

Audio-Forensik

Eine Einführung

von Christoph Brückmann

IT- und Medienforensik
Fachbereich Informatik und Medien
Studiengang Informatik (Master)
2. Semester

July 14, 2010

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Begriff	1
1.2	Herkunft	1
1.3	Anwendungsbereiche	2
1.4	Verwendbarkeit vor Gericht	2
1.5	Probleme	3
2	Audioforensische Verfahren	5
2.1	Stimmenerkennung (Voice identification)	5
2.2	Geräuscherkennung (Sound identification)	5
2.3	Geräuscherkennungsanalyse (Audibility analysis)	6
2.4	Verbesserungsverfahren	6
2.4.1	Verbesserung der Hörbarkeit (Listenability enhancement)	6
2.4.2	Verbesserung der Sprachverständlichkeit (Intelligibility enhancement)	7
2.5	Echtheitsanalyse (Authenticity analysis)	7
2.6	Ereignis-Sequenz-Analyse (Event sequence analysis)	8
2.7	Dialog-Entschlüsselung (Dialogue decoding)	8
2.8	Analyse weiterer akustischer Signale	8
3	Filter	9
3.1	Allgemeines	9
3.2	Single Channel Adaptive Filter	9
3.3	Lattice Filter	10
3.4	Cross Channel Adaptive Filter	10
3.5	Band Adaptive Filter	10
3.6	Kombinationen	11
3.7	Spektrographische Verfahren	11
4	Echtheit digitaler Signale	12
5	Metadaten	14
6	Programme	15
7	Fazit	16

1 Einführung

1.1 Begriff

Der Begriff “*Forensik*” bezeichnet die Anwendung von wissenschaftlichen und technologischen Erkenntnissen, mit dem Ziel Fakten für straf- und zivilgerichtliche Verfahren zu ermitteln und zu überprüfen.

Der Begriff “*Audio-Forensik*” bezeichnet die Anwendung von wissenschaftlichen und technologischen Erkenntnissen auf Audiosignale, mit dem Ziel Fakten für straf- und zivilgerichtliche Verfahren zu ermitteln und zu überprüfen. (vgl. [Wik10a])

1.2 Herkunft

Die ersten audioforensischen Verfahren wurden mit der Entwicklung des Spektrogramms angewandt. Das Spektrogramm wurde von den “Bell Telephone Laboratory” (heute “Bell Laboratory”) entwickelt.

Eine der ersten Anwendungen erfuhr die Audio-Forensik während des zweiten Weltkrieges, damals versuchten Wissenschaftler anhand von spektrografischen Analysen die Stimmen gegnerischer Befehlshaber zu identifizieren.

Spektrogramme geben die Darstellung des zeitlichen Verlaufes des Frequenzspektrums eines Signals wieder. Ein Spektrogramm welches ein Audiosignal darstellt wird auch als Sonagramm bezeichnet (Sona lat. Schall). (vgl. [Wik10a], [Tal06])



Figure 1.1: Sonogramm (Quelle: [Rhe10])

1.3 Anwendungsbereiche

Es gibt zahlreiche Anwendungsbereiche für die Audio-Forensik. Dazu gehören in der Strafverfolgung zum Beispiel die Analyse von Audiomaterial aus:

- Telefongesprächen
- Verhören
- Verdeckten Ermittlungen

Im Zivilgericht wird die Audioforensik, sofern Audioquellen vorhanden sind, mancherorts auch zur Rekonstruktion von Unfällen eingesetzt. (vgl. [Sey06])

1.4 Verwendbarkeit vor Gericht

Die gerichtliche Verwertbarkeit von, durch audioforensischen Verfahren ermittelten, Fakten wird weltweit unterschiedlich gehandhabt.

Man kann im Allgemeinen sagen, dass diese Beweise zugelassen sind, wenn sie gut zu verstehen sind und den gesetzlichen Rahmenbedingungen des jeweiligen Landes entsprechen.

Die Audioforensik wird vor Gericht beispielsweise dazu angewandt Abschriften von Aufnahmen zu unterstützen. Durch das Entfernen von Störsignalen und das Verbessern der Sprachverständlichkeit können die abschreibenden Personen entlastet werden. Abschriften aufbereiteter Signale führen weniger schnell zur Ermüdung der Abschreibenden und Fehler werden durch die bessere Verständlichkeit reduziert.

Ein anderes Anwendungsfeld ist die Aufarbeitung von Audiosignalen zur Präsentation im Gerichtssaal.

