

# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

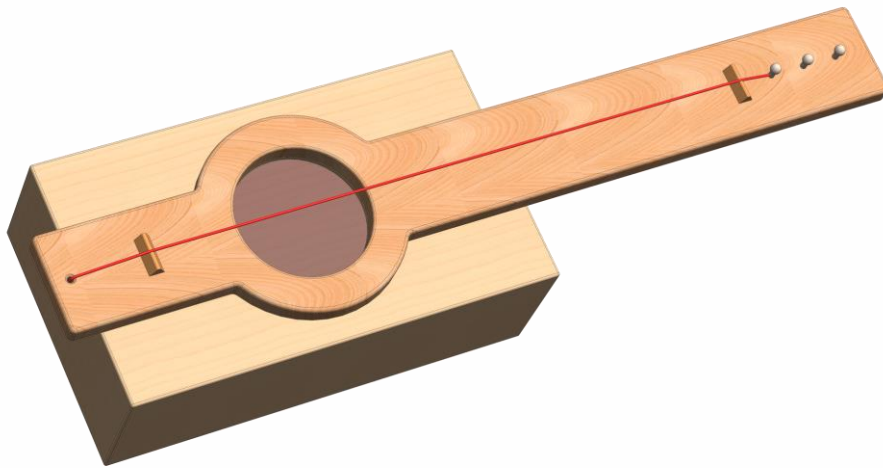
## 1 Erzählerische Einführung: Das Zeitalter der Digitalisierung

- Gespräch über Vorstellungen führen: Was ist bzw. bedeutet digital? Was bedeutet Digitalisierung? Welche Ängste haben Menschen bezüglich Digitalisierung? Z.B. Arbeitswelt - Maschinen ersetzen menschliche Arbeit - ist einerseits ein Segen (monotone, körperlich belastende Arbeitsschritte werden von Maschinen übernommen), gleichzeitig für viele Menschen Anlass zur Sorge, da ihr Arbeitsplatz wegrationalisiert wird. Ängste auch bezüglich „intelligenter“ Technik, z.B. selbstfahrender Autos. Wie treffen diese Autos in kritischen Situationen Entscheidungen? Was bedeuten selbstfahrende Autos für den Menschen?

## 2 Klärung analog - digital: am Beispiel der Audiotechnik

### a) Analog: Das Beispiel „Gummibandgitarre“

Das Gummiband wird angezupft, es gerät in Schwingung. Je nach Beschaffenheit des Gummibandes (also z.B.: wie straff ist es gespannt, welche Gesamtlänge hat es?) schwingt dieses mit bestimmter Amplitude (Ausschlag, Lautheitsgrad) und Frequenz (Schwingungen pro Zeiteinheit, Tonhöhe)



**Abb. 1:** Gummiband-Gitarre mit verstellbarer Saite (©Schumann)

Die Schwingung des Gummibandes überträgt sich auf den Holzkorpus, der als Resonanzkörper dient. Die Schwingung des Holzkorpus versetzt die Luftmoleküle in Bewegung. Die Saite alleine kann das nicht so gut, da sie nur eine kleine Oberfläche besitzt.

Durch das Schalloch kann die Luftbewegung nach aussen gelangen und wird so gut hörbar.

# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## b) Analog: Das Beispiel „Grammophon“

Das Grammophon funktioniert auch rein analog, ist aber etwas schwieriger zu verstehen. Eine Nadel fährt über die Schallplatte; auf dieser Platte ist eine spiralförmige Rille, welche mikroskopisch kleine Kerben an den Innenrändern der Rille hat (man kann diese mit einem Mikroskop sichtbar machen - die Breite der Rille beträgt ca. 0,08mm). Die Nadel gerät in eine Rechts-Links-Bewegung und überträgt die Schwingung über einen Hebel (Übersetzung) auf eine Membran. Die Membran gerät in Schwingung und bringt die Luftmoleküle in Bewegung. Durch die sich öffnende Form des Trichters haben die sich in Bewegung befindlichen Luftmoleküle (also die „Schallwellen“) immer mehr Platz, um sich auszubreiten (in einer geraden Röhre behindern sich die Moleküle gegenseitig, reflektierte Moleküle bremsen die anderen aus) und kommen dann als Schallwellen aus dem Trichter heraus und treffen auf das Trommelfell unseres Ohrs.

Der Trichter ist also kein echter Verstärker (es wird ja keine Energie hinzugefügt), sondern nur ein „Platzmacher“ für die Schallwellen. Die Luft bewegt sich in der Art einer Longitudinalwelle durch den Trichter (d.h. die Welle schwingt in Ausbreitungsrichtung; im Unterschied dazu schwingen Transversalwellen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung). Die Membran schiebt die Luftmoleküle unmittelbar vor ihr durch ihre Ausstülpung an. Dadurch kommt es in einer bestimmten Zone zu einer Luftkompression sowie zu elastischen Zusammenstößen. Die Zusammenstöße führen dazu, dass sich die Kompression durch den Trichter fortpflanzt (die chaotische Eigenbewegung der Teilchen wird in dieser Erklärung ausser Acht gelassen; der Vorgang ist eigentlich sehr viel komplizierter).

Die einzelnen Luftmoleküle legen dabei selbst keine großen Strecken im Raum zurück, sondern fliegen immer nur bis zum nächsten Molekül, wo es zu einem elastischen Zusammenstoß kommt (der elastische Zusammenstoß kann simuliert werden mit dem Spiel der aufgehängten Kugeln, die sich gegenseitig anstossen, wenn man die erste in Schwung versetzt - der Unterschied zum Trichter besteht aber darin, dass die Kugeln keine nach vorne eilende «Schockwelle» auslösen bzw. eine solche Welle lässt sich mit dem Spiel nicht abbilden).



Abb. 2: Grammophon

Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d6/VictorVPhonograph.jpg>



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

Aufbau des Grammophons (ohne Gehäuse):

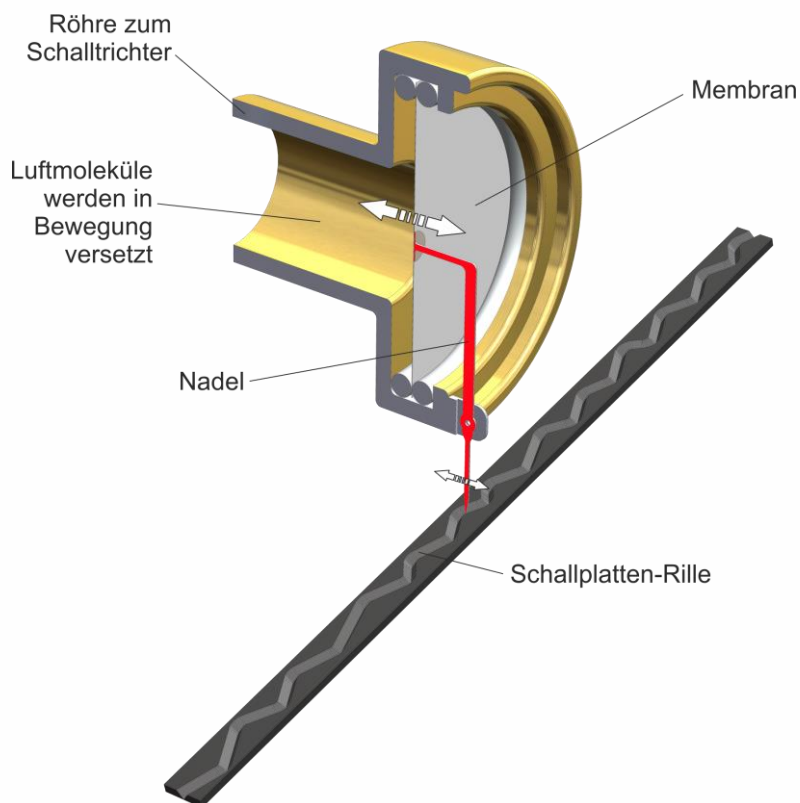
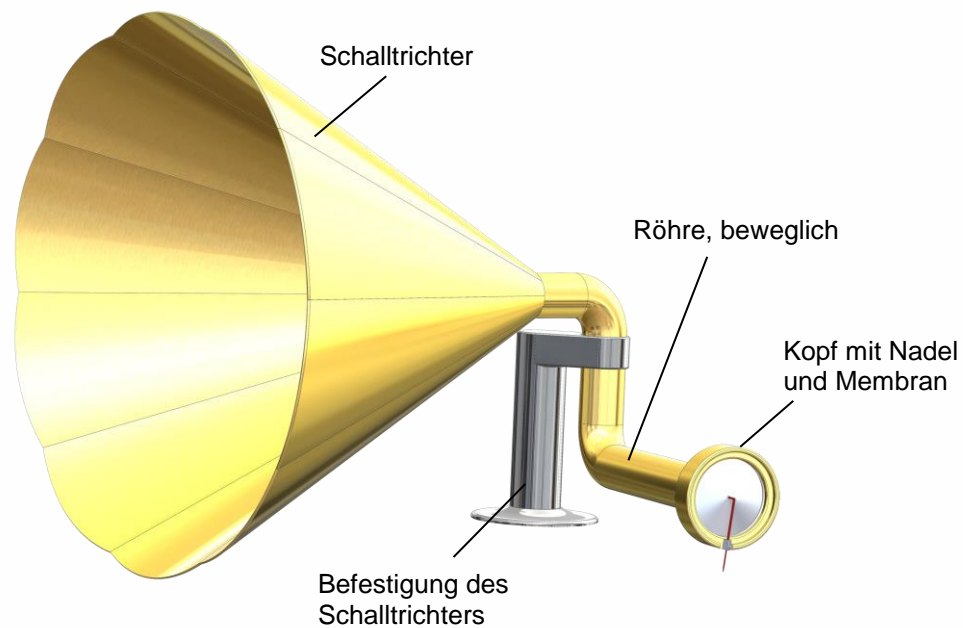
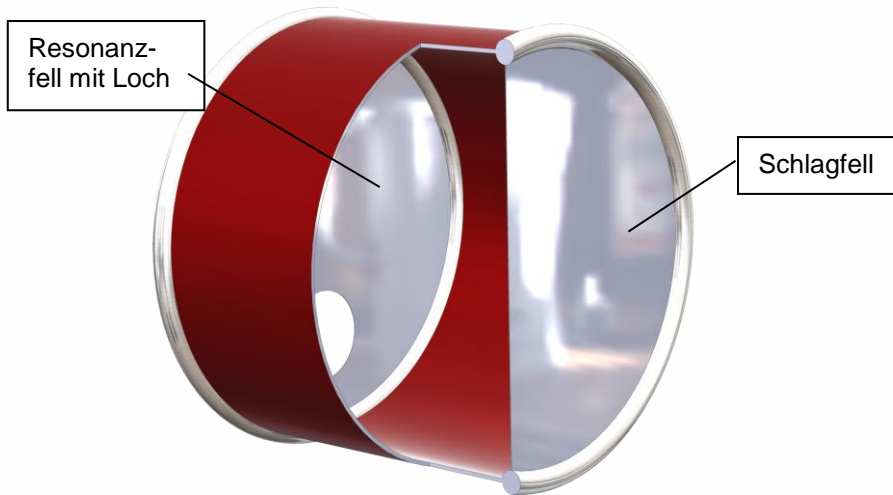


