

MUSIC OUT OF THE BOX

ALGORITHMISCHES DENKEN IN DER PRIMARSCHULE

Enthaltene Aspekte des Algorithmischen Denkens

- | | | |
|---|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstraktion | <input type="checkbox"/> Algorithmen-Design | <input type="checkbox"/> Evaluation |
| <input type="checkbox"/> Generalisierung | <input checked="" type="checkbox"/> Informationsdarstellung | <input type="checkbox"/> Iterative Verbesserung |
| <input type="checkbox"/> Präzise Kommunikation | <input type="checkbox"/> Problemzerlegung | |

Fachbereiche: Musik, Rhythmik und Theater
Zeitaufwand: ca. 2 Lektionen

Version: 18. November 2021

Zusammenfassung

Musik wird seit jeher von Menschen praktiziert. Vor der Erfindung von Tonträgern war die Musik jedoch eine Kunst, die zeitlich und räumlich gebunden war - wer zum Zeitpunkt des Musizierens nicht anwesend war, hatte keine Möglichkeit das Erlebnis nachträglich nochmals «mitzuerleben». Ausgerechnet bei uns in der Schweiz gelang um 1800 eine Erfindung, die Musik langfristig *trag- und haltbar* machen würde: einfallsreiche Tüftler aus Genf sowie dem waadtländer Jura erfanden Musikmaschinen (sogenannte *Musikautomaten*), auf welchen die populärsten Melodien der Zeit festgehalten werden konnten. Die ersten Musikautomaten funktionierten alle nach demselben Prinzip: Ein mit Stahlstiften bestückter Zylinder hebt während seiner Umdrehungen Stimmzähne an und erzeugt dabei eine Melodie. Nach einer Weile gelang es, den Zylinder zu umgehen und somit universelle Musikmaschinen zu erstellen, die beliebige Musikstücke abspielen konnten. Dies gelang, indem man die Musik mittels Lochkarten in den Automaten einführt. Musikautomaten bilden den Grundstein für die Entwicklung weiterer Tonträger wie beispielsweise Schallplatten oder CDs.

Beispielsequenz

Ein Musikautomat ist eine mechanische Maschine, die als Eingabe ein mit Löchern versehenes Stück Papier (eine Lochkarte) erhält und diese Eingabe in ein akustisches Signal umwandelt.

In der Funktionsweise unterscheiden sich verschiedene Automaten teilweise massiv voneinander. Die Bandbreite reicht von komplett mechanischen Systemen, wo die Löcher der Lochkarte eine mechanische Drehung eines Zahnrads bewirken bis hin zu pneumatischen Systemen, welche mittels Luftfluss feststellen, wo auf der Lochkarte sich ein Loch befindet. Auch bei der Klangerzeugung unterscheiden sich verschiedene Automaten. Bei einigen wird der Ton durch Luft in einem Blasebalg geformt, bei anderen ist es ein Tastenhieb auf die Saiten eines Klaviers. Die einfachste Form kommt

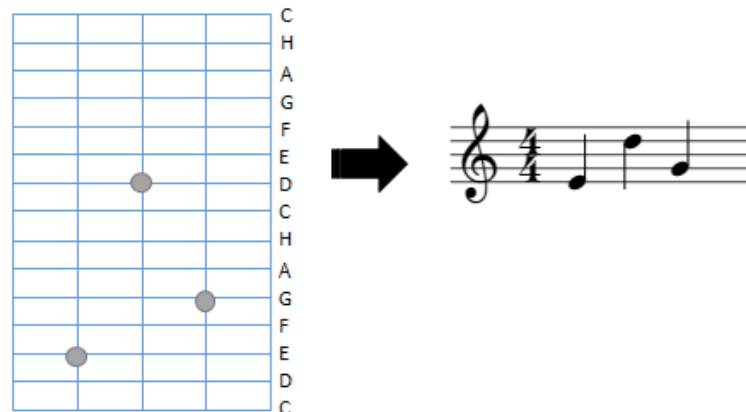


Abbildung 1. Schematische Funktionsweise eines Musikautomaten

aus mit einem einfachen Metallkamm, dessen Zähne angestossen werden können und daraufhin einen Klang von sich geben.

