

Analog vs. Digital

Wolfgang Hagen



Digital...



Wie war das vor einer Generation?

“Früher” < vor 1990/2005 < eine knappe Generation

Die waren alles getrennte Dinge:



Daher die Frage:

Was ist ‘das’ wichtigste Kennzeichen

des “Digitalen”,

in der Digitalen Kultur?



Antwort ...

Was ist 'das' wichtigste Kennzeichen

des "Digitalen",

in der Digitalen Kultur?

Medienintegration!

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

5

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG

... heisst?

Bis 1985 gab es Tageszeitungen und die öffentlich-rechtlichen Medien...

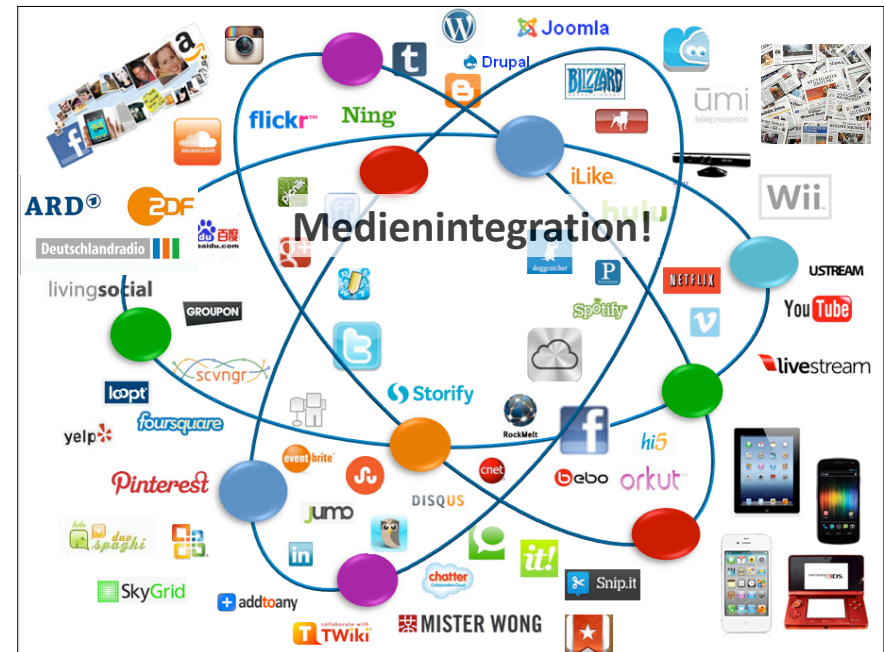
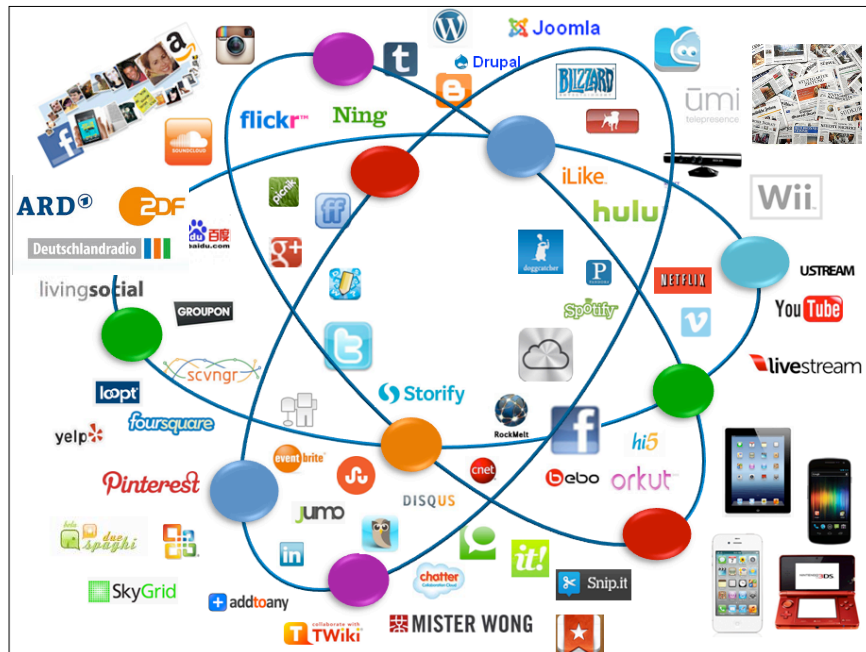


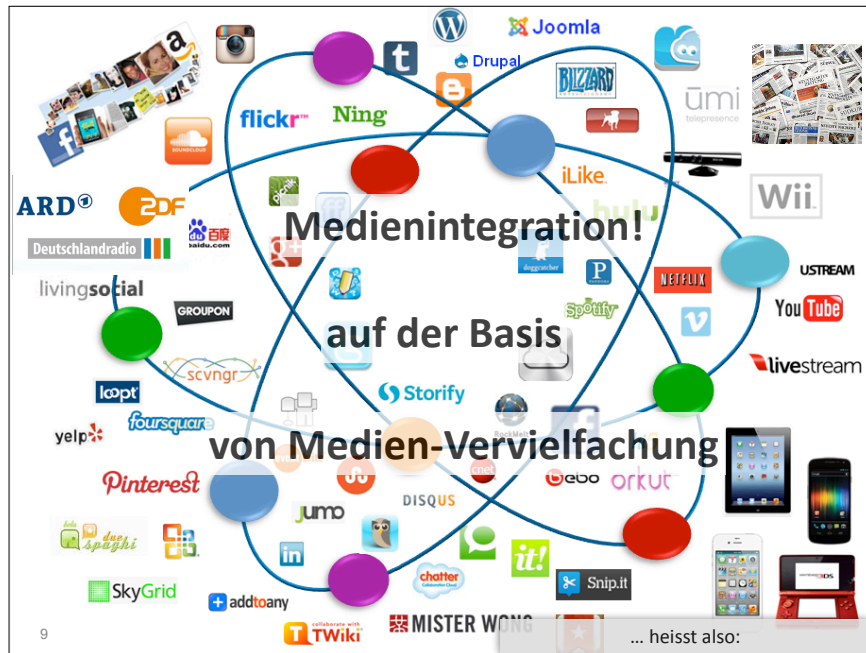
W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

6

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG

... und heute?





Medienintegration!

Digitale Medien ...

... integrieren mit Hilfe eines einheitlichen Codes vormals getrennte Medien (Text, Audio, Video).

Medienintegration!

Digitale Medien ...

... integrieren mit Hilfe eines einheitlichen Codes vormals getrennte Medien (Text, Audio, Video).

... verarbeiten Schrift, Bild, Sprache und Klang auf ein und demselben Gerät (wenn so gewollt).

Medienintegration!

Digitale Medien ...

... integrieren mit Hilfe eines einheitlichen Codes vormals getrennte Medien (Text, Audio, Video).

... verarbeiten Schrift, Bild, Sprache und Klang auf ein und demselben Gerät (wenn so gewollt).

... verändern Struktur, Produktionsweise und Organisation der "alten" Medien.

Medienintegration!

Digitale Medien ...

