

B4. Toneinbindung und Tonbearbeitung in Java

- B4.1 Java Sound API im Überblick
- B4.2 Pipelines zur Audio-Verarbeitung
- B4.3 Bearbeitung von Audio-Samples
- B4.4 Umgang mit MIDI-Daten



Literatur:

<http://java.sun.com/products/java-media/sound/>

<http://www.jsresources.org>

Java Sound API

- "Low-level" API
 - zur Steuerung der Ein- und Ausgabe von Tonmedien
 - umfasst Funktionen für digitale Audioinformation und für MIDI-Daten
 - erweiterbare Basis, keine ausgefeilten Editor-Funktionen o.ä.
- Verwandte Java-Technologien:
 - Java Media Framework (JMF)
 - » auf höherer Ebene angesiedelt
 - » einfachere Lösung für Abspielen von Tonmedien
 - » Synchronisation mit anderen Medien (v.a. Video)
- Pakete des Java Sound APIs (in Standard-Java-Installation enthalten):
 - `javax.sound.sampled`
 - `javax.sound.midi`

Entwicklung der Sound-Unterstützung in Java

- Java 1.0 und 1.1:
 - sehr einfache Unterstützung durch die Schnittstelle `java.applet.audioclip`
- Java 2-Plattform (ab 1.2)
 - Java Sound seit Version 1.3 (noch nicht in 1.2)
 - Nur Fehlerkorrektur in Java 1.4 und 1.5

Klassifikation von digitaler Audioverarbeitung

- Entstehungsprozess des Materials
 - Weiterverarbeitung von ursprünglich analogem Tonmaterial (*sampled*)
 - Digitale Erzeugung von Musik (*MIDI*)
- Zeitlicher Verlauf
 - Realzeit-Behandlung:
 - » Weitersenden empfangener Information in kurzer Zeit, ungefähr mit der gleichen Rate wie Daten empfangen werden (*online*)
 - » Operationen werden beendet, bevor alle Daten bekannt sind
 - Speicher-basierte Behandlung:
 - » Laden der gesamten Information (evtl. stufenweise) in den Computerspeicher
 - » Operationen werden erst begonnen, wenn alle Daten bekannt sind (*offline*)

Digitales Audio in Java Sound

- Hauptfokus in `javax.sound.sampled`:
 - Transport von Audiodaten (Aufnahme und Wiedergabe)
 - Verwaltung von Puffern
 - Mischen von Daten
 - Steuerung: Start, Anhalten, Aussetzen
- Prinzipiell mit der Schnittstelle möglich:
 - Direkte Bearbeitung von Sample-Information (z.B. selbstgeschriebene Synthesizer- und Filter-Funktionen)
- Default-Implementierung eingeschränkt in Funktionalität:
 - z.B. Einlesen von WAV-Dateien, aber nicht von MP3- oder MPEG4-AAC-Dateien
 - Funktionalität erweiterbar durch „Service Provider Interface“
 - » Plug-Ins mit zusätzlicher Codec-Funktionalität (teilweise) verfügbar

Audio-Formate

- Java Sound befasst sich mit formatierten Audio-Daten
- Ein Audio-Format wird durch ein Objekt der Klasse **AudioFormat** beschrieben und enthält die folgenden Angaben:
 - Codierungsverfahren (normalerweise Pulscode-Modulation (PCM))
 - » Zusammenhang zwischen Klangdruck und Signal:
(PCM/linear, μ -Gesetz, a-Gesetz)
 - » Bei PCM: Samplewerte mit/ohne Vorzeichen (*signed/unsigned*)
 - Anzahl von Kanälen (z.B. 2 für Stereo)
 - Abtastrate (samples/second)
 - Auflösung (bits/sample)
 - Paketgrösse (*frame size*) (bytes)
 - Paketrate (*frame rate*) (frames/s)
 - Byte-Lesereihenfolge (*byte order*) (big-endian/little-endian)
(Wo steht das höchstwertige Bit?)