Mittels Lochkarten kann der Musikautomat *programmiert* werden. Dazu «schreibt» man eine Lochkarte. Eine Lochkarte ist ein Stück Papier, welches mit horizontalen und vertikalen Linien versehen ist. Jede horizontale Linie entspricht einem bestimmten Ton (die unterste Linie entspricht einem C, die nächsthöhere Linie bewirkt ein D, die nächste ein E usw.). Um den Musikautomaten dazu zu bringen, einen bestimmten Ton zu spielen, stechen wir ein Loch in die Lochkarte genau auf derjenigen Linie, die dem von uns erwünschten Ton entspricht. Im folgenden Beispiel sehen wir drei Löcher, die den Tönen E,D,G entsprechen. Diese drei Töne werden vom Musikautomaten nacheinander und in der gegebenen Reihenfolge abgespielt wie in [Abbildung 1](#) schematisch dargestellt.

Die vertikalen Linien helfen uns dabei anzugeben, wie lange der zeitliche Abstand zwischen zwei Tönen sein soll. Liegen die Löcher weit auseinander, so entsteht eine Wartezeit bis zum nächsten Ton. In diesem Falle sagen wir, der Ton wird «ausgehalten» und notieren dies mit einem entsprechenden *Notenwert* in der Notenschrift. In [Abbildung 2a](#) wird der erste Ton als Halbnote notiert, da in der Lochkarte eine Lücke zu sehen ist zwischen dem ersten und dem zweiten Ton. In [Abbildung 2b](#) werden der zweite und der dritte Ton als Achtelnoten notiert, da der Abstand zwischen dem zweiten und dritten Ton (sowie zwischen dem dritten Ton und dem Ende der Lochkarte) nur halb so lange ist wie üblich.

Auch mehrstimmige Melodien können in einer Lochkarte umgesetzt werden. Dazu werden mehrere Löcher in dieselbe vertikale Linie gestanzt. Alle Löcher, welche sich auf derselben vertikalen Linie befinden werden vom Musikautomaten gleichzeitig eingelesen und erklingen somit auch alle gleichzeitig als Ton. Abhängig davon, wie viele Löcher sich in einer vertikalen Linie befinden, sind mehr oder weniger Töne gleichzeitig hörbar. [Abbildung 2c](#) zeigt eine Lochkarte, welche sechs Töne enthält, wovon jeweils zwei gleichzeitig erklingen; zuerst werden gleichzeitig ein E und ein G gespielt, anschliessend ein D und ein F, zuletzt folgen ein G und ein H.

Aufgabe 1

Hinter den folgenden drei Lochkarten-Beispielen verstecken sich berühmte Melodien. Finden Sie heraus, welche.

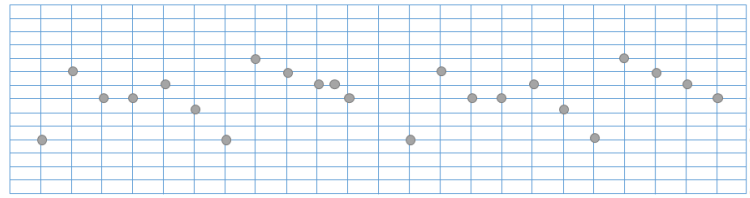
(a) (b) (c)

Abbildung 2. (a) halbe Note und Viertelnoten, (b) halbe Note und Achtelnoten, (c) je zwei Töne werden gleichzeitig gespielt

(a) Übersetzen Sie die Lochkarte in den Violinschlüssel und finden Sie heraus, um welches Lied es sich handelt.

(b) Übersetzen Sie die Lochkarte in den Violinschlüssel und finden Sie heraus, um welches Lied es sich handelt.

- (c) Übersetzen Sie die Lochkarte in den Violinschlüssel und finden Sie heraus, um welches Lied es sich handelt.