- ... integrieren mit Hilfe eines einheitlichen Codes vormals getrennte Medien (Text, Audio, Video).
- ... verarbeiten Schrift, Bild, Sprache und Klang auf ein und demselben Gerät (wenn so gewollt).
- ... verändern Struktur, Produktionsweise und Organisation der "alten" Medien.
- ... technisch: kennzeichnet vermindertes Rauschen.

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

13

Medienintegration!

Digitale Medien ...

- ... integrieren mit Hilfe eines einheitlichen Codes vormals getrennte Medien (Text, Audio, Video).
- ... verarbeiten Schrift, Bild, Sprache und Klang auf ein und demselben Gerät (wenn so gewollt).
- ... verändern Struktur, Produktionsweise und Organisation der "alten" Medien.
- ... technisch: kennzeichnet vermindertes Rauschen.
- ... ermöglichen verlustfreie Kopie und Reproduktion.

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

14

... mit einem Wort:

Was ist, worin besteht das "Digitale"?

(Frage von Claus Pias...)

"Hat jemand schon mal ein Bit in
freier Wildbahn gesehen?"

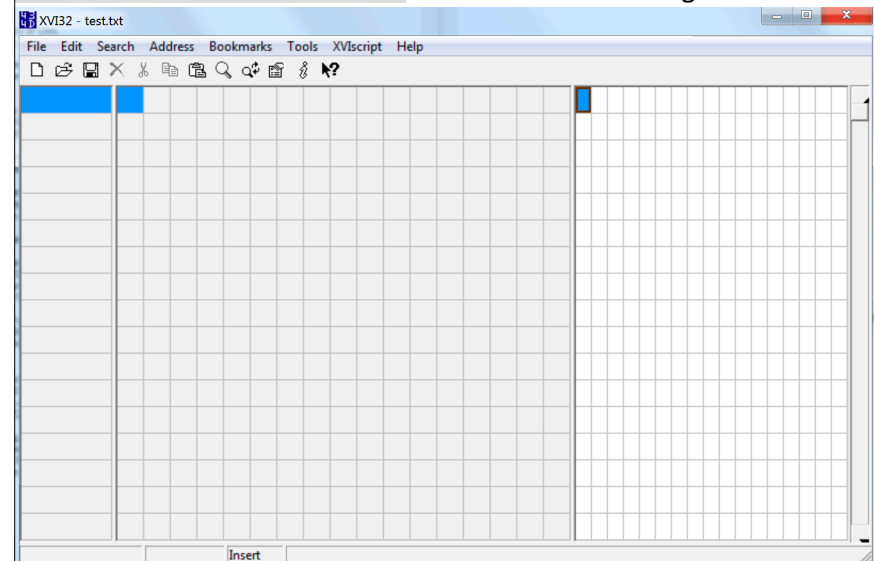
W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

15

Schaun wir uns ein Bit an...

Dazu nehmen wir einen speziellen Editor ...

Was ist das "Digitale"?



16

... und schreiben ein Wort ...

Was ist das "Digitale"?

... den "Text String" "Digital".

Was ist das "Digitale"?

Rechts die alphabetische, links die hexadezimale Darstellung

... wir schauen noch genauer ...

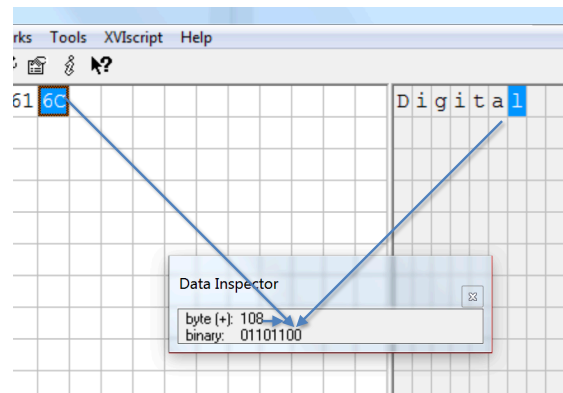
Was ist das "Digitale"?

... und sehen das "l" näher an ...

Was ist das "Digitale"?

... vier Darstellungen des 'Gleichen' ...

Was ist das "Digitale"?

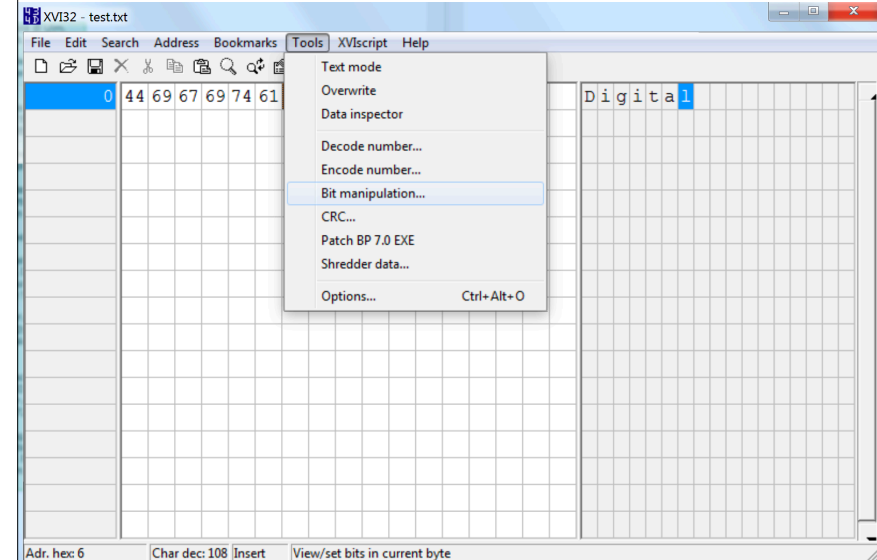


"6C", "l", "108", "01101100" sind Darstellungen / Codierung des gleichen Werts

21

...wir gehen auf "Bit"-Ebene

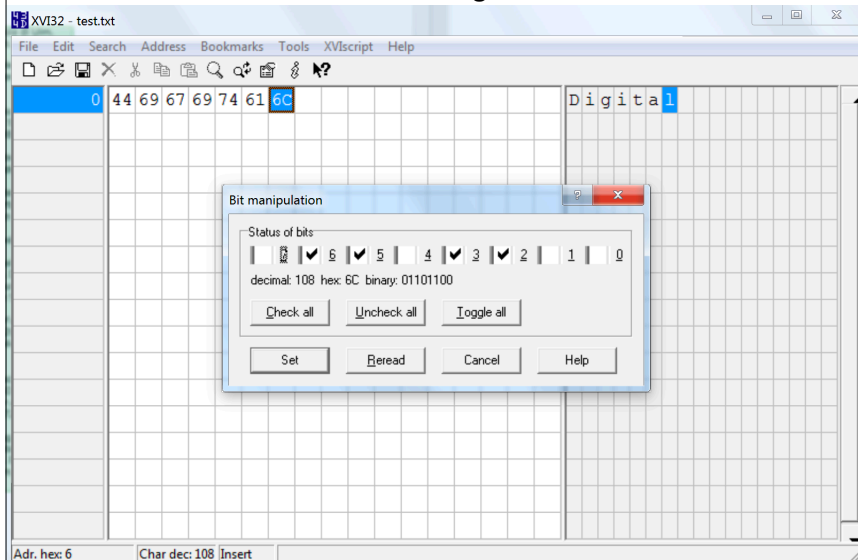
Was ist das "Digitale"?