1 Einführung

Für die gerichtliche Verwertbarkeit, so sie zugelassen ist, ist es wichtig, dass bei der Aufarbeitung immer nur auf Kopien der Originalaufnahmen gearbeitet wird. Jeder audioforensische Schritt, welcher auf die Aufnahme angewendet wird, muss genau dokumentiert werden. Es muss reproduzierbar sein, wie es zu dem Ergebnis (aufgearbeitete Aufnahme) gekommen ist, um sicher stellen zu können, dass die Aufnahme nicht manipuliert wurde. (vgl. [Vie10], [Sey06])

1.5 Probleme

Gerade bei Aufnahmen aus verdeckten Ermittlungen oder auch bei Telefonaufnahmen gibt es oft Schwierigkeiten für Strafverfahren geeignete Aufnahmen zu erhalten.

Im Falle von verdeckten Ermittlungen werden beispielsweise sehr kleine und leistungsschwache Mikrofone am Körper getragen, welche sehr anfällig auf Störungen sind. So kann man sich beispielweise vorstellen, dass die Reibung der Kleidung, welche mit aufgenommen wird schon ein Problem darstellt.

Ähnlich ist es bei in Wohnungen von Verdächtigen versteckten Aufnahmegeräten (Wanzen). Sind diese einmal angebracht gibt es meist keine weitere Möglichkeit die Aufnahmegeräte neu zu justieren oder auszutauschen. Daher sind diese Geräte nach dem Anbringen ihrer Umwelt ausgeliefert.

Typische Orte für verdeckte Aufnahmen sind:

- die Wohnung
- der Arbeitsplatz oder
- das Fahrzeug

1 Einführung

An diesen Orten gibt es zahlreiche Störquellen, welche die Verwertbarkeit von Aufnahmen beeinträchtigen. Beispiele für Störungen sind:

- Klimaanlage oder Haushaltsgeräte
- Wind und Regen
- Fahrzeuge, Flugzeuge oder Maschinen
- Unterhaltungen im Hintergrund, Radio, Fernsehen oder Live Musik
- Brummen und/oder Summen von Beleuchtungs- oder anderen Einrichtungen
- Beeinträchtigungen durch Übertragen (beispielsweise bei Mobilfunkgeräten)
- Nachhall oder Reflexion
- Defekte Mikrofone/Aufnahmegeräte (mediumbedingtes Rauschen)

Um Störungen aus Aufnahmen zu entfernen oder Sprach- und Tonqualität zu verbessern gibt es diverse audioforensische Verfahren. Im Folgenden sollen einige dieser Verfahren vorgestellt werden. (vgl. [Sey06])

2 Audioforensische Verfahren

2.1 Stimmenerkennung (Voice identification)

Bei der Stimmenerkennung handelt es sich um ein audioforensisches Verfahren, welches mit Hilfe von Referenzmaterial (z.B. Archivmaterial) versucht Stimmen zu Personen zuzuordnen. Meist wird die bekannte Aufnahme eines Verdächtigen mit einer anderen Aufnahme verglichen um festzustellen, ob es sich um die selbe Person handelt.

Da jeder Stimme ihre eigene phonetische Charakteristik besitzt wird dabei auf eine Reihe von Sprachkriterien geachtet. Dabei handelt es sich beispielsweise um

- die Bandweite
- die Frequenz
- den Satzrhythmus
- die Reibelaute
- das Atemmuster
- oder spezielle Sprechangewohnheiten.

Die Stimmenerkennung wird mit Hilfe der Sonographie und computergestützten Analysen durchgeführt. (vgl. [Tal06])

2.2 Geräuscherkennung (Sound identification)

Als Pendant zur Stimmerkennung kann man die Geräuscherkennung sehen, welche sich desselben Analyseverfahrens bedient. Hier werden bekannte Töne mit den Tönen aus Aufnahmen verglichen um diese Töne zu identifizieren.