Aufgabe 2

Erstellen Sie zu den folgenden bekannten Liedern je eine Lochkarte:

- (a) Ein altbekannter Start:



- (b) Ein winterlicher Klassiker:

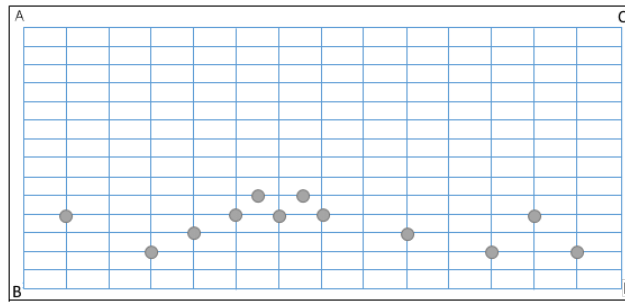


- (c) Eine zweistimmige Melodie:



Aufgabe 3

Robert hat die folgende Lochkarte geschrieben und die vier Ecken mit den Buchstaben A bis D beschriftet:



Robert weiss nicht, wie er seine Lochkarte in den Automaten einführen soll und probiert daher alle Möglichkeiten einmal aus. Eine Lochkarte kann auf vier verschiedene Arten in einen Musikautomaten eingeführt werden:

1. Der Automat liest die Lochkarte in der Richtung AB - CD:



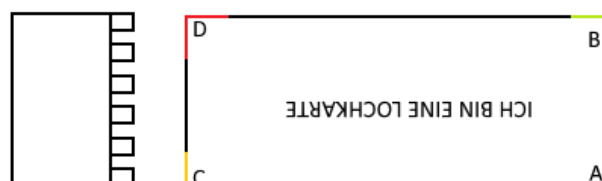
2. Der Automat liest die Lochkarte in der Richtung BA - DC:



3. Der Automat liest die Lochkarte in der Richtung CD - AB:



4. Der Automat liest die Lochkarte in der Richtung DC - BA:



Mit einer einzigen Lochkarte kann Robert also vier verschiedene Melodien spielen. Wie klingen diese? Notiere alle vier Möglichkeiten im Violinschlüssel.

Aufgabe 4

Welchen Effekt hat die horizontale Spiegelung einer Lochkarte auf deren gespielte Melodie? Erklären Sie anhand eines Beispiels und unterscheiden Sie dabei die folgenden zwei Fälle:

1. Lochkarten, in welchen alle Löcher denselben Abstand zueinander haben
2. Lochkarten, welche grössere und kleinere Abstände zwischen den Löchern aufweisen

Aufgabe 5

Stimmt die folgende Aussage? Wenn ja, begründen Sie weshalb. Wenn nein, finden Sie ein Gegenbeispiel:

«Es gibt keine Lochkarte, die in allen vier Fällen dieselbe Melodie spielt.»

Lösungen zu den Aufgaben

Aufgabe 1

Es handelt sich bei den drei Liedern um die folgenden bekannten Melodien (Hinweis: Die Taktart kann variieren und muss nicht zwingend diejenige sein, welche in unseren Musterlösungen zu sehen ist).