22

... der Editor öffnet einen Dialog ...

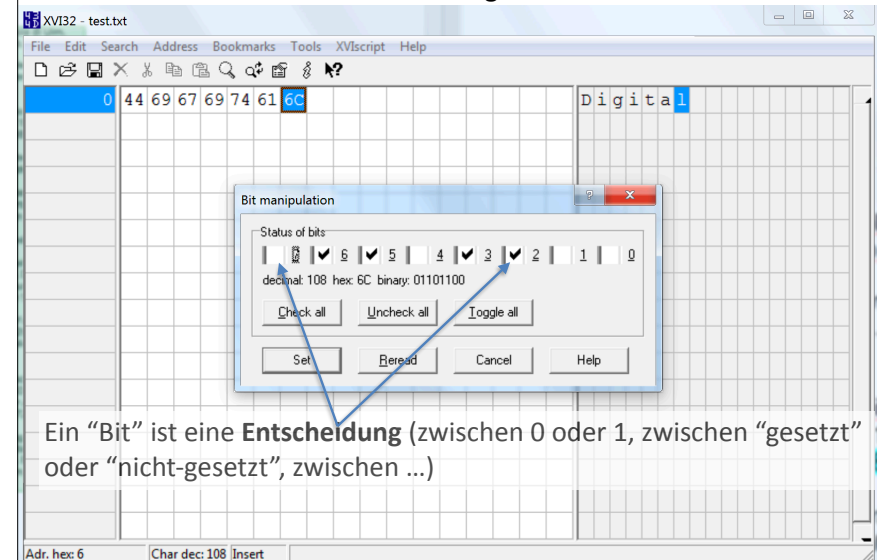
Was ist das "Digitale"?



23

Was ist ein "Bit"?

Was ist das "Digitale"?



24

...also setzen wir eins...

Was ist das "Digitale"?

Bit manipulation dialog box showing bit 1 checked. Status of bits: 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. decimal: 109 hex: 6D binary: 01101101. Buttons: Check all, Uncheck all, Toggle all, Set, Reread, Cancel, Help.

Adr. hex: 6 Char dec: 108 Insert

25 LEUPHANA ...Ergebnis:

Was ist das "Digitale"?

Adr. hex: 6 Char dec: 109 Insert

26 LEUPHANA ...dem zugrunde liegt eine Liste:

Was ist das "Digitale"?

Die ASCII (American Standard Code for Information Interchange) - Tabelle von 1963, 1972, 1986

dec	hex	Char	dec	hex	Char	dec	hex	Char	dec	hex	Char
0	00	(NUL)	32	20	[SP]	64	40	@	96	60	a
1	01	(SOH)	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	02	(STX)	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	03	(ETX)	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	04	(EOT)	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	05	(ENQ)	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	06	(ACK)	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	07	(BEL)	39	27	*	71	47	G	103	67	g
8	08	(BS)	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	09	(HT)	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	0A	(LF)	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	0B	(VT)	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	0C	(FF)	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	0D	(CR)	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	0E	(SO)	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	0F	(SI)	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	(DLE)	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	(DC ₁)	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	(DC ₂)	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	(DC ₃)	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	(DC ₄)	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	(NAK)	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	(SYN)	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	(ETB)	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	(CAN)	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	(EM)	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	(SUB)	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	(ESC)	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	(FS)	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	(GS)	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	(RS)	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	(US)	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	(DEL)

Adr. hex: 6 Char dec: 109 Insert

27 LEUPHANA ... Zusammengefasst:

Was ist das "Digitale"?

Adr. dec: 1 Char dec: 100 Insert

28 LEUPHANA

Was ist das "Digitale"?

The terminal window shows a hex dump of the text: "Die Digitaltechnik reduziert alle Inhalte auf Informationen aus 0 und 1". The hex values are: 3E 64 69 65 20 44 69 67 69 74 61 6C 74 65 63 68 6E, 69 6B 20 72 65 64 75 7A 69 65 72 74 20 61 6C 6C 65, 20 49 6E 68 61 6C 74 65 20 61 75 66 20 49 6E 66 6F, 72 6D 61 74 69 6F 6E 65 6E 20 61 75 73 20 30 20 75, 6E 64 20 31.

... so laufen die Kodierungen...

... Und was ist ein Flipflop?

The diagram shows a cross-coupled transistor circuit. The first lamp (L1) is lit (green), and the second lamp (L2) is unlit (white). The binary sequence "01100100" is shown with arrows pointing to the circuit states: "off on on off off on off off".

... Und was ist ein Flipflop?

Ein Flipflop ist eine elektronische Schaltung zweier Transistoren, die zwei stabile Zustände einnehmen und damit eine Datenmenge von einem Bit über eine unbegrenzte Zeit speichern kann.

The circuit diagram shows two transistors, T1 and T2, connected in a cross-coupled configuration. Each transistor's collector is connected to the base of the other. Resistors R1 and R2 are connected to the bases. Two lamps, L1 and L2, are connected to the collectors. A battery is connected to the circuit.

...zurück zu unserem Satz

... Wie viele Transistoren brauchen wir?

The diagram shows a cross-coupled transistor circuit. The first lamp (L1) is lit (green), and the second lamp (L2) is unlit (white). The binary sequence "01100100" is shown with arrows pointing to the circuit states: "off on on off off on off off".

... Wie viele Transistoren brauchen wir?

> Die Digitaltechnik reduziert alle Inhalte auf Informationen aus 0 und 1

3E 64 89 65 20 44 69 67 69 74 61 6C 74 65 63 68 6E
 69 6B 20 72 65 64 75 7A 69 65 72 74 20 61 6C 6C 65
 20 49 6E 68 61 6C 74 65 20 61 75 66 20 49 6E 66 6F
 72 6D 61 74 69 6F 6E 65 6E 20 61 75 73 20 30 20 75
 6E 64 20 31

Für die Darstellung des Text-Strings sind $72 \cdot 8 \cdot 2 = 1152$ Transistoren nötig

binary: 01100100

off on on off off on off off

Flipflop (Speicherschaltung)

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNBURG

33

Moderne Computer ...

Moderne Computer brauchen riesige Datenspeicher

10 TeraByte Festplatte

16 GigaByte RAM

Was heisst 10TB?

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNBURG

34

Moderne Computer brauchen riesige Datenspeicher

Bits:	87960930222080
Bytes:	10995116277760
Kilobytes:	10737418240
Megabytes:	10485760
Gigabytes:	10240
Terabytes:	10
Petabytes:	0.009765625
Exabytes:	0.000095367431640625
Zettabytes:	9.313225746154785e-9
Yottabytes:	9.094947017729282e-12

Terabytes (TB)	Megabytes (MB) decimal	Megabytes (MB) binary
10 TB	10,000,000 MB	10,485,760 MB

Was geht auf 10TB drauf?

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNBURG

35

Was lässt sich auf 10 TeraByte speichern?

Word Dokumente	858.993.450
Bücher (650 S)	1.321.520
Songs	2.000.000
Stunden Musik	170.000
Filme	2.500
Bilder	3.100.000

Terabytes (TB)	Megabytes (MB) decimal	Megabytes (MB) binary
10 TB	10,000,000 MB	10,485,760 MB

... Kein Vergleich zu den Data-Centers

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNBURG

36

Joe Kava "The Innovation behind Google's Data Centers" (8.3.2017, San Francisco)



5'

37

Wieviel Server betreibt Google?