Bei der Geräuscherkennung kommt es gelegentlich vor, dass es sich bei einem Geräusch um kein reales Geräusch, sondern um Störartefakte bedingt durch das Aufnahmegerät oder andere externe Quellen handelt. (vgl. [Tal06])

2.3 Geräuscherkennungsanalyse (Audibility analysis)

Ähnlich wie die Geräuscherkennung ist auch die Geräuscherkennungsanalyse. Geräusche werden hier jedoch nicht mit anderen Geräuschen verglichen, sondern so rekonstruiert, dass man sie Personen wiedergeben kann. Bei den Personen kann es sich beispielsweise um Zeugen oder Sachverständige handeln, welche die aufgearbeiteten Geräusche identifizieren können. (vgl. [Tal06])

2.4 Verbesserungsverfahren

2.4.1 Verbesserung der Hörbarkeit (Listenability enhancement)

Zur Verbesserung der Hörbarkeit kommen verschiedene Filter und Verfahren zum Einsatz, von denen Einige im Folgenden (Kapitel 3 auf Seite 9) vorgestellt werden. Zur Anwendung kommen hier zum Beispiel

- die Entzerrung
- die Kompression
- und das Erhöhen oder Senken der Amplitude.



Figure 2.1: Verbesserung der Hörbarkeit (Quelle: [Tal06])

2.4.2 Verbesserung der Sprachverständlichkeit (Intelligibility enhancement)

Um die Sprachverständlichkeit zu verbessern bedarf es aufwendigerer Verfahren. Dazu zählen komplexe Filter und Verfahren wie

- die spektrografische Analyse
- die komplexe Entfaltungs-Filerung
- Bandbreiten- und Multibandkompression
- oder auch das Erhöhen und Senken der Amplitude.

Die Anwendung der Verbesserung der Sprachverständlichkeit kann (wie in Abbildung 2.2) auf stark verrauschte Signale angewendet werden. Bei dieser Anwendung kommt es gelegentlich zur Enthüllung verborgener Audioereignisse. (vgl. [Tal06])



Figure 2.2: Verbesserung der Sprachverständlichkeit (Quelle: [Tal06])

2.5 Echtheitsanalyse (Authenticity analysis)

Das Ziel der Echtheitsanalyse (Authentizität) ist es zu ermitteln ob es sich bei einem vorliegendem Audiosignal um eine Aufnahme handelt, welche weder gefälscht ist, noch manipuliert wurde. Die Echtheit einer Aufnahme wird auf verschiedene Weisen ermittelt, je nach dem ob sie auf einem analogen oder einem digitalen Speichermedium aufgezeichnet wurde.

Bei analogen Aufnahmen ist eine physische Analyse des Speichermediums (zum Beispiel Magnetband) möglich. So kann man beispielsweise durch visuelle Inspektion feststellen, ob eine Aufnahme an gewissen Stellen gestoppt, pausiert, gelöscht oder überspielt wurde. Andere Analysemethoden für die Echtheit sind Höranalyse, Frequenzanalyse,

Amplituden und Formant-Struktur-Analyse. Diese Methoden sind auch auf digitale Aufnahme anwendbar. Eine Methode, welche die Echtheit bestimmter digitaler Signale verifiziert, ist die Überprüfung des Netzfrequenzrauschens auf einer Aufnahme. Auf dieses Analyseverfahren wird später noch ausführlicher eingegangen. (Kapitel 4 auf Seite 12) (vgl. [Tal06])

2.6 Ereignis-Sequenz-Analyse (Event sequence analysis)

Mit der Ereignis-Sequenz-Analyse lässt sich ebenso die Echtheit einer Aufnahme feststellen. Ein weiteres wichtiges Indiz dafür ob eine Aufnahme echt ist oder nicht ist das Übereinstimmen von Uhrzeit und Herkunft von Audiosignalen mit tatsächlich aufgetretenen akustischen Ereignissen. Stimmt eine Aufnahme mit anderen Aufnahmen oder Zeugenaussagen über den Tathergang nicht überein, so könnte sie gefälscht sein. Natürlich dient sie Ereignis-Sequenz-Analyse von als echt erwiesenen Aufzeichnungen auch der Ermittlung des Tathergangs. (vgl. [Tal06])

2.7 Dialog-Entschlüsselung (Dialogue decoding)

Die Dialog-Entschlüsselung dient der Ermittlung dessen, was auf einer Aufnahme gesagt wurde. Dabei wird versucht den Inhalt undeutlicher Sprachaufzeichnungen zu rekonstruieren. Dies geschieht anhand von Stimmen- und Sprachmustern.

Jede Sprache und jeder Sprecher hat in einer Aufnahme eine eigene phonetische Charakteristik. Mit Hilfe von Sonogrammen kann man die Charakteristik analysieren. Man kann beispielsweise bestimmte Formante (prägnante Laute einer Sprache) oder Formantsequenzen bestimmten Worten einer Sprache zuordnen und damit Sätze wiederherstellen.