Abb. 3: Funktionsweise des Grammophons (siehe auch Video) (©Schumann)

# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

**Eine Analogie: die Trommel.** Auch bei der Trommel gibt es eine Membran (es gibt sogar zwei: Resonanzfell und Schlagfell). Schlägt man mit dem Trommelschlägel gegen das Fell (also die Membran), werden ebenfalls die Luftmoleküle angeregt, natürlich viel heftiger als es beim Grammophon der Fall ist.



**Abb. 4:** Trommel, mit Schnitt (©Schumann)



**Abb. 5:** Grammophon, Tonkopf (©Schumann)

Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/DiamondDiscPhonograph.jpg>

Die Schrägstellung der Nadel war beim Grammophon sehr genau ausgetüftelt. Sie diente der Optimierung der Bewegungsabnahme und schonte gleichzeitig die Schallplatte.



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## c) Analog: Das Beispiel Mikrofon

Schallwellen

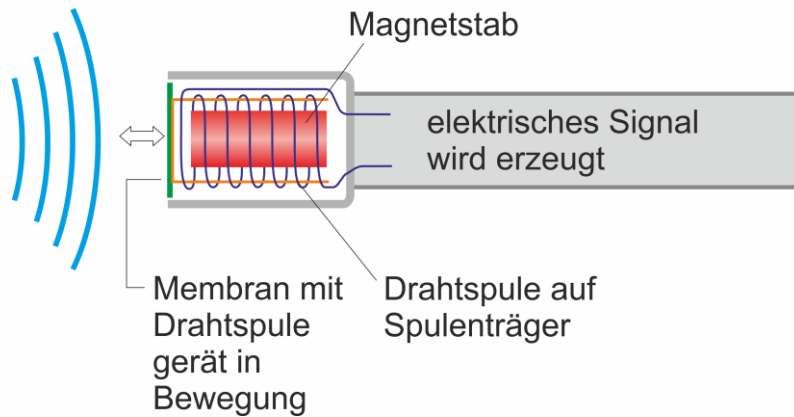


Abb. 6: Schema des Tauchspulen-Mikrofons (©Schumann)

Funktionsweise: Die Schallwellen, die ein Sänger oder Sprecher erzeugt, treffen auf die Membran des Mikrofons. Die Membran und die daran befestigte Drahtspule mit Spulenkörper geraten in Bewegung. In der Drahtspule befindet sich ein Dauermagnet. Bewegt sich die Spule über dem Magneten, wird eine elektrische Spannung induziert. Diese wird an einen Verstärker bzw. Vorverstärker weitergeleitet.

## d) Analog: Das Beispiel „Piezo-Kristall“

Geräte, in denen ein Piezo-Kristall eingebaut ist, funktionieren auch analog - hier wird es noch schwieriger, die Funktionsweise zu verstehen. Vom Prinzip her verhält es sich so, dass Kraft auf den Piezo-Kristall ausgeübt wird, dabei entsteht eine Spannung an den beiden gegenüberliegenden Polen des Kristalls. Je grösser die Kraft ist, die ausgeübt wird, desto höher ist die erzeugte Spannung. Diese Umwandlung erfolgt durch den Piezo-Kristall. Durch mechanischen Druck entsteht ein positiver (Q+) und ein negativer Ladungsschwerpunkt (Q-). Es resultiert ein Dipol und dadurch eine elektrische Spannung (Elektronen fangen an, vom negativen Pol zum positiven Pol zu fließen). Der ganze Vorgang ist rein analog. Anwendung: z.B. Piezo-Feuerzeuge.

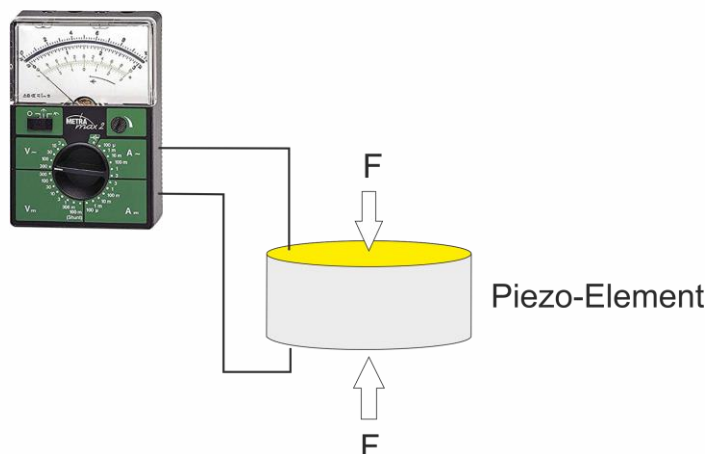


Abb. 7: Prinzip Piezo-Kristall (©Schumann)



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## e) **Umwandlung: Analog – digital – analog. Audiotechnik-Beispiel: Audiodaten auf einer CD**

Am Anfang der «Produktionskette» steht der Sänger bzw. die Sängerin. Die Stimmbänder und der Resonanzraum des Kopfes versetzen beim Singen oder Sprechen die Luftmoleküle in Bewegung.

Vor der Person ist ein Mikrofon aufgestellt. Die in Bewegung geratenen Luftmoleküle treffen auf die Membran des Mikrofons (Membran = sehr dünne Folie), welche die Schwingung aufnimmt und ihrerseits in Schwingung gerät. Die an der Membran befestigte Drahtspule erzeugt in Zusammenhang mit einem kleinen Permanentmagneten ein elektrisches Signal, welches die ursprüngliche Luftbewegung der Stimme abbildet.

Aus der analogen Schwingung der Schallwellen ist nun eine analoge elektrische Schwingung geworden.

Bei einem Live-Auftritt kann nun dieses elektrische Signal direkt an einen Vorverstärker und einen Hauptverstärker weitergegeben werden. Der Hauptverstärker gibt das Signal an den Lautsprecher weiter. Umgekehrt zur Funktionsweise des Mikrofons versetzt nun eine Drahtspule die Membran des Lautsprechers in Bewegung, wieder geraten die Luftmoleküle – nun aber deutlich verstärkt – in Bewegung.

Bei dem oben beschriebenen Vorgang bleibt die Kette komplett analog.

Nun möchte ein Produzent den Gesang aufnehmen und am Computer bearbeiten. Dazu greift er das elektrische Signal nach dem Vorverstärker ab und leitet es in einen A/D-Wandler (A/D = Analog / Digital). Ein Kreuzraster, welches sich aus der Abtast-Häufigkeit und den erfassbaren Spannungstufen ergibt, erzeugt ein stufenförmiges Signal: das Schallereignis ist nun digital erfasst und kann von einem Computer gespeichert und verarbeitet werden. Der Computer weist jedem erfassten Wert einen digitalen Code zu. Je feiner das Raster und je feiner der digitale Code aufgelöst ist (Anzahl der Stellen im Binärcode, siehe auch »Auflösung«, »Bitrate«), desto ähnlicher ist das digital erfasste Signal dem analogen.

Die Bearbeitung des aufgenommenen Materials erfolgt rein digital im Computer.

Nun möchte sich der Produzent das bearbeitete Material auf seinen Studio-Lautsprechern anhören.