Google betreibt vermutlich mehr als 2,5 Million Server, jeder mit vermutlich 10 TB Festplatten ausgestattet.



38

Welche Daten-Mengen sind das?

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

Google betreibt vermutlich mehr als 2,5 Million Server, jeder mit vermutlich 10 TB Festplatten ausgestattet.

= 2,5 Mio PetaByte
= 250 000 ExaByte
= 25 000 ZettaByte
= 2500 YotaByte
= $2,5 * 10^{27}$ Byte



39

Unter den 10 größten DC ist Google NICHT

Platz 10:
NAP of the Americas, Miami Florida, Six stories, and a floor area of around 70,000 square meters. Its construction was completed in 2001.



40

Platz 9:
Next Generation Data Europe, Wales UK, Europe's largest Data Centre for powerful cloud services, with 22000 racks over a million square feet.



41

Platz 8:
QTS Metro Data Centre, Atlanta USA, with 970,000 sq. ft. of total space one of the largest data centers in the world.



42

Platz 7:
Tulip Data Center, Bangalore India, 1 Mio Sq. Ft., largest data centre outside US and largest in Asia.



43

Platz 6:
Lakeside Technology Centre, Chicago USA, 1,1 Mio Sq.Ft., building with more than 100 megawatts of power (Facebook, IBM...).



44

Platz 5:
Microsoft Data Center, Iowa USA, 1,2M Sq.Ft., with cluster to reach 3.2M square feet.



Platz 4:
Utah Data Center, USA, 1,5M Sq.Ft., Data Center for the NSA, storage capacity as between 3 and 12 exabytes...

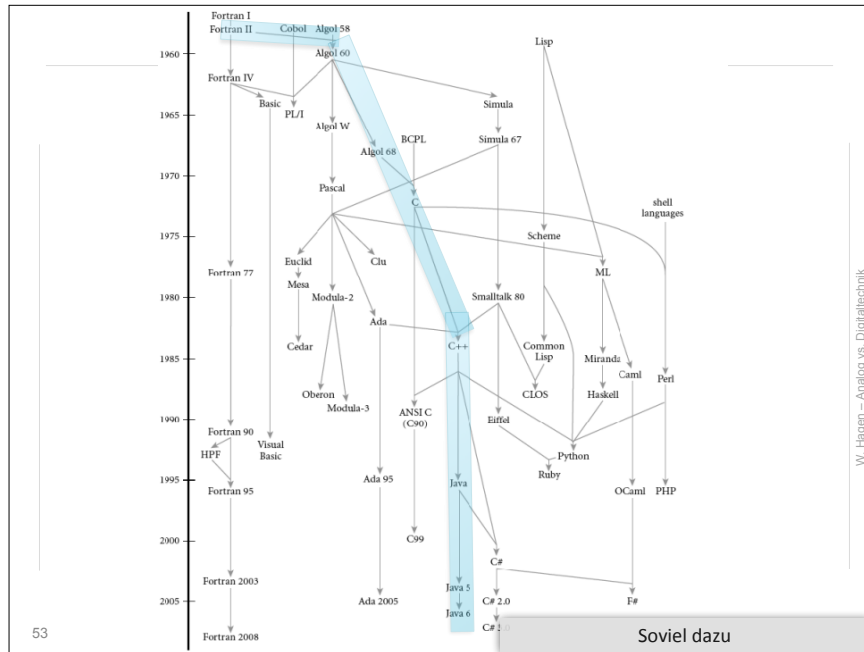


Platz 3:
DuPont Fabros Technology, Virginia USA, 1,6M Sq.Ft.,



Platz 2:
Switch SuperNAP, Nevada USA, 3,5M Sq.Ft., largest in the US





Abgrenzung und Definition: Analog / Digital

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG

54

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

Definition Analog / Digital

Analog

Analogie (griech. analogía; lat. proportio, proportionalitas; dt. Entsprechung, Verhältnisgleichheit; engl. analogy; frz. analogie; ital. analogía)

„In seinen Verhältnissen ähnlich, übereinstimmend, entsprechend.“ Analogie: Ähnlichkeit, Übereinstimmung. Ein Analogieschluß („Analogismus“) zieht aus der Ähnlichkeit zweier Dinge in gewissen Beziehungen Folgerungen auf ihre Ähnlichkeit zu andern. (Brockhaus' Kleines Konversations-Lexikon)

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG

Die Götter und die Sonne... 55

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

Definition Analog / Digital

Analog

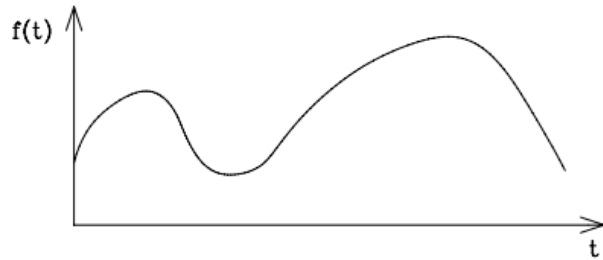
En varias culturas, Dios es una analogía del Sol pues ilumina

LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG

Was ist analog, mehr technisch gesehen?

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

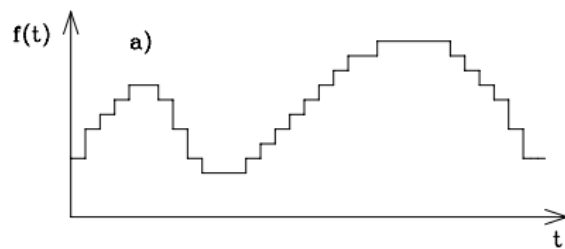
Analog



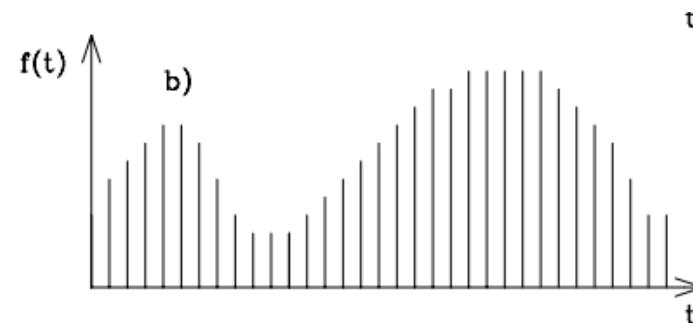
- Eine analoge Größe ist eine physikalische Größe, die innerhalb eines bestimmten Dynamikbereiches jeden beliebigen Wert annehmen kann.
- Sie ist zeit- und wertkontinuierlich ($0 \rightarrow \infty$)

Digitäl (lat.), die Finger oder Zehen betreffend.
[Digital. Meyers Grosses Konversations-Lexikon (1905)]

digital (digital). Aus dem englischen Wort »digit« (eine einzelne Ziffer) abgeleitete Bezeichnung für alle Vorgänge, die durch Verarbeitung von Ziffern erfolgen, oder von Daten, die durch Ziffern wiedergegeben werden. (Wörterbuch Physik)



Eine digitale Größe ist eine physikalische Größe, die innerhalb eines bestimmten Dynamikbereiches nur wertdiskrete Werte annehmen kann. Sie ist **wertdiskret** und **zeitkontinuierlich** ...