Die Dialog-Entschlüsselung wird aufgrund ihrer Komplexität und den erforderlichen Kenntnissen eher den Sprachwissenschaften zugeordnet. (vgl. [Tal06])

2.8 Analyse weiterer akustischer Signale

Es kann auch von Interesse sein, weitere Schallereignisse in Aufnahmen zu erkennen. Dazu gehören beispielsweise Gespräche im Hintergrund, Schüsse, Hall oder Maschinengeräusche. Auch zum Erkennen und finden solcher Geräusche werden audioforensische Verfahren angewandt. (vgl. [Tal06])

3 Filter

3.1 Allgemeines

Der Einsatz konventioneller Filter aus der Rundfunkübertragung oder CD/DVD-Wiedergabe sind für den Einsatz in der Audio-Forensik meist ungeeignet, da diese Filter vordergründig die Gefälligkeit und nicht die Verständlichkeit steigern sollen.

Es gibt statische Filter, welche dazu geeignet sind in Aufnahmen statische Störgeräusche von Sprache und Tönen zu trennen.

Bei komplexeren oder stark variierenden Störspektren kommen oft adaptive Filter zum Einsatz. Diese meist digitalen Filter sind in ihrer Filterfunktion nicht starr, sondern in der Lage sich durch komplexe Filteralgorithmen an Geräuschvariationen anzupassen. (vgl. [Sey06], [Wik10a])

3.2 Single Channel Adaptive Filter

Dieser Filter ist dazu gedacht gleichförmige, wiederholende, niederfrequente oder vorhersehbare Audiokomponenten von veränderlichen Komponenten (wie beispielsweise Sprache) zu trennen.

Am besten arbeitet dieser Filter bei

- Motorengeräuschen
- Brummen
- Windgeräuschen
- niederfrequenter Hintergrundsprache (zum Beispiel auf öffentlichen Plätzen)
- Hall und Reflexion von Aufnahmen mit harten Wänden

(vgl. [Sey06])

3.3 Lattice Filter

Der Lattice Filter dient dazu bestimmte Sprachelemente wie Reibelauten oder Konsonanten zu verstärken. Mit ihm ist eine bessere Erkennung verschwindender oder erscheinender Töne möglich als beim vorangegangenen Filter.

Lattice entfernt Störgeräusche besonders dann gut, wenn diese schnell und stark schwanken.

Problematisch an diesem Filter ist, dass er jedoch auch den tonalen Gehalt der Sprache beschädigt. Daher muss der Filter gezielt und mit Bedacht angewandt werden. (vgl. [Sey06])

3.4 Cross Channel Adaptive Filter

Der Cross Channel Adaptive Filter dient speziell dem Entfernen von Geräuschen, zu welchen Referenzgeräusche vorhanden sind. Dies können beispielsweise Musikaufnahmen und Radio- oder Fernsehübertragungen sein.

Ein gutes Anwendungsbeispiel ist eine Aufnahme, bei der ein Verdächtiger die Musik in seiner Wohnung bewusst laut stellt, um dadurch vor Abhörmaßnahmen geschützte Gespräche zu führen. Da Musik meist als Referenzsignal vorliegt, kann man diese mittels Cross Channel Adaptive Filter gut herausfiltern und anschließend das Gespräch hören. (vgl. [Sey06])

3.5 Band Adaptive Filter

Bei diesem Filter handelt es sich um die adaptive Variante von Hoch-, Tief- oder Bandpass beziehungsweise Bandsperre. Er dient zum herausfiltern bestimmter Frequenzen einer Aufnahme. (vgl. [Sey06])

3.6 Kombinationen

Es ist üblich adaptive Filter miteinander zu kombinieren. Ebenso ist es sinnvoll adaptive Filter gemeinsam mit einfachen Filtern oder anderen Signalverarbeitungsverfahren einzusetzen.

Geräusche wie Knistern, Knattern, Knacksen oder Rumpeln werden durch adaptive Filter nicht entfernt, sie werden teilweise sogar verstärkt. Das Vorschalten von Komponenten wie Begrenzer oder Kompressor reduziert den Einfluss von diesen plötzlichen und lauten Störgeräuschen. Ein anderes Anwendungsgebiet ist der Einsatz von Equalizern oder Algorithmen zur Rauschreduktion nach der Anwendung von adaptiven Filtern, falls die Sprache in einer Aufzeichnung "dünn" klingen sollte. (vgl. [Sey06])

3.7 Spektrographische Verfahren

Die vorgestellten digitale Filtersysteme ermöglichen das Herausfiltern vieler Störungen oder verbessern der Sprachqualität. Mittels spektrographische Verfahren ist es möglich Worte oder Töne sogar zu identifizieren.