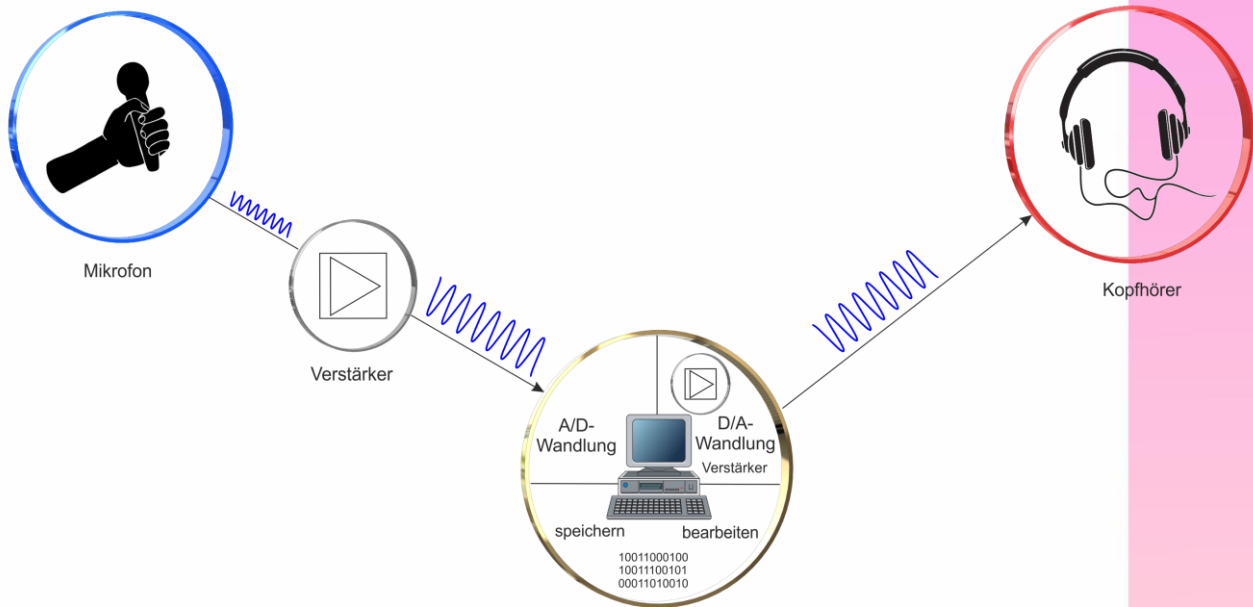
Der Computer speist das digitale Signal in einen D/A-Wandler (D/A = Digital / Analog) ein. Aus dem digitalen Code werden die einzelnen Spannungswerte zurückgerechnet, die dann wieder ein elektrisches Signal bilden. Dieses Signal kann zunächst nur stufenförmig sein, da für jeden digitalen Code nur ein fester Spannungswert ausgegeben werden kann. Spezielle elektronische Filter glätten das Stufensignal und es entsteht wieder ein analoges Abbild der bearbeiteten Aufnahme. Das Signal wird wieder elektrisch verstärkt und kann nun an die Lautsprecher gesendet werden.



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## Funktionskette einer A/D-D/A-Wandlung

Die Abbildung unten veranschaulicht den Prozess der A/D- und D/A-Wandlung, wie oben beschrieben



**Abb. 8:** A/D-Wandlung - D/A-Wandlung (©Schumann)

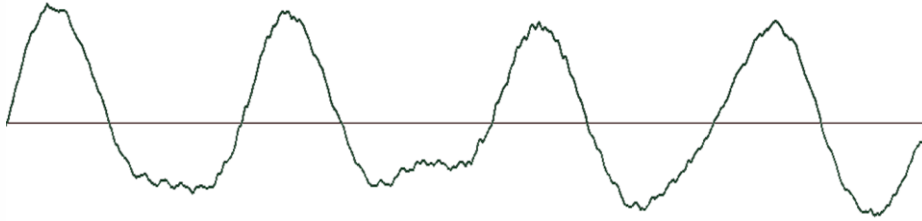
D/A-Wandler befinden sich auch in CD-Spielern und MP3-Playern und in allen Geräten, welche digital gespeicherte Audiodateien über Kopfhörer oder Lautsprecher abspielen können.

Man kann mittlerweile auch USB-Mikrofone kaufen, in diesen ist ein A/D-Wandler bereits eingebaut. Das Datensignal des USB-Anschlusses ist digital.

Auch kleine PC-Lautsprecher können schon direkt über USB an den Computer angeschlossen werden. Die D/A-Wandlung erfolgt dann in der Elektronik des Lautsprechersystems.

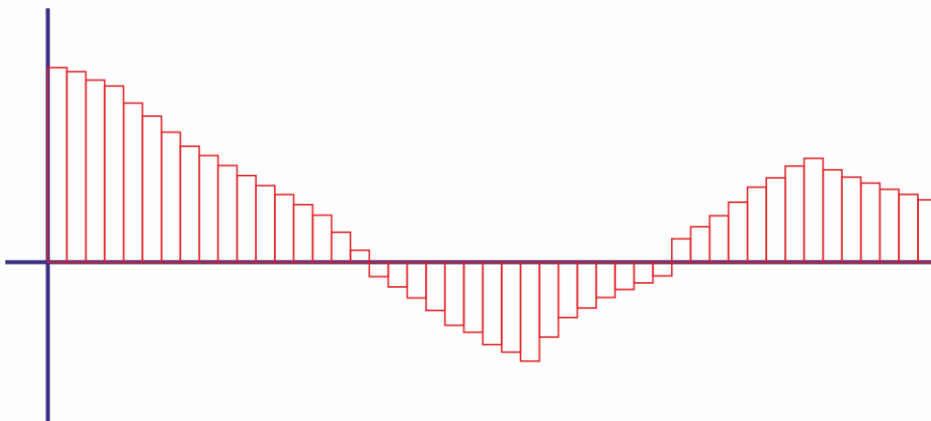
# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

Analoge Signale sind also Signale, die man sich in einem graphischen Koordinatensystem als Kurve vorstellen muss; diese Kurven weisen unendlich viele Punkte auf - jeder hat andere Koordinatenwerte.



**Abb. 9:** Ausschnitt einer Tonaufnahme, starke Vergrößerung (©Schumann)

Digitale Signale sind Signale, die man sich in einem graphischen Koordinatensystem als eine Treppe vorstellen muss; auf einer bestimmten Treppenstufe hat man immer einen konstanten y-Wert (über eine bestimmte Zeitdauer, den x-Wert), dann macht die Treppe einen Sprung und man befindet sich auf dem nächsten konstanten Y-Wert (die wieder eine bestimmte Zeit dauert, x-Wert).



**Abb. 10:** Schematische Darstellung einer digitalen Kurve im Koordinatensystem (©Schumann)

An der Beispieldarstellung sieht man deutlich, dass die Kurve einem Raster folgt. Zwischenbereiche werden nicht erfasst.

Intelligente Rechensysteme können Zwischenschritte berechnen und hinzufügen, um das Ergebnis zu verbessern.



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## 3 Analoge und digitale Komponenten

- Geräte mitbringen oder mit Hilfe von Zeichnungen ansehen und beschreiben. Gespräch führen: ist das jeweilige Gerät „analog“ oder „digital“? Was passiert wohl in dem jeweiligen Gerät?
- Warum sprechen Techniker von analogen und digitalen „Komponenten“? Das liegt daran, dass Techniker nicht in der Kategorie „Gerät“ denken, sondern in der Kategorie „Signalverarbeitung“ - es gibt also analoge Signale und digitale Signale. Liegt jetzt eine Mischung von Signal und Gerät vor, ist es treffender, von einer Komponente zu sprechen. Eine Komponente kann sowohl ein Bauteil sein (z.B. der Bildsensor einer Digitalkamera) oder ein Signal (Licht, Ton, Datenübertragung).

### a) Beispiele für analoge Elemente

Zeigerinstrumente (z.B. Tacho, Uhr mit Zeigern, Messgerät mit Zeiger):

Ein Zeiger, z.B. ein flacher Metallstab, ist an einem Ende an einer Achse drehbar aufgehängt. Der Zeiger kann innerhalb seines vorgesehenen Bereiches jede Position anzeigen, ohne Raster oder Stufen. Die Anzeige-Auflösung ist also „unendlich“ hoch. Sie kann aber natürlich in der Realität oft sehr ungenau sein.

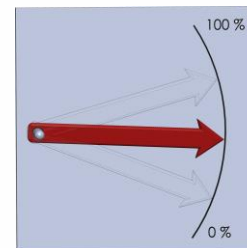


Abb. 11: Zeiger (©Schumann)

Röhrenbildschirm:

Bei einem Röhrenbildschirm wird ein Kathodenstrahl (genauer gesagt sind es drei Kathodenstrahlen, um die verschiedenen Farben auf dem Bildschirm darzustellen) durch die Magnetfelder von elektrischen Spulen abgelenkt und auf die vorgesehenen Stellen auf der Bildschirm-Innenseite gelenkt. Auch wenn das Bild, welches der Betrachter sieht, durch ein Raster gefiltert wird, so kann der Kathodenstrahl doch jede beliebige Stelle auf der Bildschirm-Innenseite erreichen, da die steuernden Magnetfelder stufenlos einstellbar sind.

Fotoapparat (analoge Kamera mit Film):

Bei einer analogen Kamera, also einem Modell mit einer beschichteten Filmspule, wird das Fotomotiv durch das Objektiv auf einen lichtempfindlichen Folienstreifen projiziert. Die Bildauflösung ist theoretisch unendlich hoch; die Qualität des Bildes wird lediglich durch die Körnigkeit des Filmmaterials bzw. der Beschichtung begrenzt. Hierbei handelt es sich aber nicht um ein digitales Raster.

Schallwelle:

Eine Schallwelle entsteht durch in Bewegung versetzte Luftmoleküle. Beispiel: Die pulsartige Bewegung einer Lautsprecher-Membran versetzt die Luftmoleküle vor und hinter der Membranoberfläche in Bewegung, ein Ton bzw. Geräusch wird hörbar.