Eine digitale Größe ist eine physikalische Größe, die innerhalb eines bestimmten Dynamikbereiches nur wertdiskrete Werte annehmen kann. Sie ist **wertdiskret** und **zeitkontinuierlich** ...



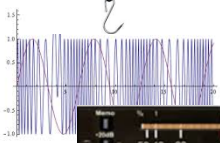

... oder **wert- und zeitdiskret**

Definition Analog / Digital

... analog, nicht-analog, kontinuierlich, diskret und digital ...

		Darstellung von Werten oder Zuständen		
		<i>kontinuierlich</i>	<i>diskret</i>	<i>digital</i>
Abbildungsverhältnis	<i>analog</i>	Sonnenuhr, Federwaage	Bahnhofsuhr mit springendem Zeiger	Zähler für Busgäste
	<i>nicht-analog</i>	Hygrometer, UKW-Signal	Balkenanzeige für Pegel	Werte an einer Skala






So viel dazu

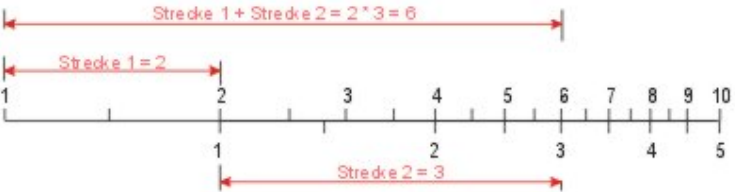
Messen und Zählen

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik




Messen und Zählen

Ein Rechenschieber - Analoge Multiplikation von Werten



Multiplikation auf einem Rechenschieber bedeutet die Addition zweier Strecken-Längen


Definiere "Länge"...


Messen und Zählen

International System of Units (SI)

Unit of length (meter)

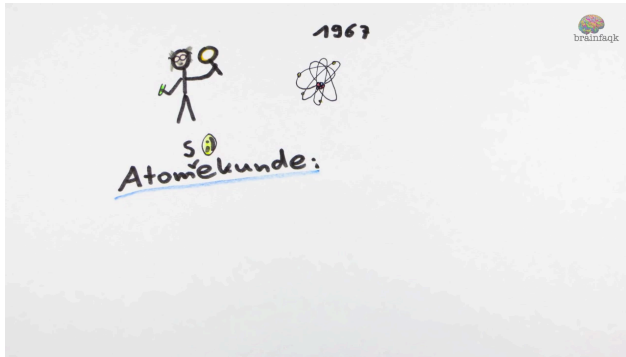
The meter is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of 1/299 792 458 of a second.

Ist das ein digitales oder analoges Maß?


Definiere "Sekunde"...

Messen und Zählen
International System of Units (SI)

Unit of time (second)



digital oder analog?

65

Messen und Zählen
International System of Units (SI)

Unit of time (second)



Das Plancksche Wirkungsquantum ist für jedes physikalische System, das harmonisch schwingen kann, der kleinstmögliche Energieumsatz. Größere Energieumsätze sind nur möglich, wenn sie ganzzahlige Vielfache dieses kleinsten Energiebetrages sind.

digital oder analog?

Weder noch! "Quantenmechanisch"

66

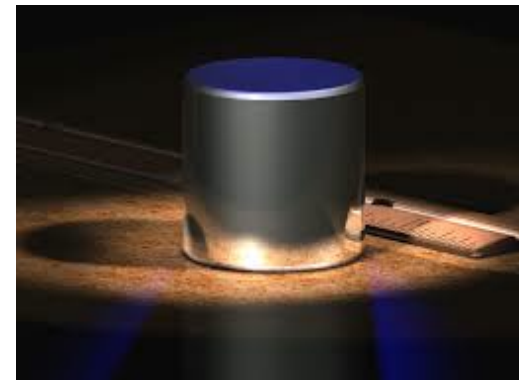
Messen und Zählen
International System of Units (SI)

Unit of mass (kilogram)

The kilogram is the unit of mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram.

67

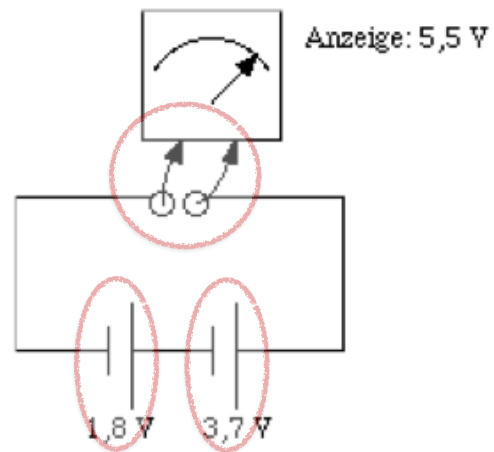
Messen und Zählen



"Urkilogramm" - Seine Masse ist festgelegt durch die des Internationalen Kilogrammprototyps, eines Zylinders aus Platin-Iridium, der vom Internationalen Büro für Maß und Gewicht, 'Pavillon de Breteuil' in Sèvres bei Paris, verwahrt wird.

68

Messen und Zählen



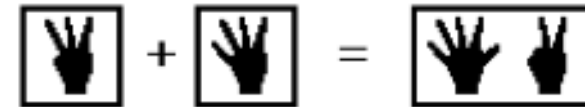
W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

69



Digital gehts so...

Messen und Zählen



W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

70



...mal etwas allgemeiner...

Messen und Zählen

Analoges Messen & Zählen

- ist definiert durch ein **physikalisches Verfahren**
- durch das eine **kontinuierliche Messung** erfolgt und
- diese Messung in **Analogie zu einer Rechenoperation** gesetzt wird.
- Die Operanden werden auf einer **kontinuierlichen Skala** eingestellt
- und das Ergebnis auf einer kontinuierlichen Skala abgelesen.
- Alle Größen sind von daher mit einer Messungengenauigkeit behaftet.
- (Heisenbergsche Unschärfe-Relation)

Digitales Messen & Zählen

- ist definiert durch eine **diskrete Darstellung der Operanden**,
- die die Größenabstände unmissverständlich und unverwechselbar **ohne einen Übergang** zwischen ihnen separat und **ohne Ungenauigkeit** repräsentiert.
- Nach einer **sprachlich gefassten Vorschrift**, einem **Algorithmus**, wird das Ergebnis Schritt für Schritt erzeugt
- und wieder diskret dargestellt.
- Das Paradigma des Digitalen ist die **diskrete Abzählen von Zahlen**.

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik



Soviel dazu

72

Digitalisierung

Digitizing / Digitization



...

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

Digitalisierung

Digital nennt man die Repräsentation eines Bildes, eines Klanges, eines Dokuments oder eines anderen analogen Datums oder Signals durch ein diskretes Set von Elementen.

Der Begriff **Digitalisierung** bezeichnet die Transformation analoger, und das heisst: kontinuierlicher Größen in abgestufte, diskrete Werte.

Diese Umwandlung erfolgt durch eine geeignete Form der **Abtastung** (auch Rasterung genannt) und eine geeignete Form der **Quantisierung**.

