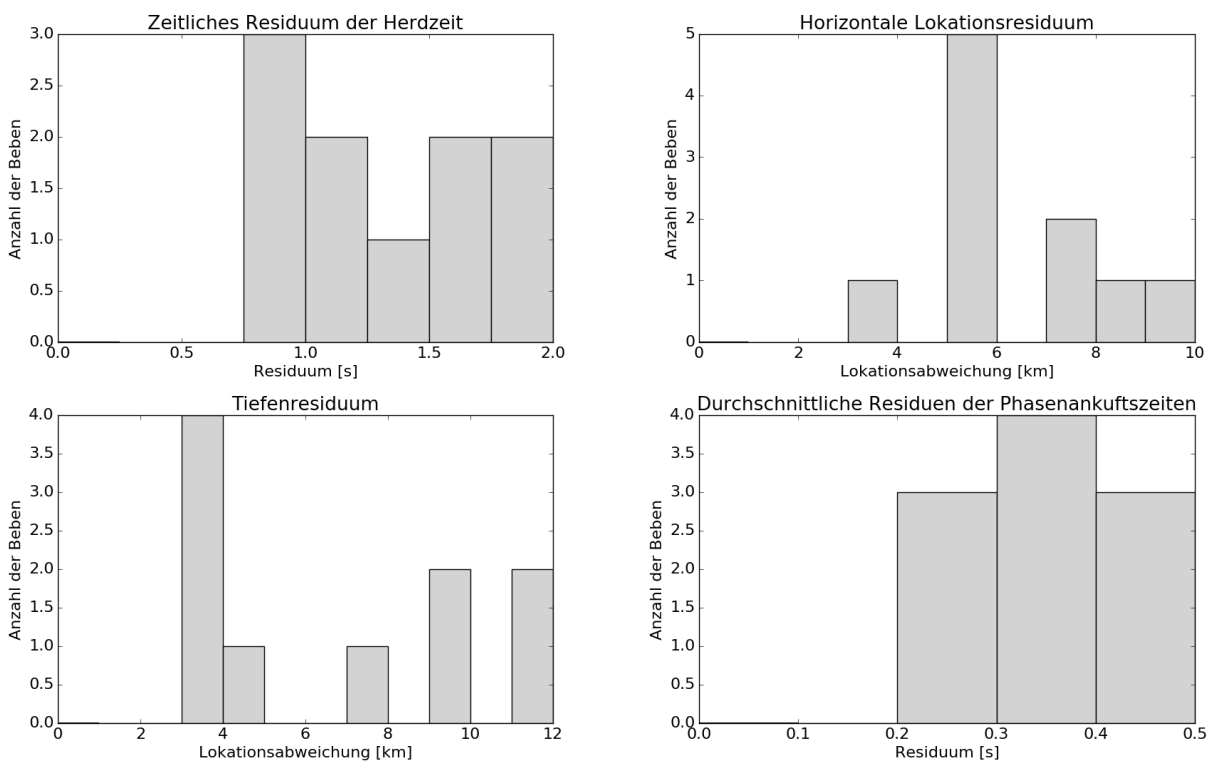


Abbildung C.4: (links oben) Verteilung der zeitlichen Residuen der Herzzeit. (rechts oben) Verteilung des horizontalen Lokationsresidums. (links unten) Verteilung des tiefen Lokationsresidums. (rechts unten) Verteilung der durchschnittlichen Residuen der Phasenankunftszeiten. Alle Grafiken beziehen sich auf die manuell ausgewerteten Ereignisse..

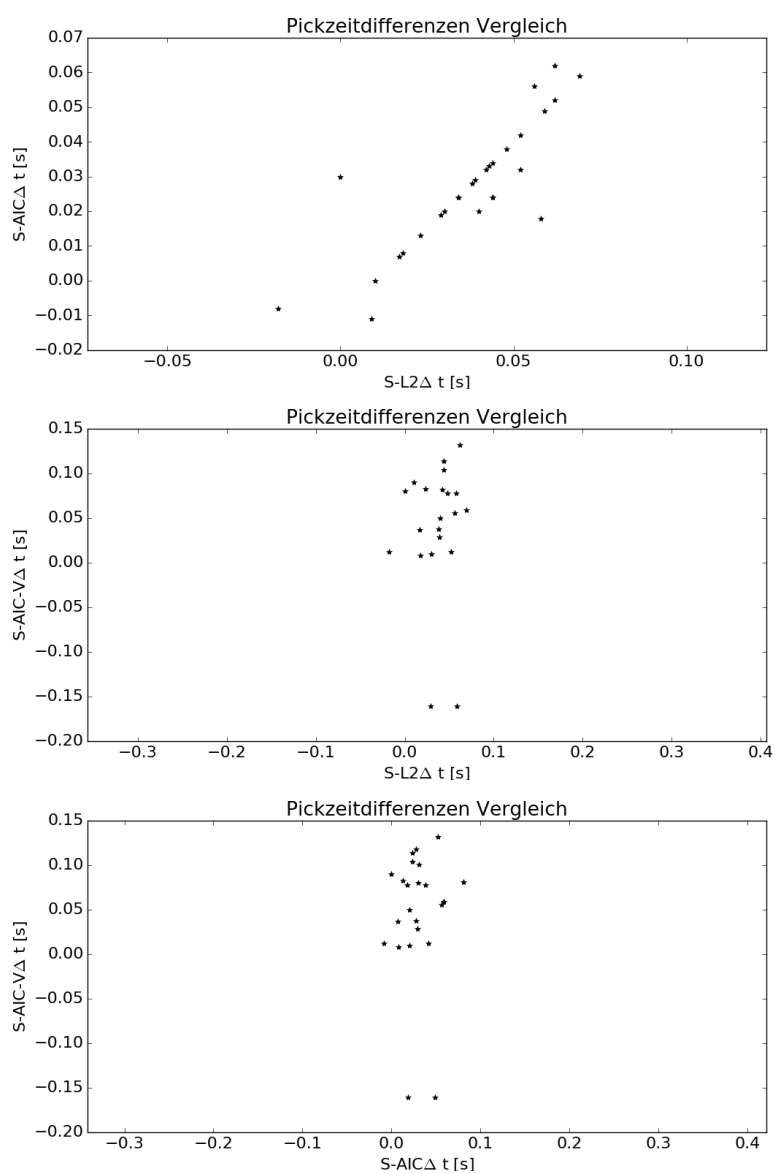


Abbildung C.5: Die Pickzeitdifferenz eines gleichen Picks wird zwischen den SEISCOMP3 S-Picks verglichen. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration.