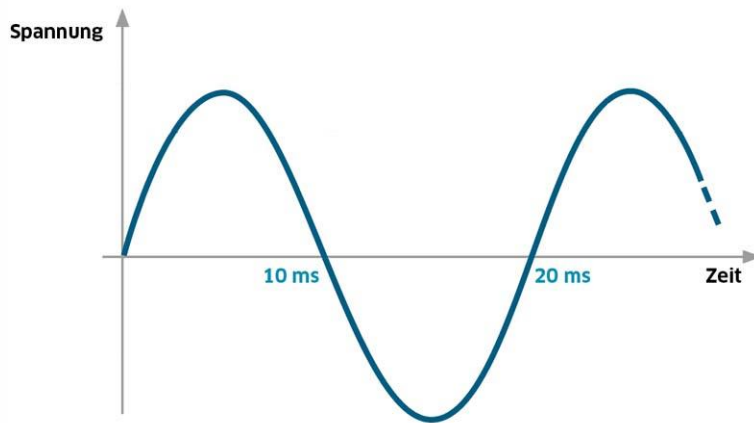
Anderes Beispiel: Die Trommel. Der Trommelschlägel versetzt das Fell der Trommel in Bewegung.



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## Sinus-Strom (Wechselstrom) in unserem Versorgungsnetz:

Der Strom, der in unserem Versorgungsnetz bereitgestellt wird (Steckdose), schwingt in einer Sinusform. Die Sinuswelle bewegt sich immer in einer vorgegebenen Frequenz (50 Hz in Europa, 60 Hz in den USA).



**Abb. 12:** Kurve des Sinus-Wechselstroms (Idealform) (©Schumann)

## Rille in der Schallplatte:



**Abb. 13:** Rille in einer Schallplatte (©Schumann)

Die Rille in einer Schallplatte ist – bei starker Vergrößerung betrachtet – eine unregelmäßige Schlangenlinie. Die Nadel des Tonkopfes fährt diese Linie entlang und überträgt die Schwingung weiter.

## Kassettenrecorder (Kassette, Magnetband):

Bei der Aufnahme einer Tonkassette passiert Folgendes: Ein Tonkopf (Aufnahmekopf) erzeugt elektromagnetische Schwingungen, verursacht durch das eingespeiste elektrische Tonsignal. Die elektromagnetischen Schwingungen werden auf ein mit Metallpartikeln beschichtetes Band übertragen, welches am Tonkopf entlanggeführt wird. Das schwingende Magnetfeld des Tonkopfes richtet die Metallpartikel auf dem Band entsprechend der Schwingung aus.

Bei der Wiedergabe passiert Folgendes: Das Band mit den ausgerichteten magnetisierten Metallpartikeln wird am Tonkopf (jetzt: der Wiedergabekopf) entlanggeführt. Im Wiedergabekopf wird ein elektromagnetisches Feld erzeugt, verursacht durch das magnetisierte Band.



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

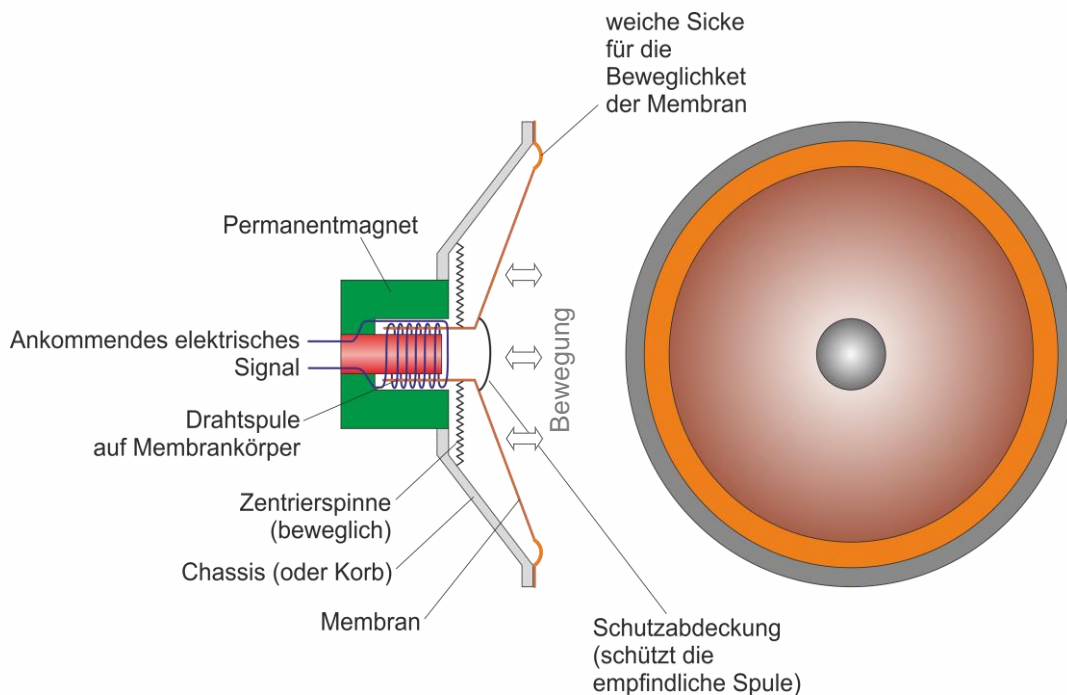
## Schwimmer mit Pegelanzeige:

In einem Auto funktionierte die Tankanzeige früher mit einem Schwimmer (Schwimmer: Teil, das auf einer Flüssigkeit schwimmt, z.B. eine verschlossene Kapsel). An dem Schwimmer ist ein Hebel oder Seilzug angebracht, der wiederum einen Zeiger betätigt. Je nach Füllhöhe des Tanks lag der Schwimmer tiefer oder höher im Tank, und der angekoppelte Zeiger zeigte die Position auf einer Skala an (Nachteil dieser Konstruktion: funktioniert nicht zuverlässig, wenn sich das Auto in einer Schräglage befindet).

## Beschleunigung (Gas geben) / Verzögerung (bremsen):

Das Beschleunigen oder Abbremsen eines Körpers erfolgt aufgrund der Gesetze der Physik immer stufenlos – also «analog». Kein Körper kann sich übergangslos von einer Position in eine andere bewegen. Zwischen der Start- und der Endposition befinden sich unendlich viele Zwischenpositionen.

## Lautsprecher, Kopfhörer:



**Abb. 14:** Schematische Darstellung eines Lautsprechers, Schnitt- und Frontansicht (©Schumann)

### Funktionsweise des Lautsprechers:

Das elektrische Wellenform-Signal einer Tonaufnahme wird an die Drahtspule des Lautsprechers angeschlossen. Durch das über dem Permanent-Magneten entstehende schwingende Magnetfeld wird die Spule und somit die daran befestigte Membran in Schwingung versetzt. Durch die große Fläche der Membran werden grosse Mengen an Luftmolekülen in Bewegung versetzt (= Schallwellen).

Erläuterung: die Sicke ist ein weicher Ring am äusseren Rand der Papiermembran. Dieser Ring ist weich, schaumstoffartig, damit sich die Membran leicht bewegen kann.



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## Mikrofon:

Die Schallwellen, die ein Sänger oder Sprecher erzeugt, treffen auf die Membran des Mikrofons. Die Membran und die daran befestigte Drahtspule mit Spulenkörper geraten in Bewegung. In der Drahtspule befindet sich ein Dauermagnet. Bewegt sich die Spule über dem Magneten, wird eine elektrische Spannung induziert. Diese wird an einen Verstärker bzw. Vorverstärker weitergeleitet (siehe auch Beschreibung weiter oben im Text).

## **b) Beispiele für digitale Komponenten:**

### Digitalanzeige (z.B. digitales Messgerät):

Als Digitalanzeige bezeichnet man verschiedene Anzeigetypen. Wir betrachten eine LCD-Anzeige: LCD = Liquid Crystal Display, eine Flüssigkristallanzeige.

Es gibt Grafik-taugliche LCD-Anzeigen, welche in einem feinen Raster aufgebaut sind (sehr viele kleine Segmente, die in einer Matrix angeordnet sind) und spezialisierte LCD-Anzeigen, welche z.B. nur Buchstaben oder Zahlen in einer vorgegebenen Form darstellen können. Diese Segmente können je nach angelegter Spannung ihre Transparenz ändern. Die Segmente sind zwischen zwei dünnen Glasplatten angebracht.

Beispiel: Messgerät für Strom und Spannung mit LCD-Anzeige.

Diese Anzeige muss nur Zahlen und Kommastellen darstellen können. Bei einfachen Geräten sind die Einheiten dazu am rechten Ende der Anzeige aufgedruckt.

Die Segmente ergeben zusammengesetzt – wenn alle Segmente aktiviert werden – eine 8. Mit den Segmenten der 8 können alle Zahlen von 0 bis 9 dargestellt werden (7-Segment-Anzeige, die 8 besteht aus sieben Segmenten):



**Abb. 15:** LCD-Anzeige, 4-stellig (©Schumann)

Jedes Segment kann mit dem Anlegen einer Spannung (das erledigt ein kleiner Prozessor) ein- und ausgeschaltet werden (Spannung ein = Segment sichtbar).

Die Anzeige hat nur eine begrenzte Auflösung, in unserem Beispiel kann sie nur eine Stelle nach dem Komma anzeigen. Alle kleineren Werte müssen auf- bzw. abgerundet werden. Wenn die oben gezeigte Anzeige z.B. Volt anzeigt, so ist die Auflösung 100 mV, also 0,1 V. Die Anzeige kann also nur Werte innerhalb eines bestimmten Rasters anzeigen.