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

73

Digitalisierung

Abtastung

Quantisierung

Baseball fliegt durch den Raum



Langzeit-Belichtung, stroboskopisches Licht

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

74

Digitalisierung

Abtastung

Quantisierung

Baseball fliegt durch den Raum



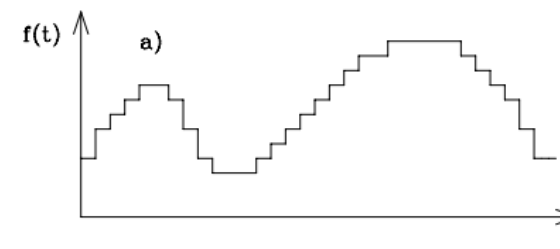
Raumlänge: 5 Meter
Ballgröße: 20 cm
Flughöhe: 90 cm
Stroboblitz: 300 Millisekunden
Ballgeschwindigkeit berechenbar

„Als Quantisierung bezeichnet man in der Signalverarbeitung, wie beispielsweise der Messtechnik oder Nachrichtentechnik, die Abbildung eines zeitdiskreten, kontinuierlichen Signals auf eine endliche Wertemenge.“

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

75

Definition Analog / Digital

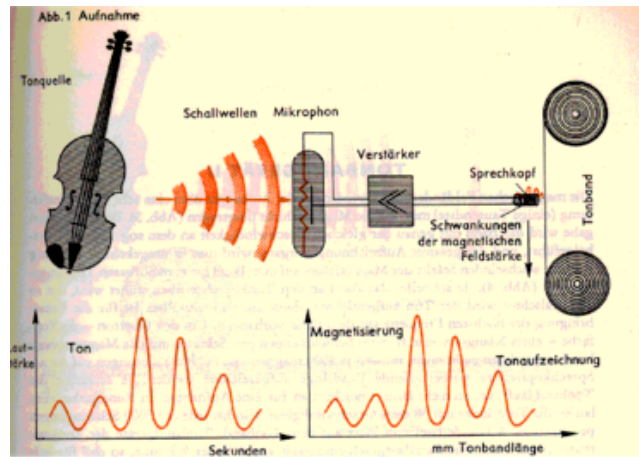


Eine digitale Größe ist **wertdiskret** und **zeitkontinuierlich** ...

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

76

Wie funktioniert eine analoge Aufnahme?

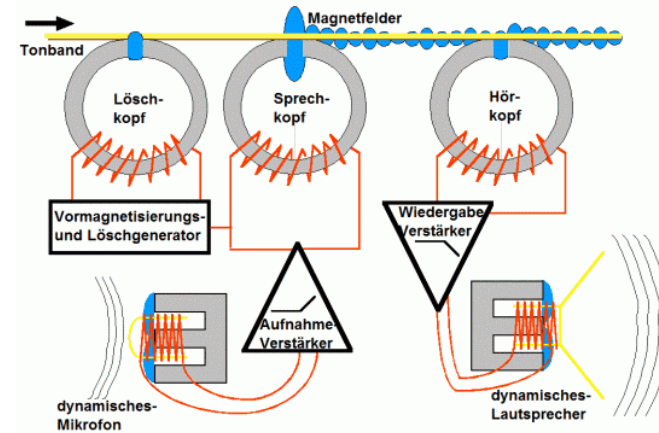


Schallwellen werden in analoge elektromagnetische Wellensignale umgewandelt

77

Bei Bandgeräten lief das so...

So wurden elektromagnetische Welleninformationen gespeichert



78

Ohne diese Technik - keine Popmusik

Die große Ära von Rock & Pop ...

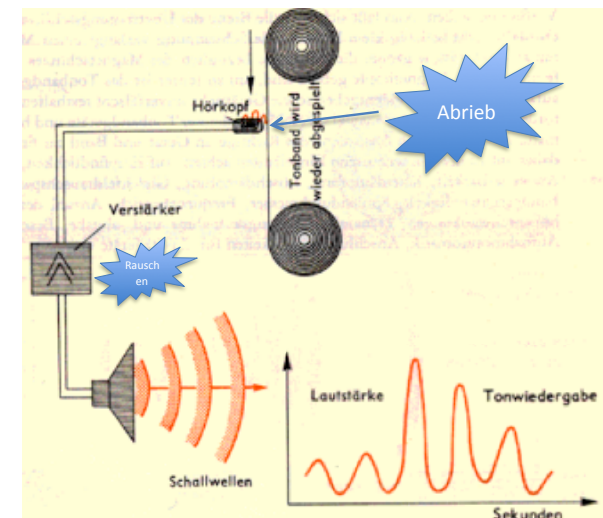


... überwiegend produziert auf AMPEX 440 (2-Spur, 4-Spur) und MM1000 16-track um 1980

79

Große technische Begrenzungen...

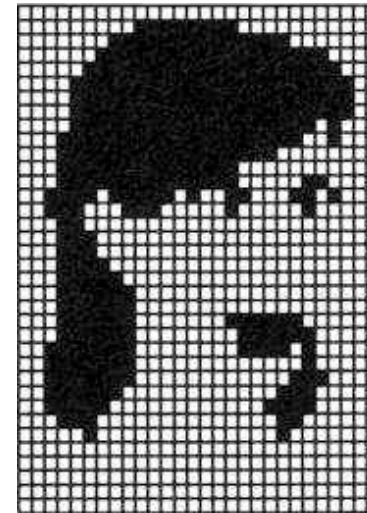
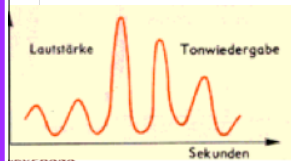
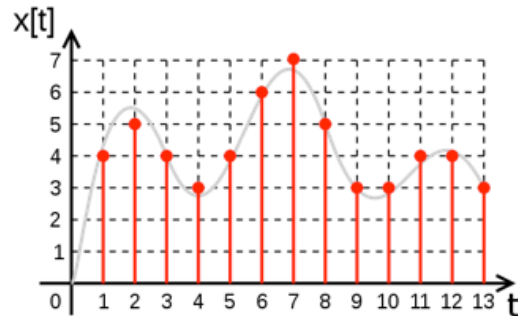
Probleme der Analog-Aufnahme: Abrieb, Geräte- und Bandrauschen



80

Diese Probleme löst die Digitalisierung...

Schallsignale werden im Zeit-Takt in diskrete elektronische Werte gewandelt



- Ein rechteckiges Feld aus Bildpunkten nennt man Rasterimage oder Cell Array.
- Die Größe wird durch die Zahl der Bildpunkte in X und Y-Richtung bestimmt.
- Ein Pixel ist die kleinste Einheit eines digitalen Bildes.
- Pro Bildpunkt oder Pixel werden wahlweise 1, 8 oder 24 Bits für die Darstellung der Farbinformationen verwendet (Farbtiefe).
- So können bitonale (schwarz-weiße) Bilder, Graustufenbilder oder Farbbilder gespeichert werden.