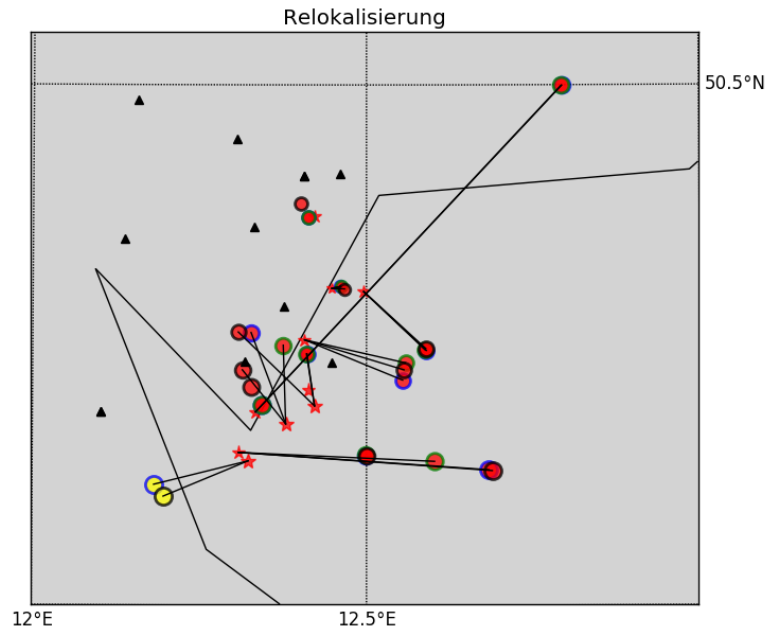


Abbildung C.6: Mit Hilfe der automatisch generierten P- und S-Picks der getesteten SEIS-COMP3 Picker wurden Origins erstellt und mit LocSAT wurden diese relokalisiert. Das Sternsymbol steht für das manuell ausgewertete Ereignis, während die Kreise für die Ereignisse der S-Picker stehen. Farbe des Kreisringes: blau S-L2, grün S-AIC, schwarz S-AIC-V. Farbe innerhalb der Symbole geben die Tiefe an: rot $< 50\text{km}$, $50\text{ km} < \text{gelb} < 250\text{km}$, blau $> 250\text{km}$. Die Größe des Symbols repräsentiert die Magnitude. Eine schwarze Linie verbindet zeitlich gleiche manuelle und automatisch produzierte Ereignisse.

D Anhang: Vogtland - Regional

Event-nummer	Herdzeit	geogr. Breite, Nord [°]	geogr. Länge, Ost [°]	Tiefe [km]	P-Picks	S-Picks
1	2016-08-24 17:11:06.6	51.45	16.18	16	39	19
2	2016-08-26 11:39:46.3	51.27	13.65	3	10	2
3	2016-08-28 13:34:24.6	51.42	10.51	1	23	17
4	2016-09-03 00:03:08.2	50.69	12.31	10	38	32
5	2016-09-06 12:20:39.4	50.52	12.70	1	13	12
6	2016-09-06 18:41:30.7	51.61	16.30	0	10	9
7	2016-09-08 09:59:27.8	51.80	10.82	0	14	11
8	2016-09-09 00:12:53.8	51.40	16.35	10	22	10
9	2016-09-09 16:21:56.4	51.44	12.11	8	26	21
10	2016-09-12 10:53:33.7	51.58	12.11	2	23	20
11	2016-09-13 18:05:30.0	51.53	16.31	3	9	7
12	2016-09-14 07:59:09.6	51.56	16.17	9	45	23
13	2016-09-15 01:19:31.7	51.38	10.80	0	14	12
14	2016-10-16 15:53:44.0	50.16	12.49	3	8	5
15	2016-10-17 04:02:59.5	50.54	12.38	7	7	9
16	2016-10-17 21:52:17.3	50.35	12.40	8	15	13
17	2016-10-17 23:06:33.5	50.35	12.43	7	6	6
18	2016-10-18 18:12:31.2	50.45	12.22	7	5	7
19	2016-10-19 12:30:21.5	51.29	12.71	2	20	9

20	2016-10-23 06:41:34.2	50.36	12.44	5	9	10
21	2016-10-23 15:11:13.6	50.27	12.44	5	20	18
22	2016-10-23 18:56:57.0	50.29	12.19	11	9	9
23	2016-10-24 14:28:43.6	50.27	12.42	6	12	10
24	2016-10-27 20:00:10.0	50.43	12.20	12	11	10
25	2016-10-27 23:08:17.0	50.62	15.38	1	6	5
26	2016-10-30 00:53:31.2	50.48	12.09	9	25	23
27	2016-11-06 18:29:41.5	50.26	12.77	7	20	17
28	2016-11-06 20:04:09.2	50.25	12.76	9	12	11
29	2016-11-09 21:48:07.4	50.46	12.30	11	18	17
30	2016-11-13 02:24:23.7	50.48	12.18	4	16	14
31	2016-11-24 07:28:31.2	50.84	12.27	12	20	17
32	2016-11-29 18:01:05.9	50.22	12.41	6	13	13
33	2016-12-01 23:35:03.4	30.67	176.76	750	0	0
34	2016-12-03 14:18:20.2	28.25	172.27	750	0	0
35	2016-12-05 16:59:16.8	49.87	12.25	9	12	12
36	2016-12-12 00:21:42.3	50.25	12.42	6	21	21
37	2016-12-12 00:23:08.7	50.25	12.41	6	13	13
38	2016-12-12 00:23:36.3	50.27	12.43	5	7	8
39	2016-12-12 00:24:27.2	50.25	12.42	4	14	15
40	2016-12-15 11:21:12.4	50.82	12.38	3	21	18
41	2016-12-15 11:25:20.0	50.51	12.67	2	17	12
42	2016-12-23 01:49:05.6	50.46	12.10	9	17	16
43	2016-12-27 02:42:45.1	50.44	12.41	8	9	10
44	2017-01-05 02:46:59.6	51.06	12.13	9	12	13
45	2017-01-09 06:03:40.4	50.36	12.43	3	8	8
46	2017-01-11 22:18:09.5	50.31	12.51	5	8	8
47	2017-01-16 15:24:49.0	51.29	12.39	9	23	23
48	2017-01-17 11:17:50.4	51.39	14.22	7	11	9
49	2017-01-17 11:30:53.3	51.75	10.79	1	20	25
50	2017-01-17 11:59:58.9	50.27	12.61	5	16	10
51	2017-01-18 09:16:28.5	51.85	11.62	7	17	16
52	2017-01-18 12:00:29.2	51.56	12.13	3	10	9
53	2017-01-18 12:12:23.3	50.41	12.15	0	13	5

Tabelle D.1: Auflistung der manuellen Ereignisse mit der Herdzeit, geografischen Koordinaten, Höhe und der jeweiligen Anzahl der gepickten Phaseneinsätzen.

D.1 Tabellen

D.1.1 SEISCOMP3 S-Picker

Filter	S-L2										S-AIC										S-AIC-V									
	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc									
BW(3,3,10)	143	34	23	0.09	0.13	72	56	236	57	39	0.14	0.19	337	67	194	47	31	0.14	0.30	304	59									
BW(3,3,20)	126	30	21	0.08	0.14	72	54	235	56	39	0.13	0.19	338	67	179	43	29	0.15	0.29	307	57									
BW(3,4,10)	143	34	23	0.10	0.15	76	56	235	56	39	0.13	0.19	366	67	192	46	32	0.13	0.30	318	59									
BW(3,4,20)	128	31	21	0.10	0.17	77	53	224	54	38	0.14	0.20	357	65	167	40	28	0.15	0.27	320	56									
BW(4,0,7,2)	56	13	9	0.23	0.31	73	37	111	27	18	0.25	0.33	356	44	97	23	15	0.26	0.40	311	41									
BW(4,1,3)	95	23	15	0.13	0.22	73	47	161	38	26	0.19	0.27	347	54	147	35	24	0.24	0.34	312	50									
BW(4,1,8)	148	35	24	0.11	0.19	73	55	226	54	37	0.16	0.20	348	65	203	49	33	0.16	0.31	318	60									
BW(4,1,10)	145	35	24	0.10	0.19	74	55	242	58	40	0.15	0.21	349	68	203	49	32	0.15	0.31	319	60									
BW(4,1,20)	136	32	22	0.09	0.15	73	55	240	57	40	0.15	0.21	348	67	185	44	30	0.15	0.30	311	57									
BW(4,2,6)	142	34	23	0.15	0.21	74	53	223	53	37	0.18	0.22	360	64	200	48	32	0.19	0.32	324	58									
BW(4,3,10)	139	33	22	0.10	0.14	76	55	236	56	39	0.15	0.19	347	67	199	48	32	0.14	0.29	323	60									
BW(4,3,20)	125	30	20	0.09	0.15	74	53	227	54	38	0.14	0.19	361	66	184	44	30	0.16	0.29	334	57									
BW(4,4,8)	132	32	22	0.12	0.15	80	54	226	54	38	0.16	0.20	382	65	180	43	29	0.16	0.29	328	57									
BW(4,4,10)	138	33	22	0.11	0.15	80	54	227	54	38	0.15	0.20	375	66	192	46	31	0.16	0.28	342	59									
BW(4,4,20)	122	29	20	0.10	0.16	79	52	224	54	38	0.15	0.20	369	65	175	42	29	0.14	0.26	328	57									
BW_HP(3,1)	118	28	19	0.08	0.18	76	52	225	54	38	0.12	0.23	361	65	159	38	25	0.15	0.34	332	53									
BW_HP(3,3)	105	25	17	0.07	0.13	83	51	218	52	36	0.12	0.22	366	64	147	35	24	0.13	0.33	343	52									
BW_HP(4,1)	119	28	20	0.08	0.19	77	52	226	54	37	0.12	0.21	355	66	159	38	26	0.16	0.33	333	53									
BW_HP(4,3)	103	25	17	0.07	0.17	75	50	215	51	36	0.13	0.20	361	64	143	34	23	0.12	0.34	328	51									
BW_LP(4,3)	14	3	2	0.23	0.30	79	31	25	6	4	0.21	0.36	398	32	21	5	3	0.20	0.47	362	30									
BW_LP(4,8)	26	6	4	0.15	0.32	81	34	42	10	7	0.15	0.36	399	36	30	7	5	0.32	0.38	363	30									