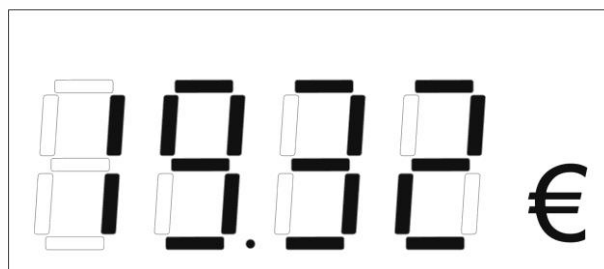
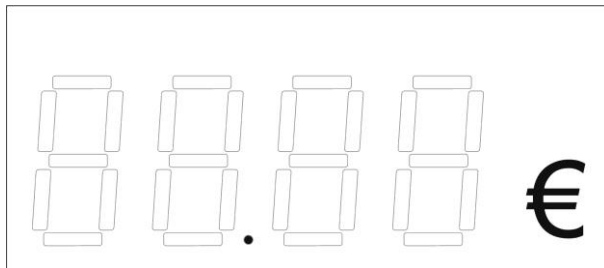


# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## Aufgabe:

Blanko-Preisschilder aus 7-Segment-Anzeigen erstellen.

Es können Preise festgelegt werden, durch Ausmalen der entsprechenden Segmente:



**Abb. 15:** Preisschilder mit Segmenten zum Ausfüllen (©Schumann)

## Impulsfrage:

Wie könnten die Segmente aussehen, wenn Buchstaben dargestellt werden sollen?  
Anders formuliert: wie müsste man das Segment-System gestalten, damit sich alle Buchstaben darstellen lassen? Tipp: Erlaubt sind auch diagonale Segmente.

## Digitale Aufzeichnung auf Magnetband oder Magnetdisk:

Im Gegensatz zur analogen Musikkassette (siehe weiter oben im Text) werden auf dem digitalen Magnetband (meist Video-Aufzeichnung) bzw. auf der Minidisk digitale Informationen aufgebracht, also nur «Null» und «EINS»-Signale. Beim Anschluss an einen Computer müssen diese Daten nicht erst digitalisiert werden, sondern können direkt eingelesen werden. Für die Wiedergabe über einen Verstärker müssen die Signale dann mit Hilfe eines D/A-Wandlers und den zugehörigen Filtern wieder in analoge Signale gewandelt werden.

Vorteil der Disk gegenüber der Kassette: Auf der Disk kann – ähnlich wie auf einer Computerfestplatte – ein Inhaltsverzeichnis angelegt werden. Durch den beweglichen und schnellen Lesekopf können beliebige Stellen auf der Disk direkt aufgerufen werden. Dies war eine grosse Errungenschaft gegenüber den analogen Medien bzw. den Bandlaufwerken.

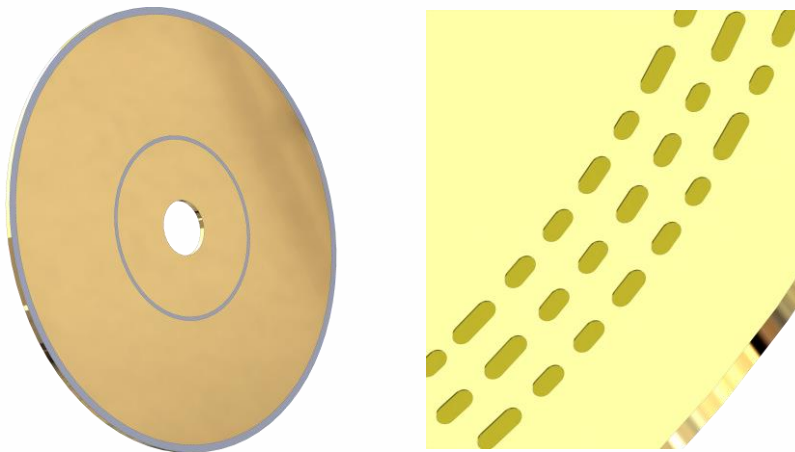


# ANALOGE UND DIGITALE TECHNIK

## Daten auf CD / DVD:

Im Gegensatz zur Minidisk oder dem digitalen Magnetband wird bei einer CD oder DVD kein magnetisches Medium eingesetzt. Bei einer CD, die wir selber beschreiben können, werden mit Hilfe eines Laserstrahls digitale Informationen aufgebracht und – bei wiederbeschreibbaren CDs und DVDs – auch wieder gelöscht («eingeschmolzen» durch die Energie des Lasers). CDs, die kommerziell hergestellt werden, werden mit Hilfe einer Matrize (Master-CD aus Glas) gepresst. Diese können nicht gelöscht oder beschrieben werden. Ein Laserstrahl dient zum Ablesen der Informationen.

Die digitalen Informationen sind in Form von „Pits“ (Vertiefungen auf der Oberseite bzw. Erhebungen auf der Unterseite) und „Lands“ (die Fläche dazwischen) vorhanden. Neben der eigentlichen Dateninformation (z.B. Musik) werden noch Informationen zur permanenten Justage des Lasers aufgebracht. Natürlich gibt es auch ein Inhaltsverzeichnis und Informationen, z.B. bezüglich der Länge und des Namens eines Musikstücks. Ausserdem werden Kontrollinformationen mitgegeben, welche im Falle eines (leichten) Kratzers fehlende Informationen ersetzen können.



**Abb. 16:** CD, Vergrößerung mit Pits und Lands (schematische Darstellung) (©Schumann)

Die CD wird übrigens – im Gegensatz zu einer Schallplatte – von innen nach aussen gelesen und beschrieben. Der Abtastvorgang mit dem Laser erfolgt von der Unterseite.

Die Pits haben eine Länge von 0,833 bis 3,054  $\mu\text{m}$  und eine Breite von 0,5  $\mu\text{m}$ . Die Spiralspur hat etwa eine Länge von 6 km. Bei einer DVD sind die Informationen noch um Einiges dichter als bei einer CD aufgebracht. Hier können noch viel mehr Daten gespeichert werden. Bei einer Blue-Ray-Scheibe hat man die Dichte der Informationen noch einmal um das 5-fache erhöht. Der abtastende Laserstrahl muss dementsprechend noch viel präziser gebündelt und eingestellt sein.

# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## Digitalkamera

In einer Digitalkamera findet man anstelle eines lichtempfindlichen Films einen Sensor mit einem sehr feinen Raster (je feiner das Raster, desto höher die Auflösung), welcher die Bildinformationen aus dem Objektiv auffängt und als digitale Information auf einem Speicherchip abspeichert. Diese Daten können direkt auf den Computer übertragen und dort gespeichert oder weiter verarbeitet werden.

## Datenverarbeitung im Computer:

Alle Daten, welche in einem Computer verarbeitet oder gespeichert werden, sind digital codiert, und zwar im Binärcode. Das bedeutet: der Computer kann nur mit den Werten „Null“ und „Eins“ rechnen. Dazu verwendet er eine Zeichenkette mit einer bestimmten Länge. Wenn ein Computer mit eine Zeichenkette von 16 Zeichen rechnet, nennt man das „16-Bit-Architektur“. Man sagt auch: der Computer rechnet mit eine „Word-Breite“ von 16 Bit. Durch die Verwendung des Binärcodes ergeben sich immer nur Zahlen (Länge der Zeichenkette), die aus der Potenzierung der Zahl 2 entstehen, also  $2^3 (= 8)$ ,  $2^4 (= 16)$ ,  $2^5 (= 32)$ ,  $2^6 (= 64)$  usw.

Moderne Computer und Softwareprogramme arbeiten heute mit einer «Word-Breite» von 64 Bit.

Das sind:

18 Trillionen, 446 Billiarden, 744 Billionen, 73 Milliarden, 709 Millionen, 551 Tausend, 616 Stellen (also Nullen oder Einsen). Das ermöglicht einem Computer unter anderem, sehr grosse Datenblöcke zu speichern oder zu verschieben.

## Lochstreifen:

Früher – vor der Erfindung von elektronischen Rechenmaschinen – konnte man einfache mechanische Programme (z.B. für mechanische Rechenmaschinen) auf Lochstreifen ablegen. Der Lochstreifen ist eine schmale Papierrolle (auch: Metall oder Kunststoff), die auf einer Spule aufgewickelt ist. In den Streifen wurden Löcher gestanzt, die einen bestimmten Programmablauf darstellten. Um das Programm zu lesen, musste ein mechanischer Fühler (später auch eine Lichtschranke) über den Lochstreifen geführt werden. Der Fühler gab die Information aus der Lochsequenz an eine mechanische Apparatur weiter; daraus resultierten dann bestimmte Bewegungsabläufe. Bei einer mechanischen Fakturiermaschine fuhren dann grosse Schlitten auf Führungsschienen hin und her und addierten z.B. Zahlenkolonnen.

Mit Hilfe eines Lochstreifens konnten auch Musikgeräte gesteuert werden, wie z.B. eine Drehorgel.

Möglicherweise war dies die erste digitale Programmierfunktion (Null oder Eins, Loch oder kein Loch).