AudioInputStream

- `javax.sound.sampled.AudioInputStream`
- Abgeleitet von der abstrakten Oberklasse `java.io.InputStream`
 - Byteweise lesbare Datenströme
 - `read()`, `skip()`, `close()`
 - `markSupported()`, `mark()`, `reset()`:
Springen zu markierter Position
- Methoden zum Öffnen einer Audiodatei:
`javax.sound.sampled.AudioSystem`
 - `AudioInputStream getAudioInputStream(File file)`
 - Es werden ggf. mehrere Parser für unterstützte Audio-Formate eingesetzt
 - Konversion von Streams in andere Formate möglich
- Ein `AudioInputStream` hat immer ein festgelegtes `AudioFormat`
 - Das Format wird z.B. beim Öffnen einer Audio-Datei festgelegt und im Streamobjekt gespeichert.
 - `AudioFormat getFormat()`

Beispiel: Öffnen einer Audio-Datei

```
import javax.sound.sampled.*;
...

public static void main(String[] args) {

    String strFilename = args[0];
    File soundFile = new File(strFilename);
    AudioInputStream audioInputStream = null;
    try {
        audioInputStream =
            AudioSystem.getAudioInputStream(soundFile);
    }
    catch (Exception e) {};
    AudioFormat audioFormat =
        audioInputStream.getFormat();
    System.out.println(audioFormat);
    ...
}
```


B4. Toneinbindung und Tonbearbeitung in Java

- B4.1 Java Sound API im Überblick
- B4.2 Pipelines zur Audio-Verarbeitung
- B4.3 Bearbeitung von Audio-Samples
- B4.4 Umgang mit MIDI-Daten



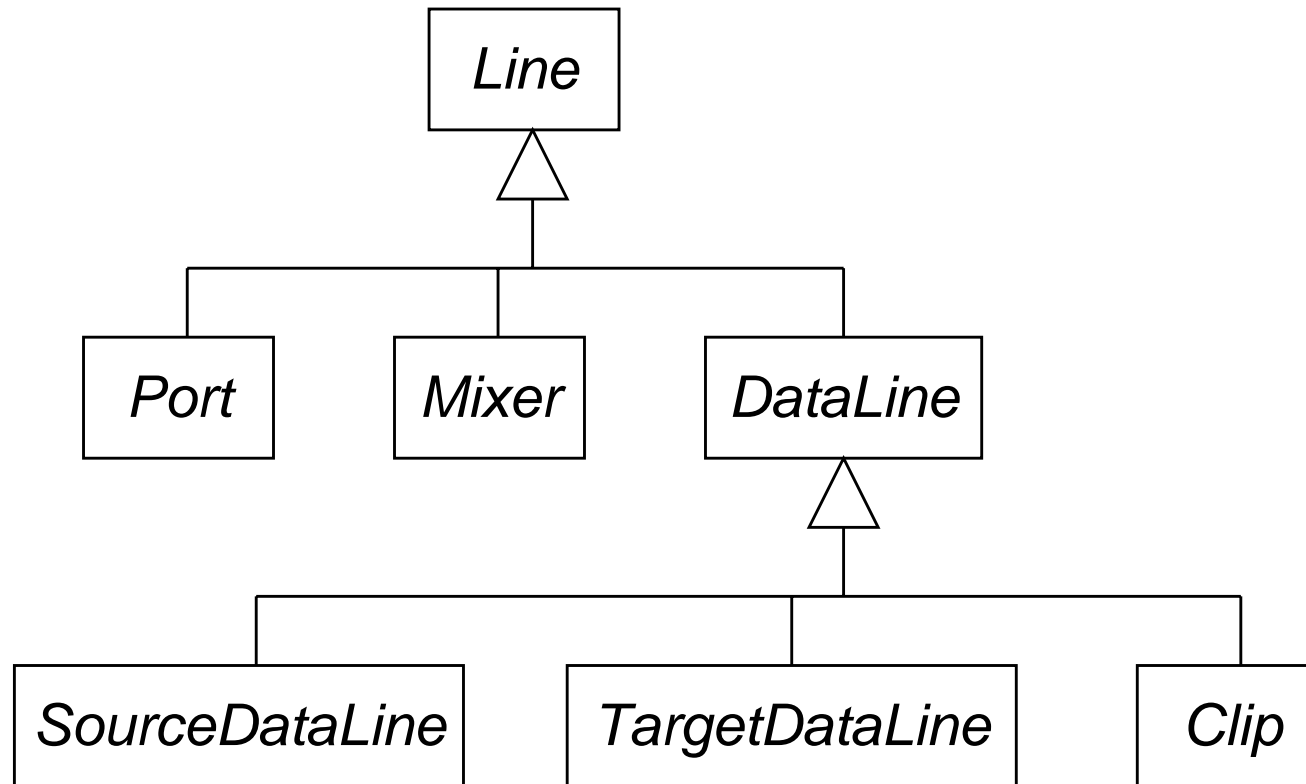
Literatur:

<http://java.sun.com/products/java-media/sound/>
<http://www.jsresources.org>
<http://www.tritonius.org>

Line, Port und Mixer

- Ein *Port* beschreibt einen Ein- oder Ausgang für einen Strom von Audio-Daten zu einem (virtuellen oder physikalischen) Gerät
- Eine *DataLine* beschreibt einen Datenstrom, der steuerbar ist (Start/Stop).
- Ein *Mixer* ist die Java-Sound-Abstraktion für alle tonverarbeitenden Komponenten mit Ein- und Ausgabeports
 - Kann einem realen physikalischen Gerät entsprechen oder rein in Software realisiert werden
 - Wichtiger Spezialfall eines Mixer-Objekts: Mischpult-Funktion
 - Anwendungsprogramme können Daten entweder auf Eingabe-Ports abliefern oder auf Ausgabeports abholen (streaming)
 - Alternativ können Daten für Eingabeports aus Dateien gelesen werden und für Ausgabeports in Dateien geschrieben werden (audio files)
- Das Konzept der *Line* verallgemeinert Ein- und Ausgabeports und Mixer zu beliebigen Bestandteilen einer "Audio-Pipeline"

Schnittstellen-Hierarchie für Audio-Pipelines



Gepufferte Wiedergabe
einer Audioquelle

Gepufferte Aufnahme
einer Audioquelle

Wiedergabe einer
Audioquelle, die
komplett in den Speicher
vorgeladen wird

Audio-Ressourcenverwaltung

- Typischerweise ist Audioverarbeitung an Systemressourcen gebunden
 - Installierte Geräte
 - Pufferspeicher in Systembereichen
- Erzeugung eines Line-Objekts ausschließlich über zentrale Verwaltung:
 - `javax.sound.sampled.AudioSystem`
- Anfragefunktionen, welche Ressourcen vorhanden sind
 - Es gibt immer einen Standard-Mixer, der auf das eingebaute Hardware-Audio-System abgebildet wird
- Erzeugung eines speziellen Line-Objekts
- Zur Beschreibung von Line-Objekten:
 - `javax.sound.sampled.Line.Info` mit Unterklassen:
 - » `DataLine.Info`, `Port.Info`
 - `javax.sound.sampled.Mixer.Info`

Beispiel: Abfrage der Audio-Systemressourcen

```
import javax.sound.sampled.*;

public class LineInfoQuery {

    public static void main (String[] args) {
        System.out.println("Mixers available:");
        Mixer.Info[] mixers = AudioSystem.getMixerInfo();
        for (int i = 0; i < mixers.length; i++) {
            System.out.println(mixers[i]);
        };
        System.out.println("System default mixer:");
        Mixer stdMixer = AudioSystem.getMixer(null);
        System.out.println(stdMixer.getMixerInfo());
        System.out.println("Supported source line types
            in default mixer:");
        Line.Info[] lineTypes = stdMixer.getSourceLineInfo();
        for (int i = 0; i < lineTypes.length; i++) {
            System.out.println(lineTypes[i]);
        }
        ...
    }
}
```