- (a) Freude schöner Götterfunke



- (b) Es Buurebüebli mahni nid



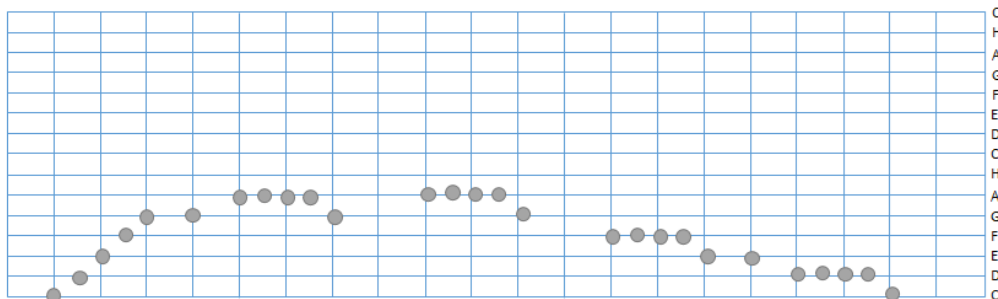
- (c) Dert äne am Bärgli



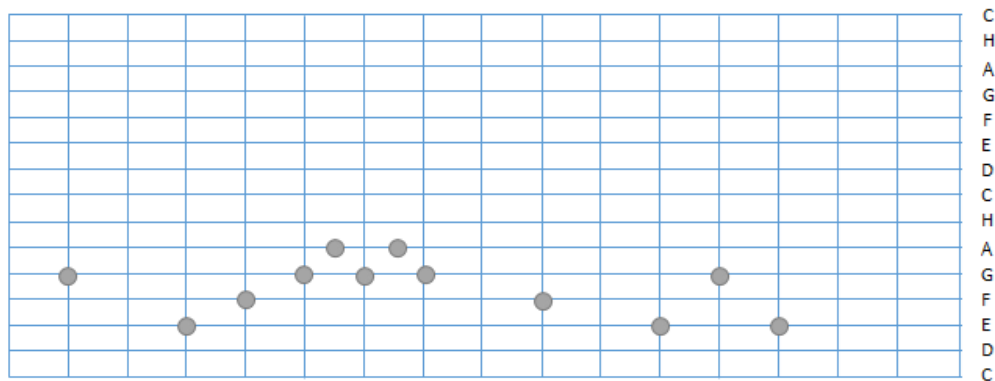
Aufgabe 2

Die drei Lieder können wie folgt in Lochkarten umgesetzt werden:

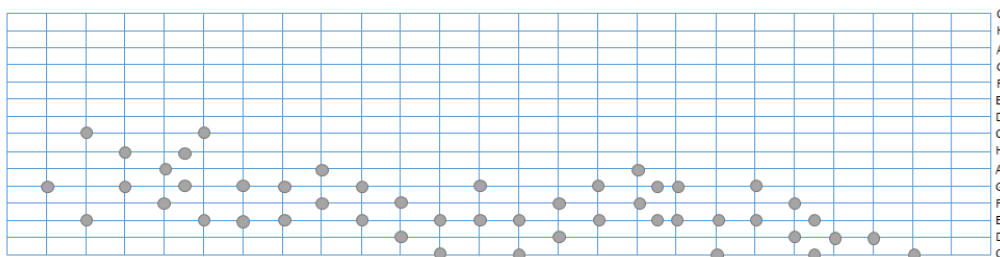
(a) Alle meine Entchen:



(b) Kling Glöcklein:



(c) Eine Übung zum Violin und Bass-Schlüssel:



Aufgabe 3

Es gibt vier verschiedene Melodien, die durch horizontale und vertikale Drehungen (das heisst Spiegelungen) der Lochkarte entstehen. Im Folgenden zeigen wir alle vier Lösungen:

1. Keine Drehungen (AB - CD)



2. Vertikale Drehung (BA - DC)



3. Horizontale Drehung (CD - AB)



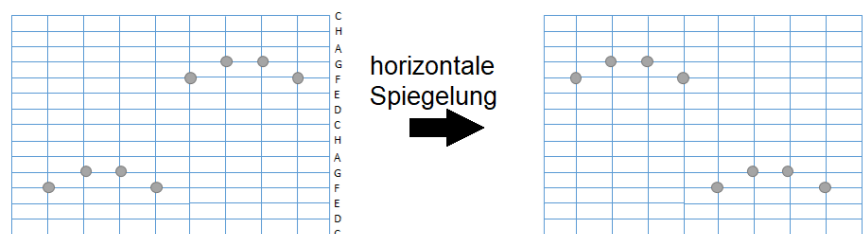
4. Horizontale und Vertikale Drehung (DC - BA)



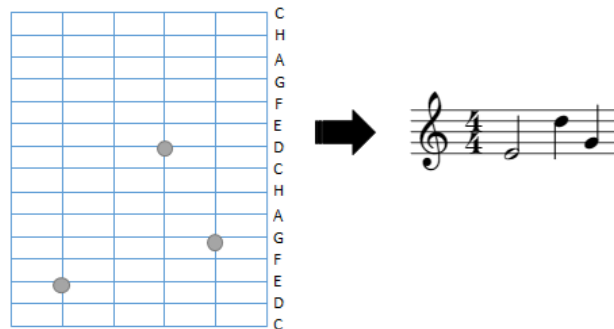
Aufgabe 4

Die horizontale Spiegelung einer Lochkarte hat zwei Effekte:

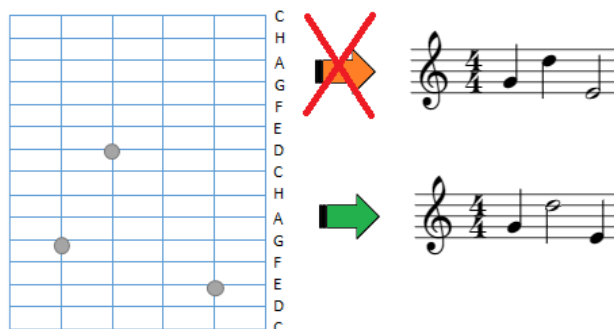
1. Die Reihenfolge der einzelnen Töne in einer Melodie wird vertauscht. Was zuvor der erster Ton der Melodie war, erklingt nach der Spiegelung als letzter Ton. Der zuvor letzte Ton wird neu als erster Ton gespielt. Dasselbe gilt auch für alle weiteren Töne. Die folgende Lochkarte illustriert, wie die Reihenfolge der Töne vertauscht wird:



2. Neben der Position eines Tones im Lied kann sich auch dessen Tonlänge verändern. Wir erinnern uns, dass die Tonlänge in einer Lochkarte durch die vorhandenen Abstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tönen ermittelt wird. In der folgenden Abbildung ist der erste Ton beispielsweise lang, da die Lücke zwischen dem 1. und 2. Loch gross ist:



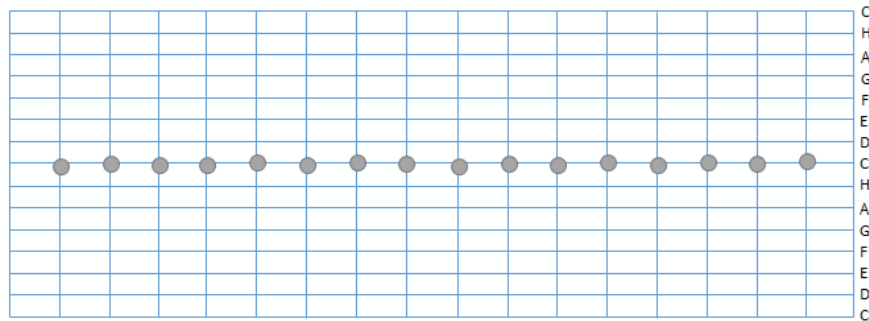
Wird eine Karte mit unterschiedlich grossen Lücken zwischen den Löchern nun horizontal gespiegelt, so ändert sich dadurch die Leserichtung der Karte und eine Lücke zwischen Ton A und Ton B wird neu nicht mehr als Verlängerung des Tons A verstanden, sondern als eine Verlängerung des Tons B (in umgekehrter Leserichtung). Im folgenden Bild befindet sich die Lücke nun zwischen dem 2. und 3. Ton, es wird allerdings nicht der dritte Ton verlängert, sondern der zweite, da dieser zuerst vom Automaten eingelesen wird:



Zuletzt bemerken wir, dass im Falle einer horizontalen Spiegelung die Tonhöhe der jeweiligen Noten erhalten bleibt, während sich diese in der vertikalen Spiegelung ändert. Alle Lochkarten, welche nur horizontal gespiegelt werden, enthalten vor und nach der Spiegelung dieselben Töne, nur in einer anderen Reihenfolge und möglicherweise in anderen Notenwerten.