Tabelle D.2: Auflistung der Resultate aller Durchläufe zur ersten Testreihe. Hierbei wurde der Vorfilter für die SERSCOMP3 S-Picker verändert. In Grau sind vorausgewählte Konfigurationen zum weiteren Testen markiert. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit; sc - Score (siehe Kapitel 4).

Filter	Schwellwert	S-L2						
		n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
BW(3,3,10)	1	57	13.7	9.0	0.073	0.127	70	44.2
BW(4,1,8)	1	58	13.9	9.4	0.111	0.179	70	42.6
BW(4,1,10)	1	58	13.9	9.4	0.080	0.116	71	44.4
BW(3,3,10)	2	112	26.9	17.7	0.085	0.134	69	51.8
BW(4,1,8)	2	120	28.8	19.2	0.097	0.165	70	52.0
BW(4,1,10)	2	125	30.0	19.9	0.087	0.144	74	53.4
BW(3,3,10)	3	143	34.4	23.4	0.095	0.141	90	55.9
BW(4,1,8)	3	148	35.6	23.8	0.113	0.187	91	55.4
BW(4,1,10)	3	145	34.9	23.8	0.098	0.182	94	55.3
BW(3,3,10)	5	141	33.9	22.6	0.080	0.114	100	56.5
BW(4,1,8)	5	138	33.2	21.7	0.114	0.199	92	53.7
BW(4,1,10)	5	140	33.7	22.0	0.088	0.140	94	55.7
BW(3,3,10)	8	117	28.1	18.7	0.065	0.124	93	53.1
BW(4,1,8)	8	110	26.4	17.7	0.096	0.191	86	50.1
BW(4,1,10)	8	113	27.2	18.3	0.088	0.168	84	51.2

Tabelle D.3: Auflistung der Resultate aller Durchläufe der zweiten Testreihe. Hierbei wurde für den S-L2 Picker neben den drei vorausgewählten Filtern der Schwellwert verändert. Eine grüne Markierung repräsentiert die 'beste' Konfiguration. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit, sc - Score (siehe Kapitel 4).

Filter	step	minCnt	S-AIC						S-AIC-V							
			n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc	n	n_s [%]	n_{ges} [%]	$\overline{\Delta t}$ [s]	$\sigma(\Delta t)$ [s]	t_r [s]	sc
BW(4,1,10)	0.1	3	241	57.9	40.5	0.149	0.226	554	67.2	196	47.1	31.8	0.134	0.294	499	59.7
BW(4,1,10)	0.1	6	244	58.7	40.5	0.145	0.205	644	68.2	204	49.0	32.8	0.145	0.291	548	60.7
BW(4,1,10)	0.1	10	244	58.7	40.5	0.149	0.209	694	68.1	205	49.3	32.8	0.135	0.301	587	60.9
BW(4,1,10)	0.2	3	241	57.9	40.0	0.146	0.205	362	67.7	203	48.8	32.7	0.148	0.293	306	60.5
BW(4,1,10)	0.2	6	240	57.7	39.6	0.149	0.211	352	67.4	200	48.1	32.1	0.140	0.308	316	59.9
BW(4,1,10)	0.2	10	223	53.6	36.4	0.152	0.212	349	64.9	171	41.1	28.2	0.150	0.329	329	55.1
BW(4,1,10)	0.5	3	228	54.8	37.3	0.148	0.210	186	65.7	185	44.5	30.1	0.137	0.320	165	57.6
BW(4,1,10)	0.5	6	194	46.6	31.3	0.148	0.227	193	60.5	126	30.3	21.0	0.180	0.335	171	47.9
BW(4,1,10)	0.5	10	144	34.6	23.5	0.169	0.236	190	52.7	102	24.5	16.8	0.223	0.346	170	43.3
BW(4,1,10)	1	3	186	44.7	30.3	0.151	0.229	125	59.2	119	28.6	19.8	0.192	0.341	110	46.5
BW(4,1,10)	1	6	127	30.5	21.1	0.167	0.227	126	50.4	81	19.5	13.5	0.238	0.328	113	40.4
BW(4,1,10)	1	10	78	18.8	12.9	0.200	0.262	128	42.0	43	10.3	7.3	0.302	0.296	114	34.2
BW(4,1,20)	0.1	3	235	56.5	40.0	0.140	0.216	576	66.8	193	46.4	31.2	0.144	0.312	505	58.7
BW(4,1,20)	0.1	6	247	59.4	40.9	0.141	0.212	605	68.6	200	48.1	32.1	0.144	0.306	565	59.9
BW(4,1,20)	0.1	10	241	57.9	39.9	0.144	0.208	642	67.7	186	44.7	30.0	0.155	0.301	572	57.7
BW(4,1,20)	0.2	3	243	58.4	39.9	0.141	0.214	378	67.9	202	48.6	32.4	0.147	0.293	326	60.4
BW(4,1,20)	0.2	6	239	57.5	39.1	0.146	0.210	368	67.4	178	42.8	28.6	0.156	0.309	324	56.4
BW(4,1,20)	0.2	10	220	52.9	35.5	0.152	0.212	383	64.5	163	39.2	26.4	0.155	0.321	330	54.0
BW(4,1,20)	0.5	3	235	56.5	38.4	0.148	0.209	180	66.8	166	39.9	27.0	0.151	0.315	165	54.6
BW(4,1,20)	0.5	6	189	45.4	30.7	0.159	0.224	193	59.6	119	28.6	19.5	0.183	0.344	167	46.6
BW(4,1,20)	0.5	10	146	35.1	24.1	0.158	0.257	187	52.8	84	20.2	13.8	0.236	0.360	190	40.2
BW(4,1,20)	1	3	181	43.5	29.4	0.160	0.227	148	58.4	114	27.4	18.7	0.197	0.341	133	45.7
BW(4,1,20)	1	6	132	31.7	22.0	0.154	0.268	152	50.6	72	17.3	11.7	0.259	0.361	137	38.0
BW(4,1,20)	1	10	76	18.3	13.0	0.154	0.227	157	43.3	42	10.1	6.7	0.329	0.383	153	31.8

Tabelle D.4: Aufistung der Resultate aller Durchläufe zur dritten Testreihe. Hierbei wurden die Parameter 'step' und 'minCnt' für die beiden vorausgewählten Filter getestet. Eine grüne Markierung repräsentiert die 'beste' Konfiguration. n - Anzahl an übereinstimmenden Picks; n_s - Prozentzahl der möglichen S-Picks; n_{ges} - Prozentzahl der absolut möglichen S-Picks; $\overline{\Delta t}$ - Mittelwert der Pickzeitdifferenzen; $\sigma(\Delta t)$ - Standardabweichung der Pickzeitdifferenzen; t_r - Rechenzeit; sc - Score (siehe Kapitel 4).