Identifizierte Aufnahmekomponenten können entnommen, bearbeitet oder verstärkt werden.

Spektrographische Verfahren können jedoch auch genutzt werden, um Aufnahmen zu manipulieren und damit Beweise zu fälschen. Im nächsten Abschnitt wird ein spezielles Verfahren vorgestellt, welches benutzt werden kann um Fälschungen zu erkennen. (vgl. [Sey06])

4 Echtheit digitaler Signale

Die Echtheit (Authentizität) einer digitalen Aufnahme kann durch bereits erwähnte Analysemethoden wie

- Höranalyse
- Frequenz- und Amplitudenanalyse
- Formant-Struktur-Analyse
- Ereignis-Sequenz-Analyse (Abschnitt 2.6 auf Seite 8)

verifiziert werden.

Eine weitere Methode zur Echtheitsanalyse digitaler Aufnahmen ist die Analyse des Netzfrequenzrauschens (Electrical network frequency (ENF) analysis).

Die Netzfrequenz der Stromleitungen beträgt (wie in Abbildung 4.1 erkennbar) in Europa ungefähr 50 Hz, in Nordamerika etwa 60 Hz.

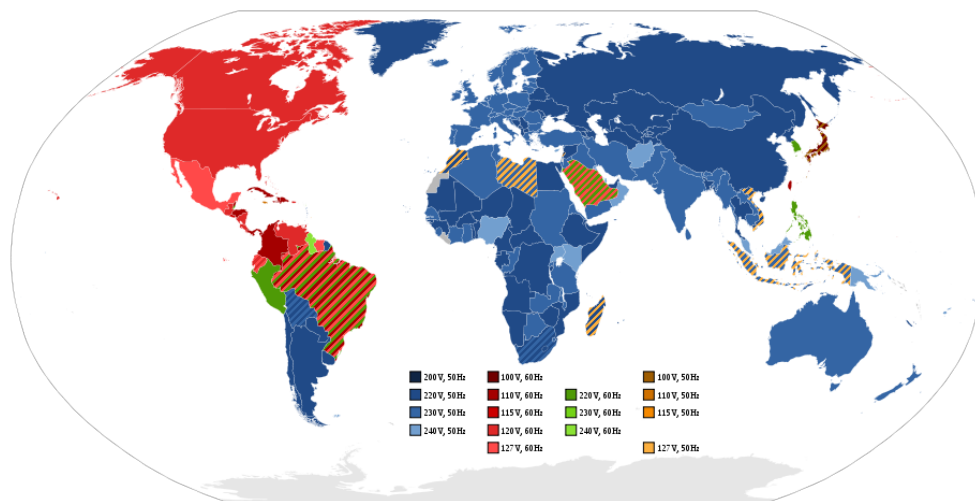
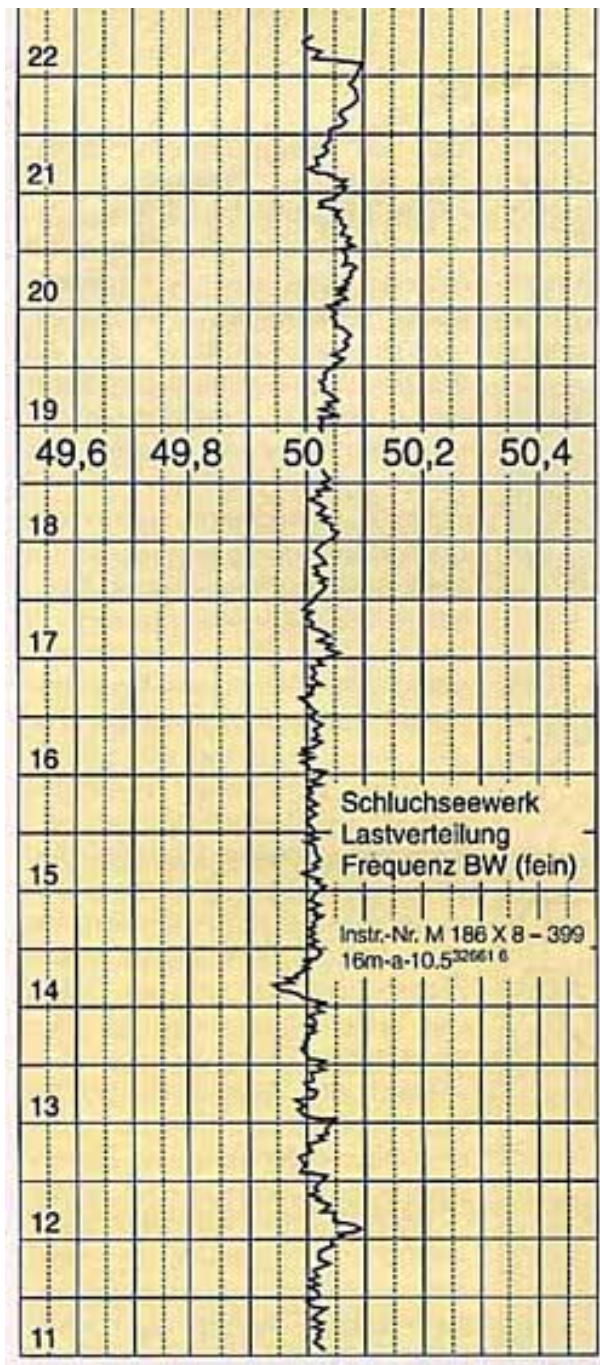