Abtastung -> Rasterung

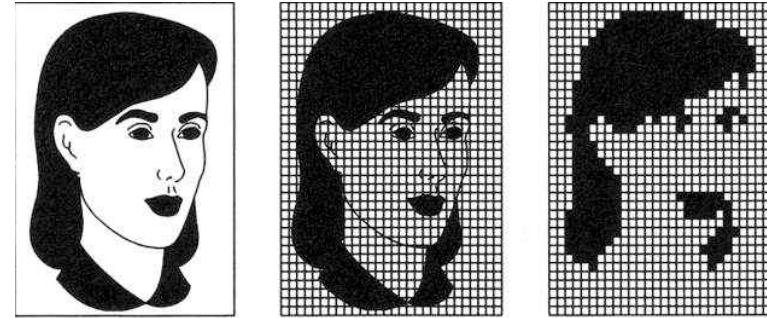


W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

85

nochmal zum Vergleich

Abtastung/Rasterung

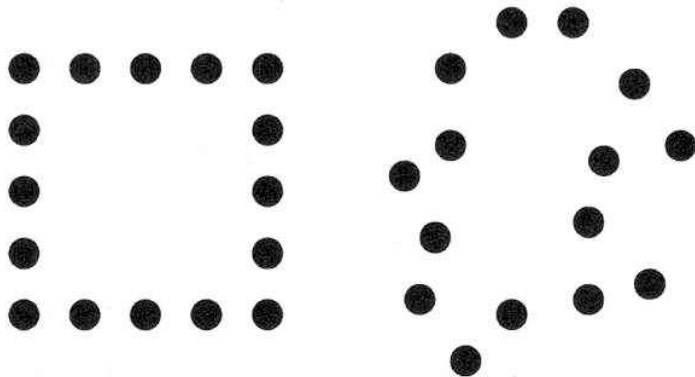


W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

86

Es gibt eine offensichtliche Untergrenze...

Abtastung/Rasterung



W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

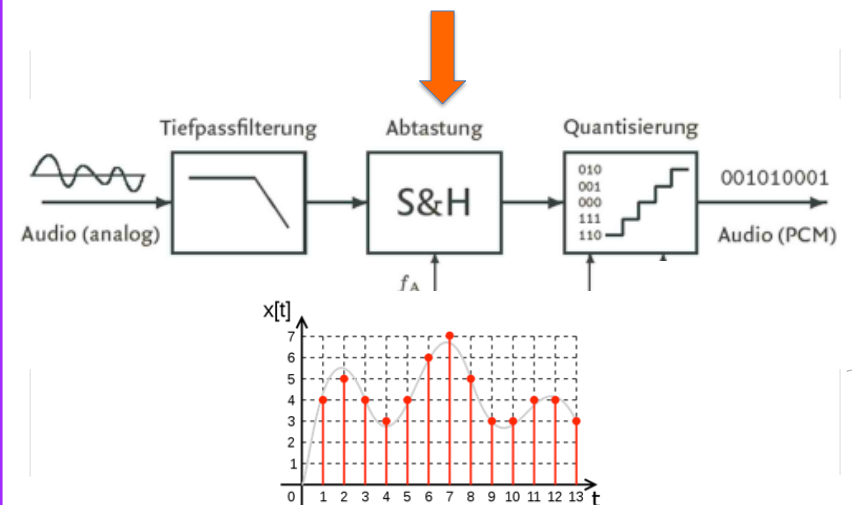
87

zurück zur Abtastung eines Audio-Signals...

Digitalisierung

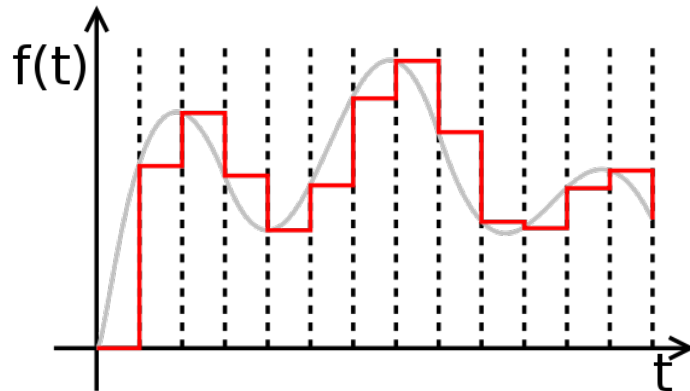
Abtastung

Quantisierung



88

Die "Sample&Hold" Einheit ist der Kern...



- "Sample & Hold"-Einheit muss in ausserordentlich kurzer Zeit einen Kondensator schalten, der die jeweilige Spannung, die in dem Abtastfenster gemessen wird, für einen Zeitraum hält.
- Dieser Zeitraum ist etwa 1 Mikro-Sekunden gross, also etwa der Millionste Teil einer Sekunde.

S&H

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

89

Nyquistsche Abtasttheorem

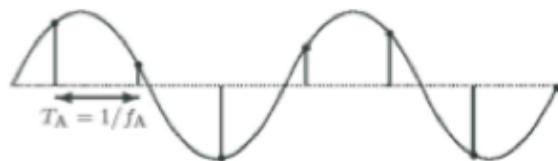
$$f_s > 2 f_g$$

 $f_s =$ Abtast-Frequenz

 $f_g =$ höchste abgetastete Frequenz

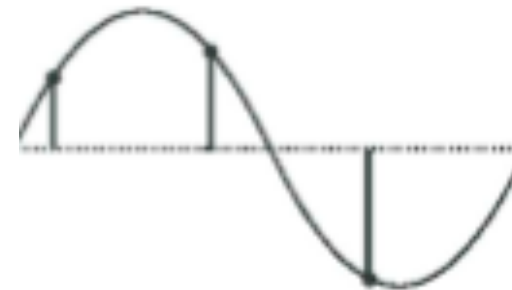
W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

90



W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

91



W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

92

Digitalisierung **Abtastung** Quantisierung

$T_A = 1/f_A$

ok

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

93 LEUPHANA Was ist, wenn nicht...

Digitalisierung **Abtastung** Quantisierung

?

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

94 LEUPHANA Zwei Perioden, zwei Abtastpunkte...

Digitalisierung **Abtastung** Quantisierung

Statt der originalen wird eine tiefere Frequenz erzeugt

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

95 LEUPHANA Bei einem Audio-Signal hört sich das so an:

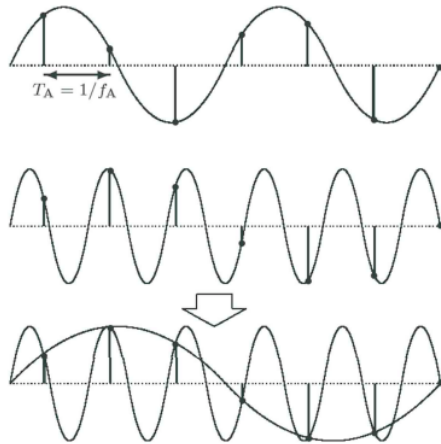
Digitalisierung **Abtastung** Quantisierung

Zusammengefasst...