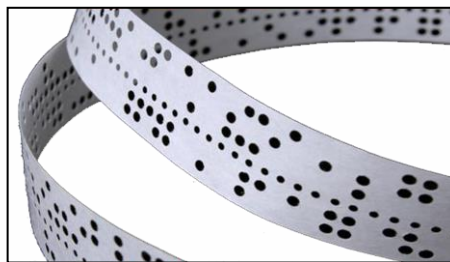


Abb. 17: Lochstreifen (©Schumann)

# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## Morsen:

Beim Morsen werden Zeichencodes gesendet, welche grundsätzlich die Zustände «AN» und «AUS» kennen. Als Zeichengeber können eine Lichtquelle oder eine Tonquelle, aber auch Funksignale dienen. Da der Morsecode aus einer Länge von zwei bis maximal fünf Zeichen besteht, musste man noch zwischen langen und kurzen Zeichen unterscheiden, um genügend Kombinationen für ein vollständiges Alphabet und die Zahlen 0 bis 9 zu bekommen:

A	· —	N	— ·	0	— — — —
B	— · · ·	O	— — —	1	· — — — —
C	— · — —	P	— · — ·	2	· · — — —
D	— · · ·	Q	— — — —	3	· · · — —
E	·	R	· — ·	4	· · · · —
F	· · — ·	S	· · ·	5	· · · · ·
G	— — — ·	T	—	6	— · · · ·
H	· · · ·	U	· — —	7	— — — · ·
I	· ·	V	· · — —	8	— — — · · ·
J	· — — — —	W	· — — —	9	— — — — ·
K	— — — ·	X	· · — — —		
L	· — · · ·	Y	— — — · ·		
M	— —	Z	— · · ·		

Abb. 18: Der Morsecode (©Schumann)

## Flachbildschirm:

Ein LCD-Flachbildschirm ist ähnlich aufgebaut wie die LCD-Segmentanzeige (siehe Beschreibung weiter oben im Text). Auf einer Trägerplatte sind sehr viele Flüssigkristallelemente (LCD = Liquid Crystal Display) in einem festen Raster angeordnet. Jedes einzelne Segment – in Form eines Rechtecks – kann separat angesteuert werden (hier ist ein spezieller Grafikprozessor im Einsatz). Immer drei Pixel in den Farben rot, grün und blau folgen aufeinander. Durch die gezielte Ansteuerung der einzelnen Farbpixel in hoher Geschwindigkeit entsteht auf der Vorderseite des Bildschirms ein farbiges Bild.

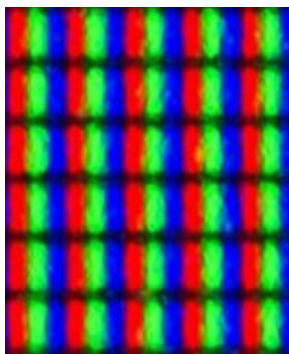


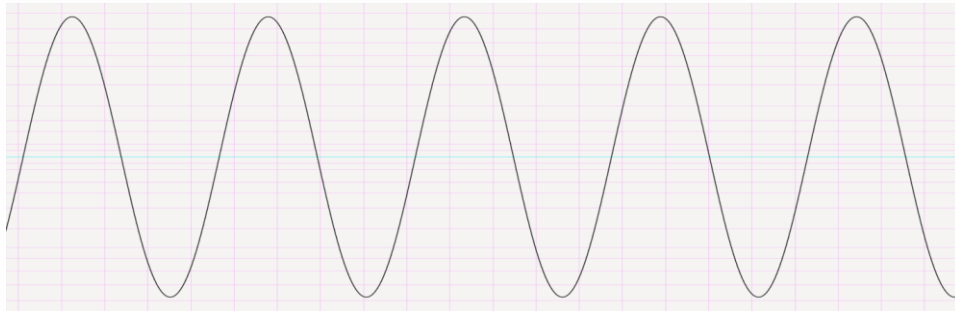
Abb. 19: Anordnung der farbigen LCD-Segmente auf dem Bildschirm (starke Vergrößerung) (©Schumann)



## 4 Analog / Digital - Wandler (A / D - Wandler)

Ein Analog-Digital-Wandler wandelt ein analoges Signal, in unserem Beispiel eine Schallwelle, die bereits in eine elektrische Spannung umgewandelt wurde, in ein digitales Signal, also in einen computerlesbaren Code, eine binäre Zahlenfolge um.

Die Ausgangslage in diesem Umwandlungsprozess ist also, dass eine Spannungskurve - bei einem einzelnen sauberen Ton im Idealfall in Form einer Sinusfunktion - vorliegt.



**Abb. 20:** Kurve des Kammertons «A» mit einer Frequenz von 440 Hz (©Schumann)

Diese Kurve wird nun „abgetastet“. Man kann sich das so vorstellen, dass die vorliegende Sinuskurve zum einen seitlich abgetastet, also messend (Spannungshöhe) erkundet wird, und zum anderen zusätzlich von unten abgetastet (ebenfalls also: messend, zeitlicher Verlauf, erkundet) wird.

Die Grafik im Folgenden stellt den „Abtastvorgang“ an einem einfachen 3-Bit-Wandler bildlich dar.

3 Bit bedeutet: es existieren drei Stellen, die jeweils mit Nullen oder Einsen besetzt werden können, daraus ergeben sich 8 Möglichkeiten für ein Ergebnis, die sich der Grösse nach ordnen lassen. Die erste Ziffer von rechts steht für den Wert 1, die zweite Ziffer für den Wert 2 und die dritte Ziffer (ganz links) für den Wert 4.

Daraus ergibt sich:

111 = 7	(1 x 1, 1 x 2, 1 x 4; zusammengezählt 7)
110 = 6	(0 x 1, 1 x 2, 1 x 4; zusammengezählt 6)
101 = 5	(1 x 1, 0 x 2, 1 x 4; zusammengezählt 5)
100 = 4	(0 x 1, 0 x 2, 1 x 4; zusammengezählt 4)
011 = 3	(1 x 1, 1 x 2, 0 x 4; zusammengezählt 3)
010 = 2	(0 x 1, 1 x 2, 0 x 4; zusammengezählt 2)
001 = 1	(1 x 1, 0 x 2, 0 x 4; zusammengezählt 1)
000 = 0	(0 x 1, 0 x 2, 0 x 4; zusammengezählt 0)

# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

Die 3 Bit bzw. 8 Möglichkeiten bedeuten, dass die Sinuskurve seitlich (Messung der Spannungshöhe) an 8 Punkten „abgetastet“ wird. An den Messpunkten wird die Spannung in Volt bzw. wie in unserem Beispiel in mV gemessen. Für das Beispiel unten: Der unterste Messwert liegt bei minus 3 mV, der oberste Messwert bei plus 3 mV. Für die Strecke vom oberen Scheitelwert zum unteren Scheitelwert werden also acht Spannungswerte ermittelt (Transformation Kurve - 8 Messwerte). Die Messwerte werden dann aber nicht als Angaben in Volt, sondern als die ihnen entsprechenden binären Zahlen erfasst. Zwischenwerte kann das System nicht erfassen, es muss immer ab- oder aufgerundet werden.

In unserem Beispiel also: minus 3 mV = Binärwert «0», plus 3 mV = Binärwert «6».

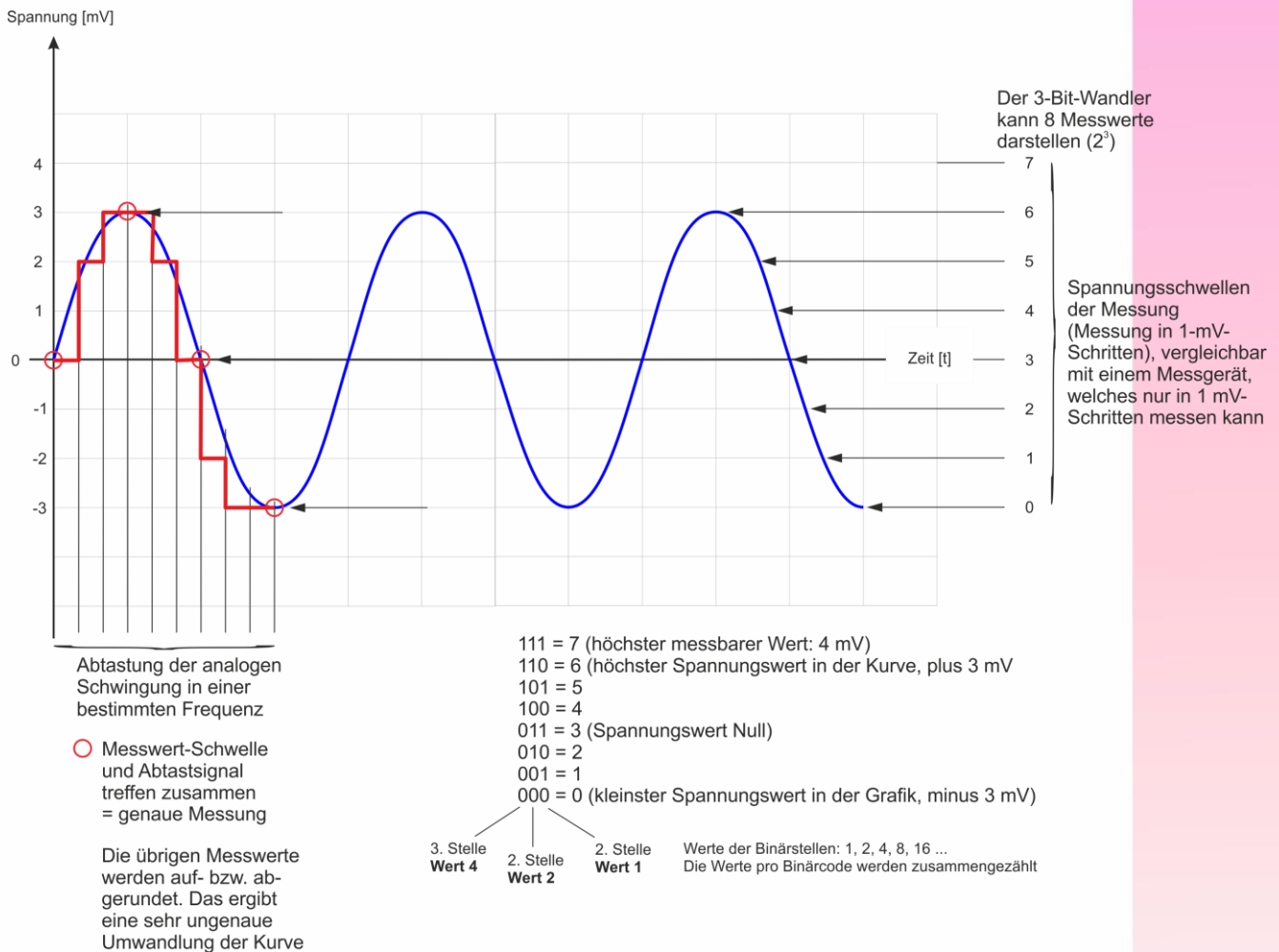


Abb. 21: Funktionsweise eines einfachen 3-Bit Wandlers (©Schumann)