D.2 Abbildungen

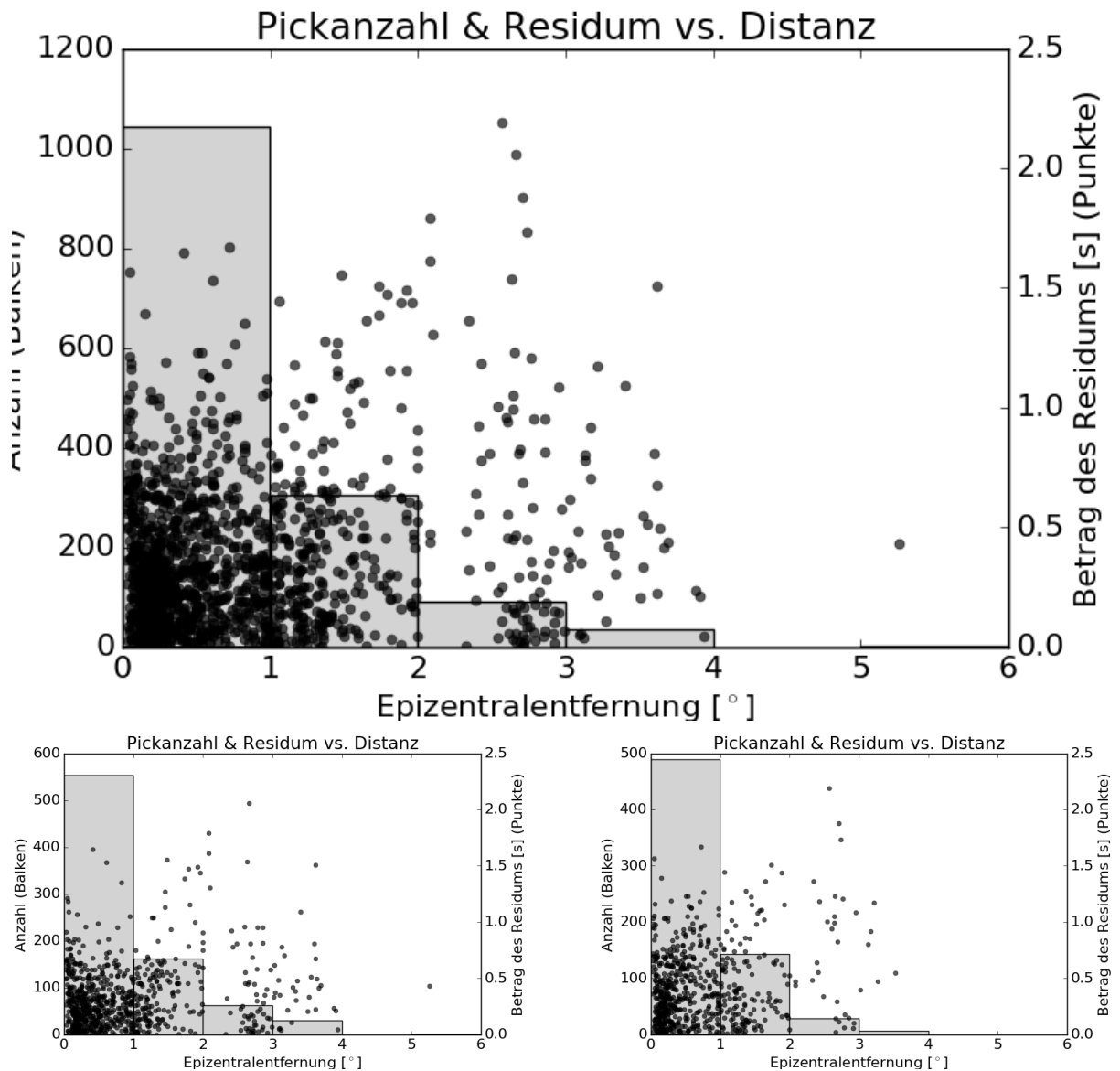


Abbildung D.1: Verteilung der Picks (Balken) und deren zeitlichen Residuen (Punkte) gegenüber der Distanz. Aufgeteilt in (oben) alle Phasen, (unten links) P-Phase und (unten rechts) S-Phase.