Erzeugung eines Line-Objekts

- Anfrage an `AudioSystem`, unter Angabe von `LineInfo`-Information für das gewünschte Line-Objekt
 - welcher Typ:
 - » `SourceDataLine` (Wiedergabe)
 - » `Clip` (wiederholte Wiedergabe)
 - » `TargetDataLine` (Aufnahme)
 - welches Audioformat

- Beispiel (Ausgabe von Audioinformation):

```
AudioFormat audioFormat =  
    audioInputStream.getFormat();  
  
DataLine.Info info = new DataLine.Info  
    (SourceDataLine.getClass(), audioFormat)  
  
AudioSystem.getLine(info);
```

Operationen zur Nutzung eines Line-Objekts

- Bisher nur die Verfügbarkeit des gewünschten Typs von `Line` geprüft.
- Nächste Schritte:
 - Reservierung der Ressource mit `open()`
 - » Reservieren des benötigten Pufferbereichs
 - » kann bei gleichzeitigen Anforderungen anderer Programme an Ressourcenmangel scheitern
 - » bei `SourceDataLine` Angabe eines Audioformats möglich
 - Bei `DataLine` (d.h. steuerbarem Strom):
 - » verschiedene Zustände:
 `running = true/false` (Übertragung ein/aus)
 - » Bei Erzeugung: `running = false`
 - » Starten durch `start()`

Die meisten folgenden Beispiele basieren auf www.jsresources.org !

Beispiel: Öffnen einer Audio-Line zur Wiedergabe

```
public static void main(String[] args) {
    String strFilename = args[0];
    File soundFile = new File(strFilename);
    AudioInputStream audioInputStream = null;
    try {
        audioInputStream =
            AudioSystem.getAudioInputStream(soundFile);
    }
    catch (Exception e) {};

    AudioFormat audioFormat = audioInputStream.getFormat();
    SourceDataLine line = null;
    DataLine.Info info =
        new DataLine.Info(SourceDataLine.class, audioFormat);
    try {
        line = (SourceDataLine) AudioSystem.getLine(info);
        line.open();
    }
    catch (Exception e) {};
    line.start();
    ...
}
```


Beispiel: Audiowiedergabe aus Datei

...

```
byte[] abData = new byte[EXTERNAL_BUFFER_SIZE]; //128k
```

```
int nBytesRead = 0;
```

```
while (nBytesRead != -1) {
```

```
    try {
```

```
        nBytesRead =
```

```
            audioInputStream.read(abData, 0, abData.length);
```

```
    }
```

```
    catch (Exception e) {};
```

```
    if (nBytesRead >= 0)
```

```
        line.write(abData, 0, nBytesRead);
```

```
    }
```

...

```
SourceDataLine.write()
```

Puffer

Startindex

Endindex

Beispiel: Aufnahmen von Audio-Daten (1)

```
public static void main(String[] args) {  
  
    String strFilename = args[0];  
    File outputFile = new File(strFilename);  
    AudioFormat audioFormat = new AudioFormat(  
        AudioFormat.Encoding.PCM_SIGNED, 44100.0F,  
        16, 2, 4, 44100.0F, false);  
    DataLine.Info info = new DataLine.Info(  
        TargetDataLine.class, audioFormat);  
    TargetDataLine targetDataLine = null;  
    try {  
        targetDataLine =  
            (TargetDataLine) AudioSystem.getLine(info);  
        targetDataLine.open(audioFormat);  
    }  
    catch (Exception e) {}  
    AudioFileFormat.Type targetType =  
        AudioFileFormat.Type.WAVE;  
    ...  
}
```