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

Noch einmal anders formuliert:

Beim 3-Bit-Wandler wird eine analoge Kurve abgetastet. 3 Bit bedeutet: es existieren drei Stellen, welche jeweils die Werte 0 oder 1 annehmen können, z.B. 001, 101 oder 100 usw. Hieraus ergeben sich also  $2^3 = 8$  verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, so dass ein 3-Bit Wandler eine Spannungskurve in 8 digitale Werte übersetzen kann.

- 000 = 0 (kleinster Spannungswert in der Grafik, minus 3 mV)
- 001 = 1
- 010 = 2
- 011 = 3 (Spannungswert Null)
- 100 = 4
- 101 = 5
- 110 = 6
- 111 = 7 (höchster Spannungswert in der Grafik, plus 3 mV)

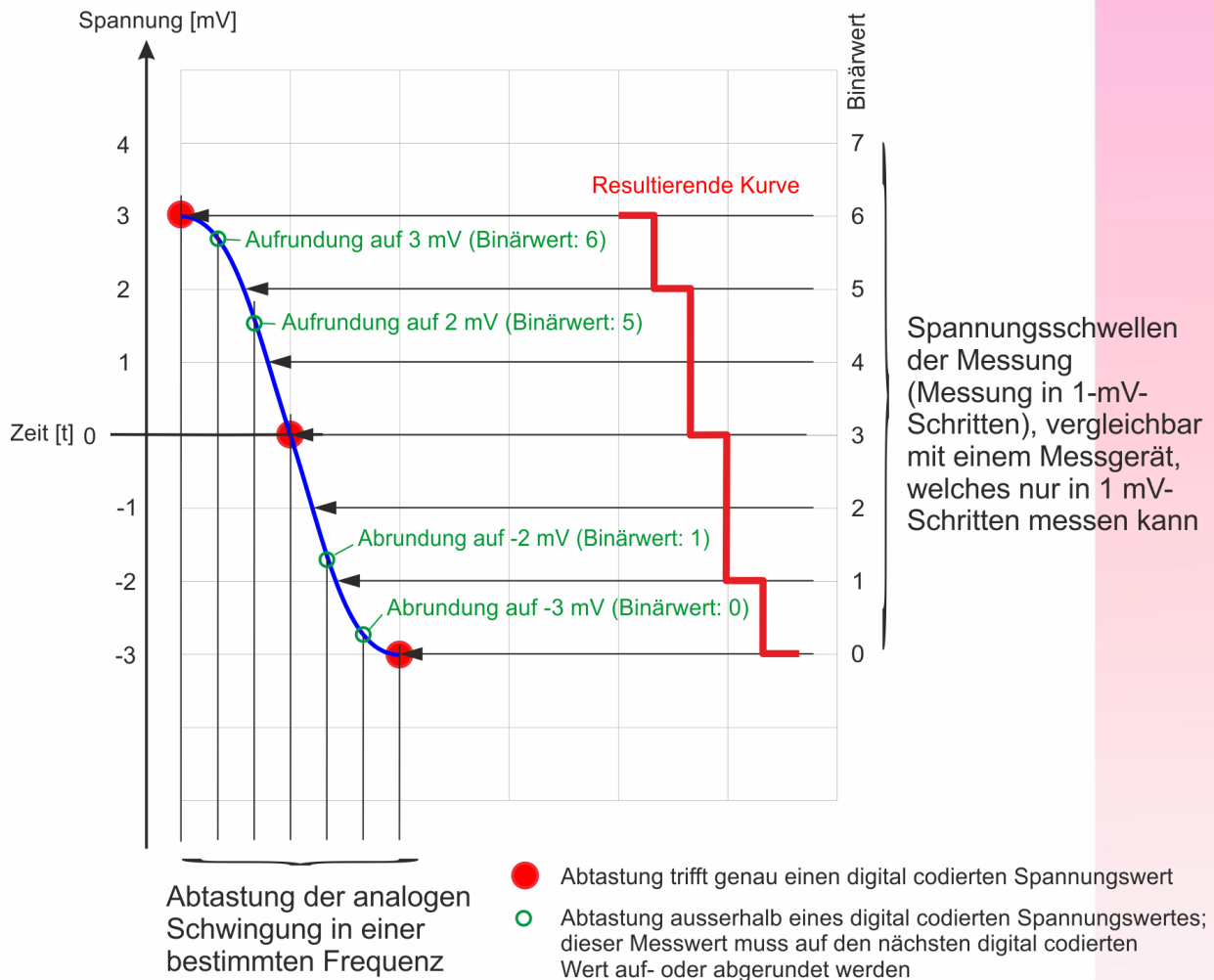


Abb. 22: Abtastung durch 3-Bit Wandler (©Schumann)

Man kann schnell erkennen, dass das Ergebnis dieser Wandlung nicht sehr befriedigend ist. Es kommt durch die auf- und abgerundeten Werte zu Abtastfehlern (Quantisierungsfehlern).



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## Grafikbeispiel für 4-Bit-Wandler

Im zweiten Beispiel wurde die Bit-Rate um nur 1 Bit erhöht. Die Messwerte verdoppeln sich von 8 auf 16 (für den Gleichen Bereich). Bei gleicher Abtastfrequenz sind schon deutlich mehr genaue Messpunkte vorhanden.

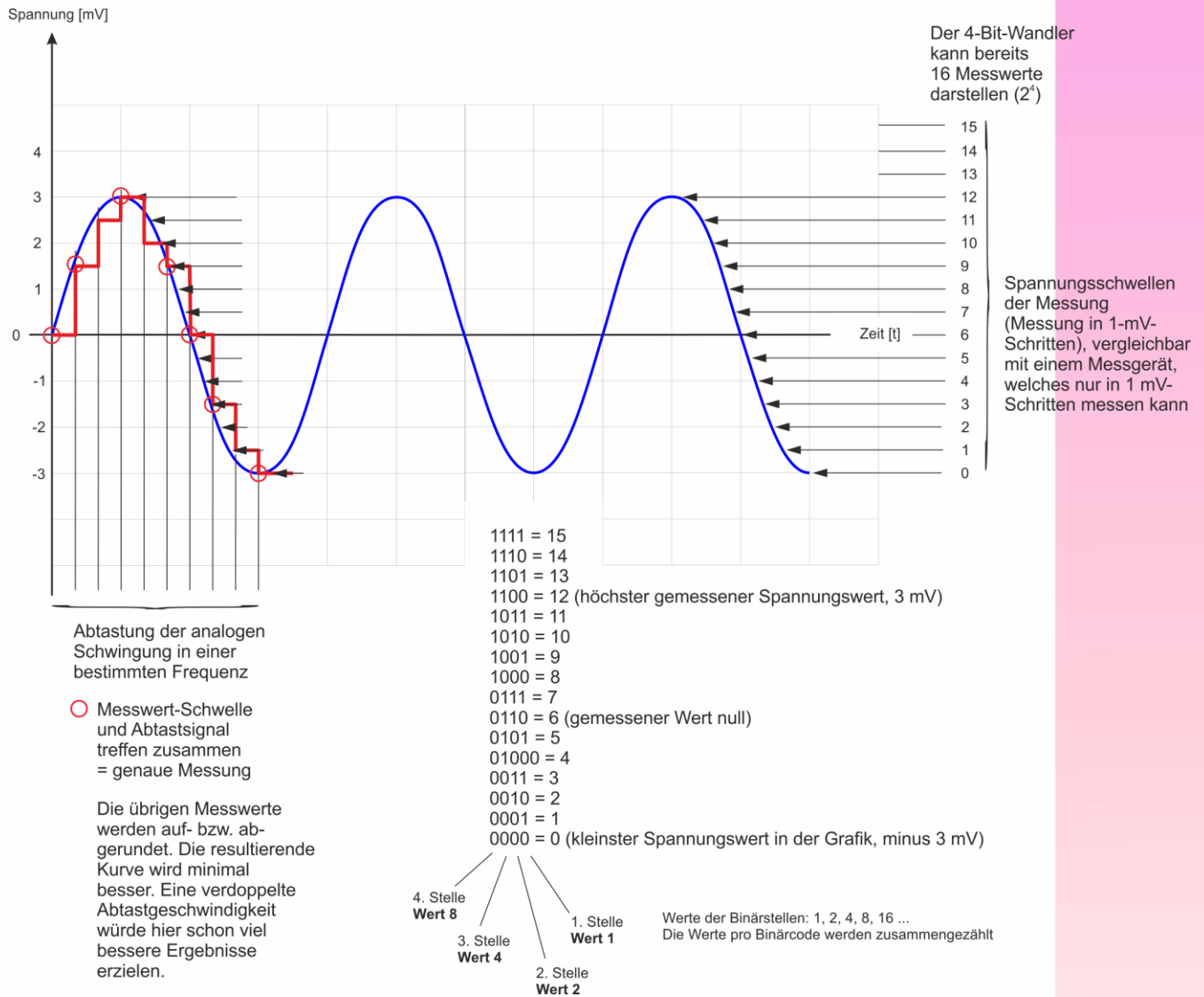


Abb. 23: Abtastung durch 4-Bit Wandler (©Schumann)

Das Ergebnis ist auch noch nicht wirklich brauchbar, aber man erkennt eine Verbesserung.