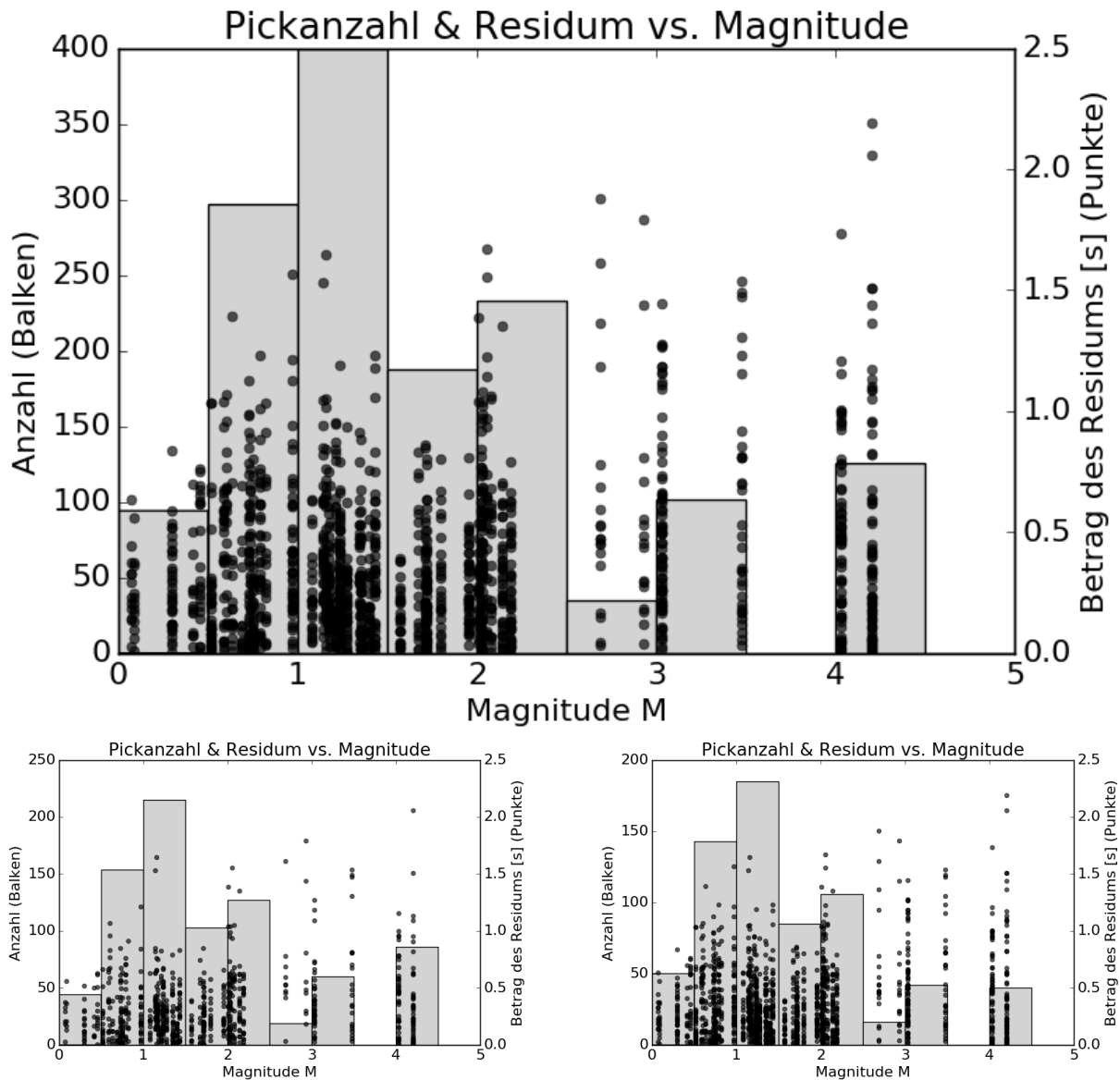


Abbildung D.2: Verteilung der Picks (Balken) und deren zeitlichen Residuen (Punkte) gegenüber der Magnitude. Aufgeteilt in (oben) alle Phasen, (unten links) P-Phase und (unten rechts) S-Phase.

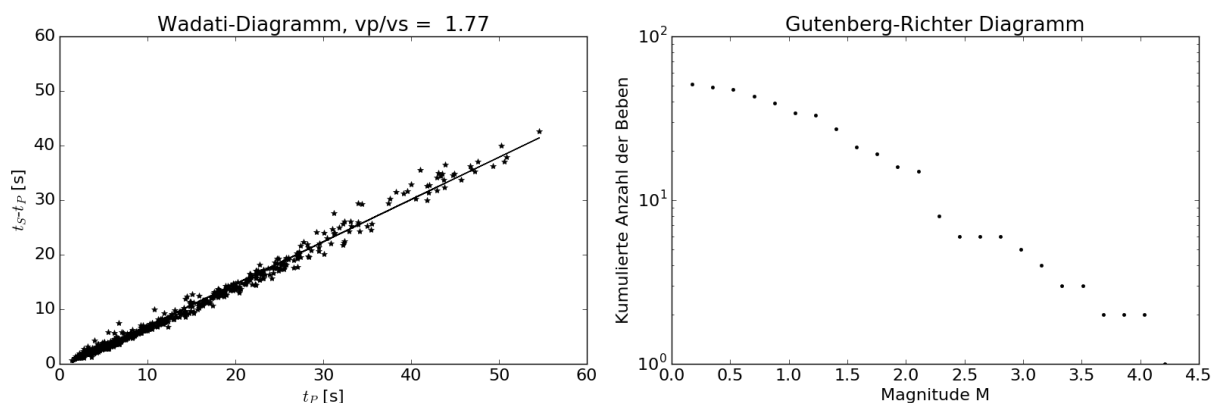


Abbildung D.3: (links) Wadati-Diagramm für die Beben der Hauptregion. Dabei wird die Differenz zwischen den Ankunftszeiten der S-Phase (t_s) und der P-Phase (t_p) über P-Ankunftszeit aufgetragen. Die Regressionsgerade zeigt indirekt mit ihrem Anstieg das Verhältnis zwischen P- und S-Wellengeschwindigkeit in der Region an: $\frac{v_p}{v_s} = 1.77$. (rechts) Die Gutenberg-Richter Verteilung zeigt die Häufigkeit der vorkommenden Mindestmagnituden.

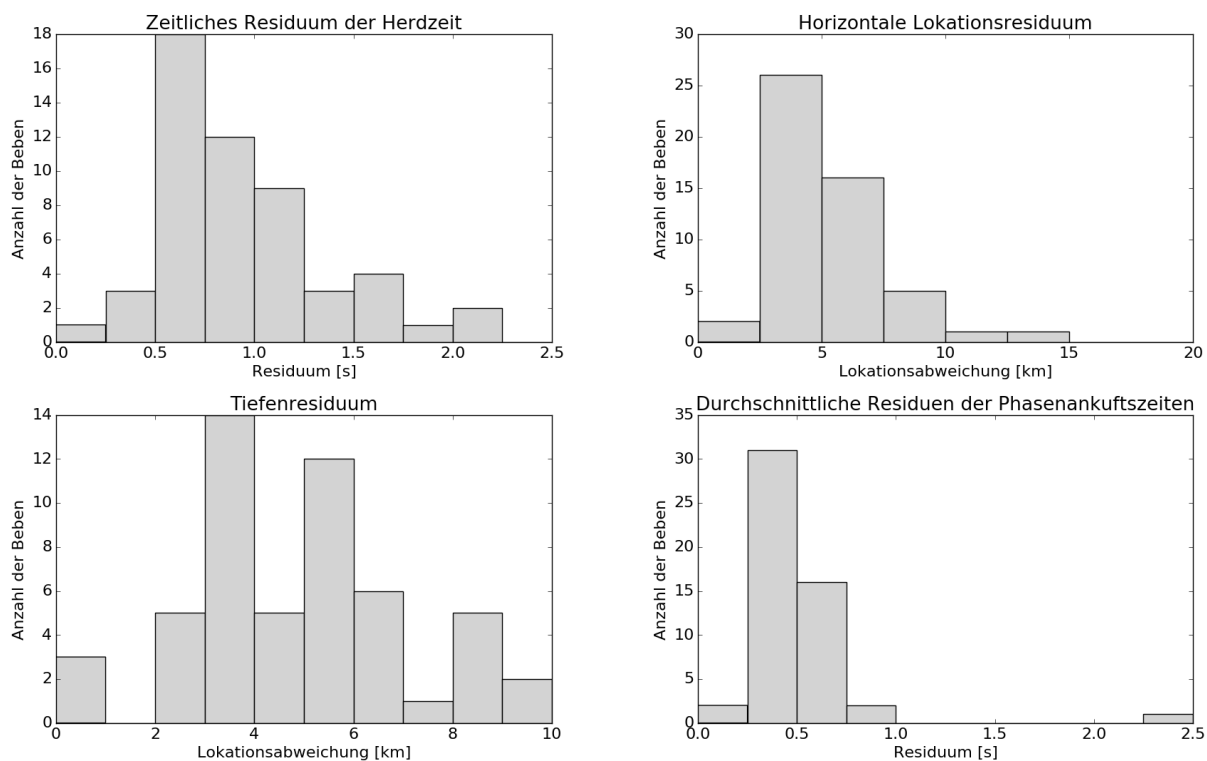


Abbildung D.4: (links oben) Verteilung der zeitlichen Residuen der Herdzeit. (rechts oben) Verteilung des horizontalen Lokationsresidums. (links unten) Verteilung des tiefen Lokationsresidums. (rechts unten) Verteilung der durchschnittlichen Residuen der Phasenankunftszeiten. Alle Grafiken beziehen sich auf die manuell ausgewerteten Ereignisse.