Beispiel: Aufnahmen von Audio-Daten (2)

```
...
SimpleAudioRecorder1 recorder = new SimpleAudioRecorder1(
    targetDataLine, targetType, outputFile);
System.out.println(
    "Press ENTER to start the recording.");
try {
    System.in.read();
}
catch (Exception e) {}
recorder.start();
System.out.println("Recording...");
System.out.println("Press ENTER to stop the recording.");
try {
    System.in.read();
}
catch (Exception e) {}
recorder.stopRecording();
System.out.println("Recording stopped.");
System.exit(0);
}
```

Nebenläufigkeit in Java: Threads

- Häufig laufen in der Medientechnik mehrere Verarbeitungsketten nebeneinander ab
 - Beispiel: Aufnahme eines Audiosignals || Warten auf Ende-Befehl
- Java-Threads:
 - "leichtgewichtige Prozesse" – innerhalb eines Betriebssystemprozesses
 - Jeder Thread implementiert die Schnittstelle `java.lang.Runnable`
 - Einzige Methode in `Runnable`:
`public void run()`
 - Standard-Implementierung von `Runnable`:
`java.lang.Thread implements Runnable`
 - Starten eines Threads - d.h. der `run()`-Methode:
`t.start()`

Beispiel: Ein nebenläufiger Java-Audio-Recorder

```
public class SimpleAudioRecorder1 extends Thread {
    private TargetDataLine          m_line;
    private AudioFileFormat.Type    m_targetType;
    private AudioInputStream        m_audioInputStream;
    private File                    m_outputFile;

    public SimpleAudioRecorder1(TargetDataLine line,
        AudioFileFormat.Type targetType, File file) {
        m_line = line;
        m_audioInputStream = new AudioInputStream(line);
        m_targetType = targetType;
        m_outputFile = file;
    }
    ...
    public void run() {
        try {
            AudioSystem.write(
                m_audioInputStream, m_targetType, m_outputFile);
        }
        catch (Exception e) {}
    }
    ...
}
```

Starten und Anhalten der Aufnahme

```
public class SimpleAudioRecorder1 extends Thread {  
    private TargetDataLine          m_line;  
    private AudioFileFormat.Type    m_targetType;  
    private AudioInputStream        m_audioInputStream;  
    private File                    m_outputFile;  
  
    ...  
  
    public void start() {  
        m_line.start(); // Startet die Aufnahme im Audio-System  
                        // (TargetDataLine)  
        super.start(); // Startet den Datentransfer-Thread  
                       // d.h. self.run()  
    }  
  
    public void stopRecording() {  
        m_line.stop();  
        m_line.close();  
    }  
}
```

Grundkonzepte der Audio-Verarbeitung

- Hardware und systemnahe Software einbinden
 - Aufrufe an Verwaltungsobjekte (wie AudioSystem)
- Generische Architektur
 - Durch Programmcode “steckbare” Bausteine
 - “Pipes and Filters”-Muster = Pipeline-Architektur
- Nebenläufigkeit und Echtzeitbehandlung sind unerlässlich
- Datenstruktur Puffer
 - Letztlich ist der Sound ein Byte-Array...

B4. Toneinbindung und Tonbearbeitung in Java

- B4.1 Java Sound API im Überblick
- B4.2 Pipelines zur Audio-Verarbeitung
- B4.3 Bearbeitung von Audio-Samples
- B4.4 Umgang mit MIDI-Daten



Literatur:

<http://java.sun.com/products/java-media/sound/>
<http://www.jsresources.org>

Beispiel: Direkte Bearbeitung von Samples

```
public class SineOscillator extends AudioInputStream {
    public SineOscillator
        (float fSignalFrequency, float fAmplitude,
         AudioFormat audioFormat, long lLength) {
        super(new ByteArrayInputStream(new byte[0]),
              new AudioFormat(AudioFormat.Encoding.PCM_SIGNED,...), lLength);
        ...
        m_abData = new byte[nBufferLength];
        for (int nFrame = 0; nFrame < nPeriodLengthInFrames; nFrame++) {
            float    fPeriodPosition =
                (float) nFrame / (float) nPeriodLengthInFrames;
            float    fValue =
                (float) Math.sin(fPeriodPosition * 2.0 * Math.PI);
            int nValue = Math.round(fValue * fAmplitude);
            int nBaseAddr = (nFrame) * getFormat().getFrameSize();
            m_abData[nBaseAddr + 0] = (byte) (nValue & 0xFF);
            m_abData[nBaseAddr + 1] = (byte) ((nValue >>> 8) & 0xFF);
            m_abData[nBaseAddr + 2] = (byte) (nValue & 0xFF);
            m_abData[nBaseAddr + 3] = (byte) ((nValue >>> 8) & 0xFF);
        }
        m_nBufferPosition = 0;
    }
}
```