Figure 4.1: Übersicht der Netzfrequenzen (rot und grün 60 Hz, Rest 50 Hz) und Netzspannungen (Quelle: [Wik10b])



Diese Frequenz schwankt je nach Region um bis zu 1 Hertz. Diese Schwankungen verursachen ein Rauschen auf an das Stromnetz angeschlossene Aufnahmegeräte, welches man mit speziellen Filterungsverfahren ermitteln kann. Diese dazugehörigen Frequenzschwankungen werden von Netzbetreibern aufgezeichnet (siehe Abbildung 4.2).

Vergleicht man die Aufzeichnungen der Frequenzschwankungen der Netzbetreiber und des Frequenzrauschens der Aufzeichnungen kann festgestellt werden, ob angegebene Orte und Uhrzeiten zu Aufnahmen passen. Damit kann sichergestellt werden, dass Aufnahmen echt sind und nicht manipuliert wurden. (vgl. [Mah09], [Wik10b])

Figure 4.2: Frequenzschwankungen (Quelle: [Leu])

5 Metadaten

Moderne Audioformate besitzen Metadaten, welche diese Audiodateien beschreiben. Typische Informationen welche in Metadaten abgelegt werden sind:

- Titel
- Interpret
- Album
- Erscheinungsjahr
- vieles Weiteres

Metadaten werden von Abspielgeräten (beispielsweise CD- oder MP3-Player) oder -software (Player auf dem PC wie beispielsweise “Windows Media Player”¹ oder “VLC media player”²) ausgelesen und dem Benutzer angezeigt.

Metadatum	Audioformate	Entwickler	Beschreibung
ID3	MP3	ISO/IEC	Am Dateianfang oder -ende angefügt
ASF	WMA	Microsoft	Container für Medienformate
MP4	ACC, MP3	ISO	Container für Medienformate
Ogg / Vorbis comments	Vorbis, FLAC, Speex	Xiph.Org Foundation	Container für Medienformate

Table 5.1: Bekannte Audioformate

Interessant für die Audioforensik sind Metadaten, da man in ihnen Text- oder Bildinformationen verbergen kann. Die Metadaten in Audiodateien können mittels Metadateneditoren verändert werden, die meisten Abspielanwendungen für PCs enthalten bereits solche Editoren. So kann man mit dem Austausch von scheinbar gewöhnlichen Audiodateien Informationen austauschen. (vgl. [Wik10a], [TC07])

¹<http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/de/player/11/default.aspx>

²<http://www.videolan.org/vlc/>

6 Programme

Es gibt diverse Programme, welche für die Bearbeitung von digitalen Audiosignalen geeignet sind und Werkzeuge und Filter für audioforensische Analysen enthalten. Jedoch haben nur wenige Audibearbeitungsprogramme eine ausreichende Palette an Funktionen für die Audio-Forensik.