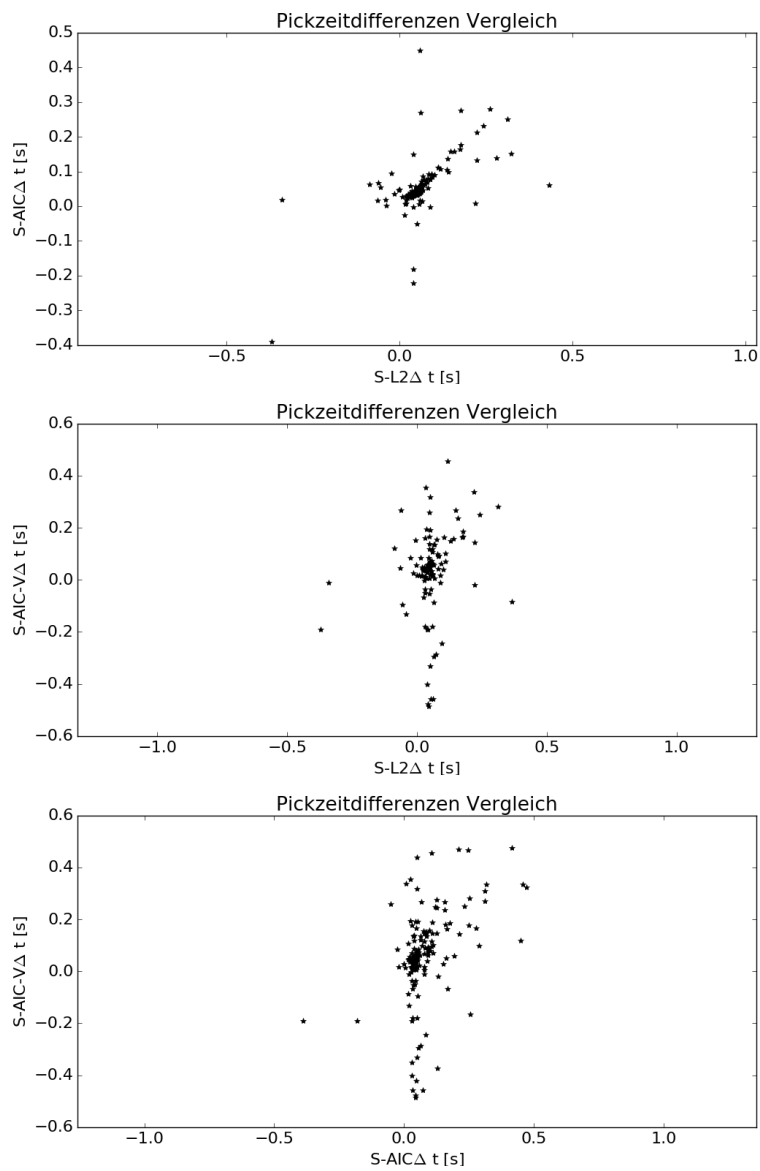


Abbildung D.5: Die Pickzeitdifferenz eines gleichen Picks wird zwischen den SEISCOMP3 S-Pickern verglichen. Dargestellt sind nur die Resultate der 'besten' Pickerkonfiguration.

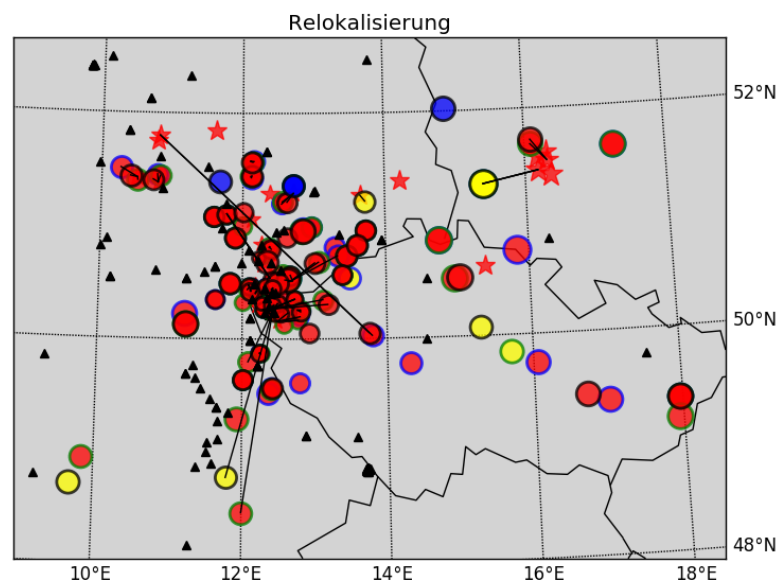


Abbildung D.6: Mit Hilfe der automatisch generierten P- und S-Picks der getesteten SEIS-COMP3 Picker wurden Origins erstellt und mit LocSAT wurden diese relokalisiert. Das Sternsymbol steht für das manuell ausgewertete Ereignis, während die Kreise für die Ereignisse der S-Picker stehen. Farbe des Kreisringes: blau S-L2, grün S-AIC, schwarz S-AIC-V. Farbe innerhalb der Symbole geben die Tiefe an: rot $< 50\text{km}$, $50\text{ km} < \text{gelb} < 250\text{km}$, blau $> 250\text{km}$. Die Größe des Symbols repräsentiert die Magnitude. Eine schwarze Linie verbindet zeitlich gleiche manuelle und automatisch produzierte Ereignisse.

E Anhang: Quellcode

Die folgenden Skripte sind nur ein Bruchteil der verwendeten Quellcodes, die für diese Arbeit benötigt wurden. Die gezeigten Codes umfassen nur die 3 wichtigsten Skripte aus der Testregion Chile, welche jedoch analog für die anderen Datensätze bzw. Aufgaben angewendet wurden.

Listing 1: Verändern des Vorfilters mit Hilfe eines bash-Skriptes

```

1  #!/bin/bash
2
3  inv=~/.data/chile/autopick/inventory.xml           # Datei die das Inventory enthaelt
4  datafile=~/.data/chile/chile_20161225120000_sorted.mseed # Wellendaten
5
6  while read filter; do # Schleife ueber alle Filter in der Datei
7      picks=~/.data/chile/autopick/$filter/picks    # Pfad zum Speichern der Pickzeitdateien
8      runtime=~/.data/chile/autopick/$filter/runtime # Pfad zum Speichern der Rechenzeiten
9      mkdir -p ~/.data/chile/autopick/$filter # Erstellen des Verzeichnisses
10
11     # Konfigurationsdateien der Profile
12     pickprofileL2=~/.seiscomp3/etc_chile/key/pickl2/profile_standard
13     newprofileL2=~/.seiscomp3/etc_chile/key/pickl2/profile_test
14     cfgL2=~/.data/chile/autopick/$filter/configL2.xml
15
16     # Aktualisieren des Filters
17     sed 's/BW(4,3,20)/'$filter'/' $pickprofileL2 > $newprofileL2
18     # Konfigdateien aktualisieren
19     bindings2cfg --key-dir ~/.seiscomp3/etc_chile/key -o $cfgL2
20     SECONDS=0
21     # Starten des automatischen Picker im Offlinemodus, alias zum scautopick
22     pickl2 --ep --playback -I $datafile --config-db $cfgL2 --inventory-db $inv > $picks-l2.xml
23     duration=$SECONDS
24     echo $duration > $runtime-L2.txt
25     # Programm zum Konvertieren der Picks vom XML-Format zum txt-Format
26     python ~/.data/read_xml_auto_picks.py $picks-l2.xml > $picks-l2.txt
27
28     # Analog
29     pickprofileSAIC=~/.seiscomp3/etc_chile/key/picksaic/profile_standard
30     newprofileSAIC=~/.seiscomp3/etc_chile/key/picksaic/profile_test
31     cfgSAIC=~/.data/chile/autopick/$filter/configSAIC.xml
32     sed 's/BW(4,3,20)/'$filter'/' $pickprofileSAIC > $newprofileSAIC
33     bindings2cfg --key-dir ~/.seiscomp3/etc_chile/key -o $cfgSAIC
34     SECONDS=0
35     picksaic --ep --playback -I $datafile --config-db $cfgSAIC --inventory-db $inv > $picks-saic.xml
36     duration=$SECONDS
37     echo $duration > $runtime-SAIC.txt
38     python ~/.data/read_xml_auto_picks.py $picks-saic.xml > $picks-saic.txt
39
40     # Analog
41     pickprofileSAICV=~/.seiscomp3/etc_chile/key/picksaicv/profile_standard
42     newprofileSAICV=~/.seiscomp3/etc_chile/key/picksaicv/profile_test
43     cfgSAICV=~/.data/chile/autopick/$filter/configSAICV.xml
44     sed 's/BW(4,3,20)/'$filter'/' $pickprofileSAICV > $newprofileSAICV
45     bindings2cfg --key-dir ~/.seiscomp3/etc_chile/key -o $cfgSAICV
46     SECONDS=0
47     picksaicv --ep --playback -I $datafile --config-db $cfgSAICV --inventory-db $inv > $picks-saicv.xml
48     duration=$SECONDS
49     echo $duration > $runtime-SAICV.txt
50     python ~/.data/read_xml_auto_picks.py $picks-saicv.xml > $picks-saicv.txt
51
52     # Starten des Programmes, welches den Vergleich mit der manuellen Auswertung durchfuehrt
53     python s_pick_comparision.py $filter
54
55 done < ~/.data/chile/filterfile.txt