– Überlegung:

Wenn man die Abtastrate im zweiten Beispiel auch noch verdoppeln würde, so würde schon eine viel bessere Kurve erzeugt werden.



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

## Beispiele für Bitraten

man spricht auch von „Auflösung“, das Signal ist also gut oder schlecht aufgelöst.

Tonstudio:                    24 bit:  $2^{24}$     = 16.777.216 Messwerte \*)

CD-Musikqualität:        16 bit:  $2^{16}$     =        65.536 Messwerte

Telefon:                     8 bit:  $2^8$         =        256 Messwerte

3-bit-Wandler                 $2^3$         =        8 Messwerte

\*) Gute Programme mit leistungsfähigen Computern können die Audio-Bearbeitung mit 32 Bit-Auflösung durchführen. Damit reduziert man die Verluste während der digitalen Bearbeitung von Tonaufnahmen auf ein Minimum.

In der Praxis (CD-Spieler, andere digitale Wiedergabegeräte) werden Musiksignale mit 44.100 Hz (44,1 kHz) abgetastet.

Weitere Abtastraten, wie sie im Tonstudio verwendet werden:

48 kHz (entwickelt sich zum neuen Standard und löst 44,1 kHz ab)

96 kHz

192 kHz

Wenn man ein Tonsignal mit 20 kHz (das ist der oberste Frequenzbereich, den ein durchschnittliches menschliches Gehör noch als Ton wahrnehmen kann) digital abtasten will, so muss die Abtastfrequenz doppelt so hoch sein (Abtasttheorem Nyquist-Shannon). Daher: Abtastrate mindestens 40.000 Hz (aufgrund der angewendeten Rechen-Algorithmen in der Praxis: 44.100 Hz).

– Frage:

Warum verwendet man bei Video-Aufnahmen eine Abtastfrequenz von 48.000 Hz (48 kHz) und nicht 44.100 Hz?

Das liegt an der Ausführung der Video-verarbeitenden Geräte und den zugrundeliegenden Normierungen. Diese Geräte sind in der Regel nicht kompatibel zur niedrigeren Frequenz für den Ton.



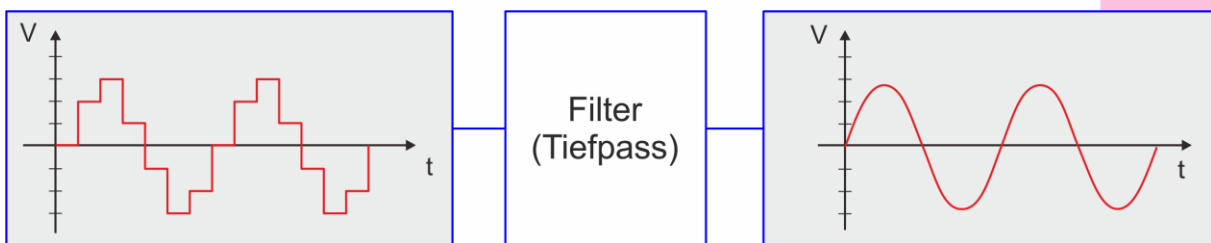
## 5 Analog / Digital - Wandler (A / D - Wandler)

Ein D/A Wandler funktioniert prinzipiell wie ein A/D Wandler, jedoch in umgekehrter Reihenfolge. Die digitalen Werte müssen wieder in Spannungen umgewandelt werden.

- Überlegung:  
Entstehen dabei nicht zwangsweise wieder Spannungsstufen und keine richtige runde Sinuswelle? Genauso ist es.

Nach der Umwandlung der digitalen Werte in Spannungen müssen die Stufen noch „ausgeschliffen“ werden, also wie wenn man mit einer Feile die Kanten abfeilen würde.

Hierzu verwendet man elektronische Filter, welche aus Kondensatoren und Spulen bestehen. Im Beispiel unten wird ein „Tiefpass-Filter“ (TP) eingesetzt. Er macht das Signal träge, so dass die Stufen abgerundet werden.



**Abb. 24:** Der D/A Wandler (©Schumann)

In der Praxis kommt es hier auf die Qualität der verwendeten Bauteile und auf die Leistungsfähigkeit der Rechenprozessoren an.

Es gibt hochwertige Wandlerbausteine, die in den teuren Audiogeräten verbaut sind, und billige Varianten, die in den unteren Preisklassen von Wiedergabegeräten eingebaut werden.

Wenn man billige „Ohrstöpsel“ und MP3-Player verwendet, wird allein dadurch die Musikqualität schon so stark reduziert, dass sich der Einsatz von teuren Wandlern für solche Einsatzgebiete nicht lohnt.



# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

- Büro – Ablage                      früher: Aktenmappen, Ordner  
   heute: „Papierloses Büro“ (scannen / speichern)
- Wissen                                früher: Bücher, Lexika  
   heute: Internet

Wie können wir nun das Bestreben nach „Digitalisierung“ verstehen und einordnen? Im weitesten Sinne ist gemeint, für möglichst viele Anwendungen im Alltag – aber auch speziell in der Industrie und in der Administration – den Computer und die dezentralen Datenspeicher einzusetzen. Wir bezahlen online, wir reservieren im Restaurant einen Tisch – online. Wir identifizieren uns in Computernetzwerken mit unserem digitalen Personalausweis. In der Industrie und im Handwerk werden Konstruktionsdaten und Berechnungen digital ausgetauscht. Was auch schon geht: Fehlende Fertigungsteile werden automatisch nachbestellt. Der Zugriff auf unsere Daten kann von überall auf der Welt her erfolgen, das Gerät dazu tragen wir in unserer Hosentasche mit uns herum. Die Diagnose unserer defekten Heizung erfolgt, ohne dass ein Techniker zu uns kommen muss.

Die Ämter und Behörden sichern uns immer wieder zu, dass Amtswege vereinfacht werden sollen (ein Auto an- oder abmelden, ein Ausweisdokument verlängern), und verlorene Zeit in Wartezimmern entfallen soll.

Digitalisierung kann so aber auch bedeuten: Unsere Bewegungen werden registriert, unser Kaufverhalten dokumentiert.

Digitalisierung bedeutet neue Möglichkeiten, aber auch neue Risiken. Sehr genau und kritisch muss jeweils abgewogen werden, was man tun möchte. Im medizinischen Bereich gibt es neu z.B. die Möglichkeit einer Online-Sprechstunde, einer computerbasierte Beratung und sogar Diagnose, der Auswahl von Medikamenten nach Algorithmen, die entsprechend der Eingaben im Online-Formular Vorschläge machen. Sogar die Selbstdiagnose mit Apps auf dem Smartphone ist möglich. Man gibt selbst die an sich beobachteten Symptome ein, die App sagt uns, an was wir leiden.

In Bezug auf digitale Währungen (auch: Kryptowährungen) bedeutet Digitalisierung faktisch: Es gibt weltweit inzwischen schon weit über 1000 verschiedene digitale Währungen (Beispiele: Bitcoin, Token, Stellar, Tronix).

In der Industrie gibt es Überlegungen, dass Maschinen und Produktionsanlagen selbstständig miteinander kommunizieren und sich gegenseitig in digitalen Maschinenwährungen für ihre Arbeit bezahlen.

Ein weiterer wichtiger Faktor im Zusammenhang mit der Digitalisierung ist unsere Mobilität. Autonomes Fahren – die Tendenz „weg vom eigenen Auto“, automatische Fahrwegsteuerung, Optimierung von Zeit und Weg.





# ANALOGUE UND DIGITALE TECHNIK

Grundsätzlich scheint einer der Kernpunkte beim Thema Digitalisierung zu sein:

Es gibt die Möglichkeit, eigenes Entscheiden und Handeln abzugeben an digitale Systeme, die Möglichkeit, die Verwaltung und Steuerung Geräten zu überlassen, die uns umgeben, externen Systemen. Entscheidet man sich dafür, Entscheidungs- und Handlungsbereiche abzugeben, müssen wir auf diese Systeme vertrauen. Wir geben an sie, z.B. an Hochleistungscomputer, die Verantwortung ab - und diese Hochleistungscomputer stellen in Bruchteilen von Sekunden gigantisch viele Berechnungen an, um uns dann optimale Ergebnisse zu präsentieren. Im Sinne der Autonomieerhaltung und Verantwortungsübernahme muss daher besonders reflektiert überlegt werden, in welchen Bereichen man auf diese Weise Systemen Verantwortung übertragen will - und wo man Entscheidung und Handlung nicht aus der Hand gibt.