B4. Toneinbindung und Tonbearbeitung in Java

- B4.1 Java Sound API im Überblick
- B4.2 Pipelines zur Audio-Verarbeitung
- B4.3 Bearbeitung von Audio-Samples
- B4.4 Umgang mit MIDI-Daten



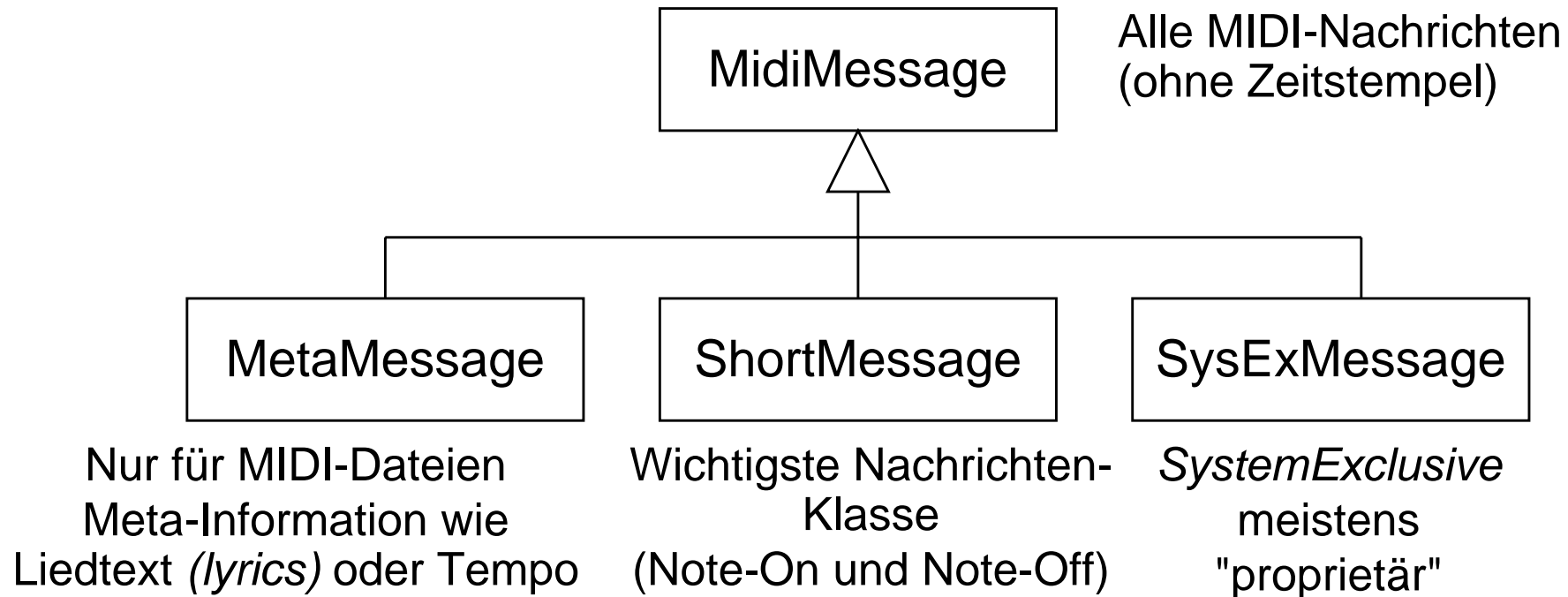
Literatur:

<http://java.sun.com/products/java-media/sound/>

<http://www.jsresources.org>

MIDI-Audio in Java Sound

- Paket `javax.sound.midi`



MIDI-Ereignisse in Java Sound

- `javax.sound.midi.MidiEvent`
 - enthält `MidiMessage`
 - und Zeitstempel
- `javax.sound.midi.Track`
 - Strom von `MidiEvents`
 - Kann 16 Kanäle adressieren
- `javax.sound.midi.Sequence`
 - Repräsentiert musikalische Einheit (z.B. Musikstück)
 - enthält Information über Zeitbasis
 - enthält einen oder beliebig viele MIDI-Tracks



MIDI-Ressourcenverwaltung

- Analog zu Audio-Verarbeitungsressourcen
- `javax.sound.midi.MidiSystem`
 - Zentrale Verwaltung aller MIDI-bezogenen Systemressourcen
- Typen von MIDI-Systemressourcen:
 - **Sequencer**: Gerät/Objekt zur Aufnahme und Wiedergabe von MIDI-Ereignis-Sequenzen; benutzt Transmitter und Receiver
 - **Transmitter**: Schnittstellenobjekt zum Senden von MIDI-Ereignis-Sequenzen
 - **Receiver**: Schnittstellenobjekt zum Empfangen von MIDI-Ereignis-Sequenzen
 - **Synthesizer**: Objekt zur Klangerzeugung
- Die eigentlichen MIDI-Nachrichten sind in der Klasse `MidiChannel` codiert.

Beispiel: MIDI-Player in Java (1)

```
import java.io.File;
import java.io.IOException;
import javax.sound.midi.*;

public class SimpleMidiPlayer1 {

    private static Sequencer sm_sequencer = null;
    private static Synthesizer sm_synthesizer = null;

    public static void main(String[] args) {

        String strFilename = args[0];
        File midiFile = new File(strFilename);
        Sequence sequence = null;
        try {
            sequence = MidiSystem.getSequence(midiFile);
            sm_sequencer = MidiSystem.getSequencer();
        }
        catch (Exception e) {};
        ...
    }
}
```

Beispiel: MIDI-Player in Java (2)

```
...
    try {
        sm_sequencer.open();
        sm_sequencer.setSequence(sequence);
    }
    catch (Exception e) {}
    if (! (sm_sequencer instanceof Synthesizer)) {
        try {
            sm_synthesizer = MidiSystem.getSynthesizer();
            sm_synthesizer.open();
            Receiver synthReceiver =
                sm_synthesizer.getReceiver();
            Transmitter seqTransmitter =
                sm_sequencer.getTransmitter();
            seqTransmitter.setReceiver(synthReceiver);
        }
        catch (Exception e) {}
    }
    sm_sequencer.start();
}
```

MIDI-Synthesizer: Abspielen einer Note (1)

```
import javax.sound.midi.*;
public class SynthNote1 {
    public static void main(String[] args) {
        int      nNoteNumber = 0;          // MIDI key number
        int      nVelocity = 0;
        int      nDuration = 0;
        nNoteNumber = Integer.parseInt(args[0]);
        nNoteNumber = Math.min(127, Math.max(0, nNoteNumber));
        nVelocity = Integer.parseInt(args[1]);
        nVelocity = Math.min(127, Math.max(0, nVelocity));
        nDuration = Integer.parseInt(args[2]);
        nDuration = Math.max(0, nDuration);
        Synthesizer      synth = null;
        try {
            synth = MidiSystem.getSynthesizer();
            synth.open();
        }
        catch (Exception e) {};
        ....
    }
}
```


MIDI-Synthesizer: Abspielen einer Note (2)

```
...
MidiChannel[] channels = synth.getChannels();
channels[0].noteOn(nNoteNumber, nVelocity);
try {
    Thread.sleep(nDuration);
}
catch (InterruptedException e) {}
channels[0].noteOff(nNoteNumber);
System.exit(0);
}
}
```