```

Listing 2: Testen des FB-Pickers mit Hilfe eines Python-Skriptes

```

1 # Einladen benutzer Bibliotheken
2 import sys
3 from phasepapy.phasepicker import fbpicker
4 from obspy.core import read, UTCDateTime, Stream, Trace
5 from datetime import datetime
6 import numpy as np
7 from collections import defaultdict
8
9 # Auswählen des Pickers (optionale Erweiterung fuer die anderen Picker)
10 FB = True
11
12 # Schleifen ueber die zu testenden Parameter
13 for t_win in (3, 10):
14     for nsigma in (4,5):
15         for t_up in (0.2, 0.8):
16             t_ma = 20
17             nr_len = 2
18             nr_coeff = 2
19             nfilter = str(2)
20
21             if FB:
22                 t_long = 2
23                 corner = 4
24                 freqmin = 1
25                 mode = 'std'
26                 if mode == 'std':
27                     Mode = 'std'
28                 else:
29                     Mode = ''
30                 # Bestimmen des Speicherpfades
31                 folderFB = 'phasepapy/fb/'
32                 fileFB = folderFB + str(t_long) + '_' + str(nsigma) + '_' + str(t_up) \
33                     + '_' + Mode + nfilter + 'f.txt'
34                 resultFileFB = open(fileFB, 'w')
35                 # Einstellen des FB-Pickers
36                 FBpicker = fbpicker.FBPicker(t_long=t_long, freqmin=freqmin,
37                 corner=corner, mode=mode, t_ma=t_ma, nsigma=nsigma,
38                 t_up=t_up, nr_len=nr_len, nr_coeff=nr_coeff,
39                 pol_len = 10, pol_coeff = 10, uncert_coeff = 3)
40
41                 runtimeStart = datetime.now()
42                 # Schleife ueber die 6 Stunden der Wellendaten
43                 for i in range(6):
44                     filename = 'chile_20161225120000_sorted.mseed'
45                     st = read(filename)
46                     # Zu schneiden der Wellendaten
47                     tMin = UTCDateTime('2016-12-25 ' + str(12+i) + ':00:00')
48                     tEnd = UTCDateTime('2016-12-25 ' + str(13+i) + ':00:00')
49                     st.trim(starttime=tMin, endtime=tEnd)
50                     st2 = st
51                     # Vorfiltern
52                     st2.filter('highpass', freq=1, corners=4)
53                     stz = st2.select(component='Z')
54                     stn = st2.select(component='N')
55                     ste = st2.select(component='E')
56                     # Bildung der L2-Spur
57                     hL2Traces = []
58                     for i in range(len(stn)):
59                         for n in range(len(ste)):
60                             if stn[i].stats.station == ste[n].stats.station and \
61                                 stn[i].stats.channel == 'HHN' and ste[n].stats.channel == 'HHE':
62                                 hL2 = ste[n].copy()
63                                 for m in range(hL2.stats['npts']):
64                                     hL2.data[m] = np.sqrt(stn[i].data[m]* \
65                                         stn[i].data[m] + ste[n].data[m]*ste[n].data[m])
66                                 hL2Traces.append(hL2)
67                     stf = Stream(hL2Traces)
68                     # Auswahl des Nachfilters
69                     if nfilter == '2':
70                         stf.filter('highpass', freq=1, corners=4)
71
72                     # Schleife ueber alle L2-Spuren
73                     for tr in stf:
74                         tr.detrend('linear')
75                         if FB: # Starten des FB-Pickers
76                             # Ausgabe von Spur, Pick-, Polaritaets-,
77                             # SNR- und Unsicherheitsinformation
78                             scnl, picks, polarity, snr, uncert = FBpicker.picks(tr)
79                             for i in range(len(picks)):
80                                 print >>>resultFileFB, scnl, '|', picks[i]
81                     if FB: # Rechenzeitsdatei erstellen und ueberschreiben
82                         runtimefile = folderFB + str(t_long) + '_' + str(nsigma) + '_' \
83                             + str(t_up) + '_' + Mode + nfilter + 'f_runtime.txt'
84                         runtimeFile = open(runtimefile, 'w')
85                         runtimeEnd = datetime.now()
86                         print >>>runtimeFile, round((runtimeEnd-runtimeStart).total_seconds(), 0)
87 if FB: # Dateien schliessen
88     resultFileFB.close()
89     runtimeFile.close()

```

Listing 3: Vergleich der S-Picks mit Hilfe eines Python-Skriptes

```

1 # Einladen der benutzten Bibliotheken
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import matplotlib
5 import datetime
6 from collections import defaultdict
7 import sys
8 from obspy import UTCDateTime
9
10 # Parameter fuer die Grafiken
11 w = 12.
12 h = 16/3.
13 figsize = (w, h)
14 matplotlib.rcParams.update({'font.size': 16})
15
16 # Funktion zum Einlesen der Pickzeiten
17 def read_pick_times(filename, pickerName):
18     picks = defaultdict(list)
19     for line in filename: # Schleife ueber die Zeilen (Picks)
20         line = line.rstrip()
21         if len(line) == 0:
22             pass
23         else:
24             line = line.rsplit()
25             date = line[4] + ' ' + line[5]
26             time = datetime.datetime.strptime(date, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
27             Id = line[0] # Pick-ID
28             station = line[1] # Station des Picks
29             phase = line[3] # Phase
30             picks[Id].append(station)
31             picks[Id].append(time)
32             picks[Id].append(phase)
33     return picks
34
35 # Funktion zum Einlesen der FB-Picker Pickzeiten
36 def read_pick_timesFB(filename):
37     picks = defaultdict(list)
38     cnt = 0
39
40     for line in filename:
41         if line.strip() != '':
42             cnt += 1
43             line = line.rstrip()
44             line = line.rsplit('|')
45             station = line[0]
46             time = UTCDateTime(line[1])
47             picks[cnt].append(station)
48             picks[cnt].append(time)
49     return picks
50
51 # Funktion zum Vergleichen der manuellen und automatischen Picks
52 def comparison(refDict, compDict, mintime, maxtime, compName, figName):
53     Fig = plt.figure('Distanz-' + compName, figsize=figsize)
54     plt.title('Pickzeitdifferenz-Distanz ' + compName)
55     plt.xlabel('Epizentralentfernung [ $\Delta$ ] [s]')
56     plt.ylabel('r [ $\Delta$ ] [s]')
57     plt.ylim(0,1)
58
59     timeDiff = {}
60     newPman = defaultdict(list)
61     newSman = defaultdict(list)
62     # Schleife zum Finden uebereinstimmender P-Picks
63     for keys1, values1 in refDict.iteritems():
64         for keys2, values2 in compDict.iteritems():
65             if values1[0] == values2[0] and values2[2] == 'P' and values1[2] == 'P':
66                 pDiff = (values1[1] - values2[1]).total_seconds()
67                 if pDiff < maxTime and pDiff > minTime:
68                     newPman[keys1] = values1
69
70     # Schleife zum Finden der passenden S-Picks zu den P-Picks
71     for keys1, values1 in refDict.iteritems():
72         for keys2, values2 in newPman.iteritems():
73             if values1[3] == values2[3] and values1[0] == values2[0] and values1[2] == 'S':
74                 newSman[keys1] = values1
75
76     # Schleife zum Finden uebereinstimmender S-Picks
77     for keys1, values1 in newSman.iteritems():
78         for keys2, values2 in compDict.iteritems():
79             if values1[0] == values2[0] and values2[2] == 'S':
80                 diff = (values2[1] - values1[1]).total_seconds()
81                 if diff < maxtime and diff > mintime:
82                     if str(values1[1]) in timeDiff:
83                         print 'WARNING S DUPLICATE'
84                         if timeDiff[str(values1[1])] > diff:
85                             timeDiff[str(values1[1])] = diff
86                     else:
87                         # Plot Pickzeitdifferenzen vs. Distanz
88                         plt.plot(values1[4], abs(diff), 'k.', alpha=0.65, markersize=10)
89                         timeDiff[str(values1[1])] = diff
90
91     plt.xlim(xmin=0, xmax=5)
92     plt.gca().set_position([0.1, 0.1, 0.87, 0.81])
93     Fig.savefig('.../work/bsc/bachelorarbeit/pics/chile/dist' + compName + '.png')
94
95     if len(newSman) == 0:
96         pickPercentage = 0
97     else:
98         pickPercentage = round(100.*len(timeDiff)/len(newSman), 1)
99     print len(timeDiff)
100    return timeDiff, pickPercentage
101
102 # Funktion zum Finden der S-Picks fuer den FB-Picker