Nützliche Audibearbeitungsprogramme mit einem großen Funktionsumfang für die Audio-Forensik sind beispielsweise *“Adobe Audition”*¹ und *“Audacity”*². *“Adobe Audition”* und *“Audacity”* sind Audibearbeitungsprogramme, welche allerdings keinen Fokus auf den Bereich der Audioforensik gelegt haben. Sie verfügen jedoch über zahlreiche Funktionalitäten zur Wiederherstellung und Bearbeitung von Audiosignalen. Die kostenfreie Open-Source Anwendung *“Audacity”* ist zudem Quelloffen. Das bedeutet, dass alle auf ein Audiosignal eingesetzten Filter in ihrer Funktion überprüfbar sind. Ein weiterer Vorteil, welcher sich aus der Eigenschaft der Quelloffenheit ergibt ist die Tatsache, dass durch die Audacity-Community immer wieder neue PlugIns für *“Audacity”* entwickelt werden und sich damit der ursprünglich schmale Funktionsumfang steigert und das Programm mit den richtigen PlugIns auch im Bereich der Audio-Forensik an Mächtigkeit gewinnt.

Programme welche speziell für die Audioforensik entwickelt wurden sind beispielsweise *“DAC QuickEnhance/AS”*³ und *“DC LIVE/Forensics”*⁴. *“DC LIVE/Forensics”* bezeichnet sich selbst als das weltweit bekannteste Werkzeug zur Wiederherstellung von Audiosignalen. Es hat einen großen Funktionsumfang, der zudem noch über PlugIns erweitert werden kann.

¹<http://www.adobe.com/products/audition/>

²<http://www.audacity.sourceforge.net/?lang=de>

³<http://www.oceansystems.com/detective/dac>

⁴http://www.enhancedaudio.com/dc_live.htm

7 Fazit

Es gibt diverse Verfahren, um Audiosignale für eine gerichtliche Verwertung aufzuarbeiten. Leider sind einige der selben Verfahren auch dazu geeignet Audiosignale zu manipulieren und damit Beweise zu fälschen. Für eine Gerichtsverhandlung wichtige Informationen können aus Aufnahmen entfernt oder so verändert werden, dass sie den Verdacht auf andere Personen lenken.

Verfahren zur Echtheitsanalyse von Aufnahmen sind nicht auf jede Aufnahme anwendbar und geschickte Fälschungen können unter Umständen nicht erkannt werden. Es ist somit nicht verwunderlich, dass die Verwendung von, durch audioforensische Verfahren ermittelten, Beweisen kritisch gesehen wird und vor Gericht nicht immer verwertbar ist.

Quellen

- [Leu] LEUSCHNER, U.: ENERGIE-WISSEN – Netzfrequenz. <http://www.udoleuschner.de/basiswissen/SB124-04.htm>, abgerufen am 13.06.2010
- [Mah09] MAHER, Robert C.: Audio Forensic Examination. *IEEE Xplore*, http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4806208, abgerufen am 11.06.2010 (2009)
- [Rhe10] RHEINISCHE FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT BONN: Sonagramm. <http://www.ikp.uni-bonn.de/Bilder/audio/sona.gif>, abgerufen am 11.06.2010 (2010)
- [Sey06] SEYFERT, Uwe und REID, Gordon: Einführung in audioforensische Untersuchungen. *TONMEISTERTAGUNG – VDT INTERNATIONAL CONVENTION, Einführung in audioforensische Untersuchungen*, abgerufen am 11.06.2010 (2006)
- [Tal06] TALIB, M.: Introduction to Audio Forensics – 8th MyCERT SIG 25/04/2006. http://www.mycert.org.my/mycert-sig/mycert-sig-08/slides/audio_forensics_audio.pdf, abgerufen am 07.06.2010 (2006)
- [TC07] TYLER COHEN, Amber Schroader: *Alternate Data Storage Forensics*, Syngress Publishing Inc., Elsevier Inc., Burlington, MA, USA (2007)
- [Vie10] VIELHAUER, Claus und CREUTZBURG, Reiner: IT- und Medienforensik. *Fachhochschule Brandenburg* (2010)
- [Wik10a] WIKIMEDIA FOUNDATION INC.: Wikipedia Deutschland. <http://de.wikipedia.org/>, abgerufen am 11.-13.06.2010 (2010)
- [Wik10b] WIKIMEDIA FOUNDATION INC.: Wikipedia Deutschland - Netzfrequenz. <http://de.wikipedia.org/wiki/Netzfrequenz>, abgerufen am 13.06.2010 (2010)