Aufgabe 5

Die Aussage ist falsch. Es gibt Lochkarten, die horizontal, vertikal sowie auch horizontal und vertikal gespiegelt immer dieselbe Melodie produzieren wie zuvor ohne Spiegelung. Der triviale Fall ist eine Lochkarte ohne Löcher. Es gibt jedoch auch einige Lochkarten, welche Löcher enthalten und dennoch immer dieselbe Melodie abspielen Alle solchen Lösungen haben eine Eigenschaft gemein: sie verwenden nur Töne einer einzigen Tonhöhe; nämlich das mittlere C. Der Grund dafür liegt darin, dass das mittlere C der einzige Ton ist, welcher bei einer vertikalen Spiegelung an derselben Stelle bleibt, denn die Lochkarte soll sowohl in ihrer Ausgangslage als auch nach einer vertikalen Spiegelung denselben Ton spielen. Der einzige Ton, welcher auch nach einer vertikalen Spiegelung erhalten bleibt, ist das mittlere C. Im folgenden Diagramm ist eine mögliche Lösung gezeigt:



Didaktischer Kommentar

Die Menschheit beschäftigt sich seit vielen Jahrzehnten mit der Erschaffung verschiedener Maschinen, die diverse Aspekte unseres Alltags für uns automatisieren. Der Musikautomat ist eine dieser Maschinen. In dieser Einheit beschäftigen wir uns mit der Schnittstelle zwischen dem Menschen und der Maschine. Wir lernen Lochkarten als eine Darstellungsform für Musik kennen und beschäftigen uns mit der Frage, welchen Spielraum die Maschinen für menschliche Fehler zulassen. Ein solcher Fehler ist das inkorrekte Einsetzen der Lochkarte. Es gibt vier verschiedene Möglichkeiten, wie eine Lochkarte eingeführt werden kann. Dies dient als Ausgangslage für Gedankenexperimente, welche sich mit dieser Situation auseinandersetzen.

Die Unterrichtseinheit enthält die folgenden Aspekte des algorithmischen Denkens.

- **Abstraktion**

Ein Musikautomat ist eine komplexe Maschine, die eine gegebene Eingabe zu einer Melodie umwandelt. In dieser Einheit beschäftigen wir uns nicht mit der Funktionsweise der Maschine, sondern nehmen diese an wie sie ist. Wir beschäftigen uns stattdessen mit der Frage, wie die Maschine mit verschiedenen Eingaben umgeht, die voneinander abgeleitet werden können. Diese Fragestellung führt die Lernenden dazu, eine Modellvorstellung dieser Maschine zu gewinnen und sich mit deren Funktionsweise in einer abstrakten Art auseinanderzusetzen.

- **Informationsdarstellung**

Über Jahrhunderte haben Musikerinnen und Musiker aus verschiedensten Kulturen Notationen entwickelt, um Musik darzustellen. Oft werden dabei charakteristische Klänge durch vereinheitlichte Darstellungen mittels Noten dargestellt, die bestimmte Tonhöhen und Längen haben. Auch Lochkarten können dazu verwendet werden, dieselbe Information darzustellen. Ein Musikautomat ist eine Maschine, die genau auf diese Darstellungsform reagieren kann und Informationen im gegebenen Format für uns verarbeitet.

In der Unterrichtseinheit *Pixelbilder darstellen* wird derselbe Aspekt für Bilder gesprochen und es wird desweiteren auch auf das Thema Datenkompression eingegangen. Die Frage wie lange die Darstellungsform einer gewissen Melodie (oder eines gewissen Bildes) sein muss, ist die Kernfrage der Datenkompression und stellt eine geeignete Vertiefung der hier behandelten Themen dar.

Quellenangaben und weiterführende Literatur

1. <https://www.musikautomaten.ch/mma/de/home.html>; zuletzt abgerufen am 02.10.2021.
2. Mechanische Musikautomaten: *Wikipedia – Die freie Enzyklopädie*. https://de.wikipedia.org/wiki/Mechanischer_Musikautomat; zuletzt abgerufen am 02.10.2021.
3. <https://houseofswitzerland.org/de/swissstories/wissenschaft-bildung/die-poesie-der-schweizer-mechanik>; zuletzt abgerufen am 02.10.2021.
4. <https://p0.piqsels.com/preview/841/937/119/silhouette-musical-note-clef-thumbnail.jpg>; zuletzt abgerufen am 02.10.2021.
5. Lochkarten: *Wikipedia – Die freie Enzyklopädie*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lochkarte>; zuletzt abgerufen am 02.10.2021.

Abbildungsverzeichnis

Alle Abbildungen wurden durch die Autorin erzeugt.