```

```

100 def comparisionFB(refDict, compDict, mintime, maxtime, compName, figName):
101     Fig = plt.figure('Distanz-' + compName, figsize=figsize)
102     plt.title('Pickzeitdifferenz-Distanz ' + compName)
103     plt.xlabel('Epizentralentfernung [ $\Delta$ ] [s]')
104     plt.ylabel('r' +  $\Delta$  t [s]')
105
106     timeDiff = {}
107     # Schleife zum Finden der S-Picks
108     for keys1, values1 in refDict.iteritems():
109         for keys2, values2 in compDict.iteritems():
110             scnl = values2[0].rsplit('.')
111             station = scnl[0]
112             if values1[0] == station:
113                 diff = (values2[1] - values1[1])
114                 if diff < maxtime and diff > mintime:
115                     plt.plot(values1[4], abs(diff), 'k.', alpha=0.65, markersize=10)
116                     plt.gca().set_position([0.1, 0.1, 0.87, 0.81])
117                     timeDiff[str(values1[1])] = diff
118
119     plt.xlim(xmin=0, xmax=5)
120     plt.ylim(ymin=0, ymax=1)
121     Fig.savefig('../work/bsc/bachelorarbeit/pics/chile/dist' + compName + '.png')
122     return timeDiff
123
124 # Funktion zum Plotten des direkten Vergleiches der S-Picks
125 def comp_plot(refDict, compDict, refName, compName, figName):
126     Fig = plt.figure(refName + '-' + compName, figsize=figsize)
127     plt.title('Pickzeitdifferenzen Vergleich')
128     plt.xlabel(refName + r' $\Delta$  t [s]')
129     plt.ylabel(compName + r' $\Delta$  t [s]')
130     plt.axis('equal')
131
132     for keys1, values1 in refDict.iteritems():
133         for keys2, values2 in compDict.iteritems():
134             if keys1 == keys2:
135                 plt.figure(refName + '-' + compName)
136                 plt.plot(values1, values2, 'k*')
137                 Fig.savefig('../work/bsc/bachelorarbeit/pics/chile/' + figName)
138
139 # Einladen der Picks der besten Pickerkonfigurationen
140 filepicksL2 = open('autopick/thold_5_BW(4,4,8)/picks-12.txt', 'r')
141 filepicksSAIC = open('autopick/0.5_3_BW(4,4,10)/picks-saic.txt', 'r')
142 filepicksSAICV = open('autopick/BW(4,3,10)/picks-saicv.txt', 'r')
143 fileFB = open('phasepapy/fb/2_4_0.8_std2f.txt', 'r')
144
145 # Pickzeiten einlesen
146 picksL2 = read_pick_times(filepicksL2, 'L2')
147 picksSAIC = read_pick_times(filepicksSAIC, 'S-AIC')
148 picksSAICV = read_pick_times(filepicksSAICV, 'S-AIC-V')
149 picksFB = read_pick_times(fileFB)
150
151 # Einlesen der manuellen Pickzeiten
152 timeMan = []
153 picksMan = defaultdict(list)
154 filemanualPicks = open('all_manual.txt')
155 for line in filemanualPicks:
156     if line.strip() != '':
157         line = line.rstrip()
158         date = line[3] + ' ' + line[4]
159         time = datetime.datetime.strptime(date, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
160         plt.plot_date(time, 4, '|', color='black', markersize=100)
161         timeMan.append(time)
162         Id = line[0] # Pick-ID
163         evtID = line[7] # Ereignis-ID
164         station = line[1] # Station des Picks
165         phase = line[2] # Phase
166         dist = line[5] # Distanz des Picks
167         picksMan[Id].append(station)
168         picksMan[Id].append(time)
169         picksMan[Id].append(phase)
170         picksMan[Id].append(evtID)
171         picksMan[Id].append(float(dist))
172 filemanualPicks.close()
173
174 # Bestimmung der Suchfensterlaenger
175 maxTime = 1
176 minTime = -maxTime
177
178 # Vergleich der Picks
179 diffManL2, percL2 = comparision(picksMan, picksL2, minTime, maxTime, 'S-L2', '/distl2.png')
180 diffManSAIC, percSAIC = comparision(picksMan, picksSAIC, minTime, maxTime, 'S-AIC', '/distsaic.png')
181 diffManSAICV, percSAICV = comparision(picksMan, picksSAICV, minTime, maxTime, 'S-AIC-V', '/distsaicv.png')
182 diffManFB = comparisionFB(picksMan, picksFB, minTime, maxTime, 'FB', '/distfb.png')
183
184 # Histogram Plots
185 histManFig = plt.figure('HistMan', figsize=figsize)
186 diffsMan = [diffManL2.values(), diffManSAIC.values(), diffManSAICV.values(), diffManFB.values()]
187 plt.hist(diffsMan, 9, range=(minTime - 0.125, maxTime + 0.125),
188         label=('S-L2', 'S-AIC', 'S-AIC-V', 'FB'),
189         color=('black', 'lightgrey', 'whitesmoke', 'grey'))
190 plt.title('Verteilung der Pickzeitdifferenzen')
191 plt.xlabel(r' $\Delta$  t [s]')
192 plt.ylabel('Anzahl der Picks')
193 plt.xlim(xmin=-1.125, xmax=1.125)
194 plt.gca().set_position([0.1, 0.1, 0.87, 0.81])
195 plt.legend(loc='best')
196 histManFig.savefig('../work/bsc/bachelorarbeit/pics/chile/hist_sc3.png')
197
198 comp_plot(diffManL2, diffManSAIC, 'S-L2', 'S-AIC', '/12saic.png')
199 comp_plot(diffManL2, diffManSAICV, 'S-L2', 'S-AIC-V', '/12saicv.png')
200 comp_plot(diffManSAIC, diffManSAICV, 'S-AIC', 'S-AIC-V', '/saicsaicv.png')

```