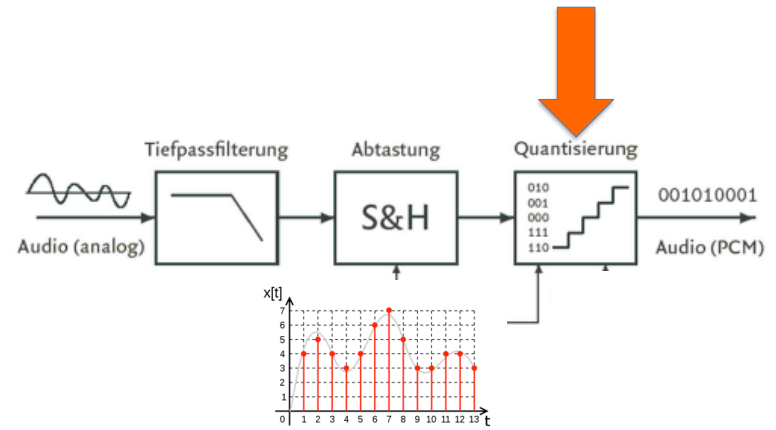
W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

96 LEUPHANA

- Oben: korrekte Abtastung mit mehr als zwei Stützstellen pro Schwingungsperiode des Signals.
- Mitte und unten: bei der höheren Signalfrequenz reicht die Abtastrate nicht mehr aus (Unterabtastung); die Stützstellen werden fehlinterpretiert (Aliasing)

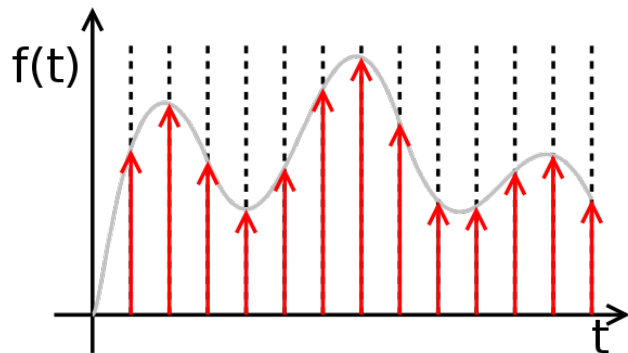


W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik



W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

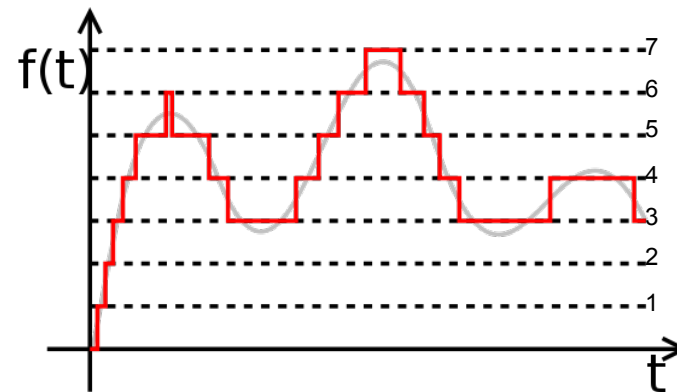
Quantisierung (I)



Das abgetastete, diskrete Signal. Kontinuierliche Werte liegen in zeitdiskreten Schritten an.

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

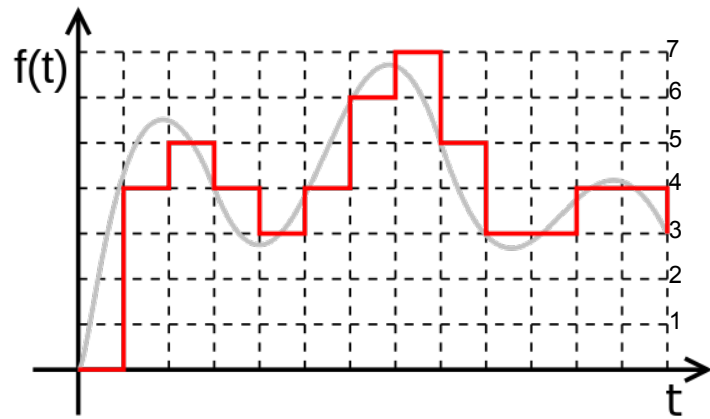
Quantisierung (II)



Das abgetastete, diskrete Signal. Diskrete Werte liegen in kontinuierlichen (aber verschiedenen) Zeitlängen an.

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

Quantisierung (III)



Digitales Signal. Diskrete Werte (gerundet) in diskreten Zeitwerten.

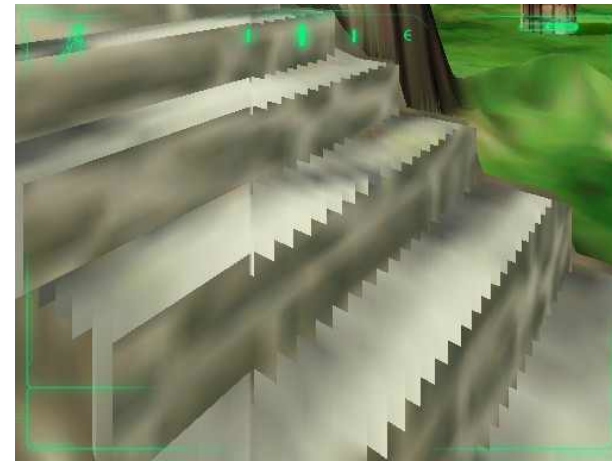
W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

101



Bei der Bildraasterung sieht man die Fehler

Image-Moiré



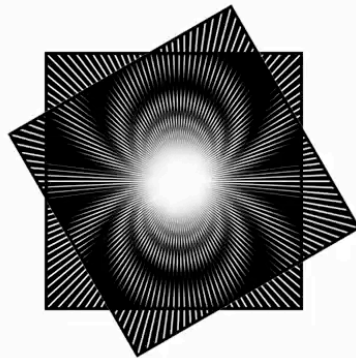
W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

102



Das sind so genannte "Raster-Fehler"

Image-Moiré



Ein Moiré-Muster (frz. „marmoriert“) ist ein Interferenz-Muster graphischer Bilder, das z.B. erzeugt wird durch die Überlagerung zweier Gitter mit unterschiedlich grossen Maschen in wechselnden Winkeln.

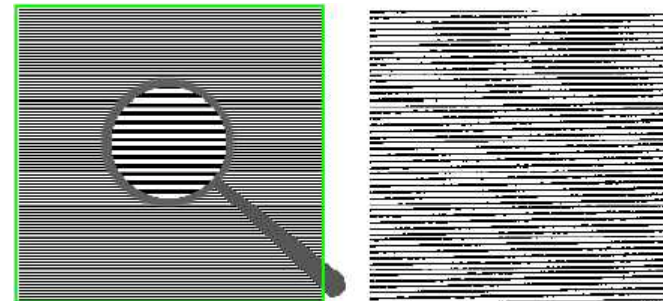
W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

103



Moire's sehen auch so aus...

Image-Aliasing



Über den Verlust von Bildinformationen durch zu grobe Raasterung bei der Digitalisierung können zusätzlich periodische Bildstörungen auftreten, die in der Vorlage nicht vorhanden waren.

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

104



Resüme:

Analog	Digital
Wert- und zeitkontinuierlich	Wert- und zeitdiskret

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

105

Analog	Digital
Wert- und zeitkontinuierlich	Wert- und zeitdiskret
Ähnlichkeit zum Objekt	Signal-Objekt-Beziehung zufällig

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

106

Analog	Digital
Wert- und zeitkontinuierlich	Wert- und zeitdiskret
Ähnlichkeit zum Objekt	Signal-Objekt-Beziehung zufällig
'abbildendes' Signal	Willkürlich-diskrete Kodifizierung

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

107

Analog	Digital
Wert- und zeitkontinuierlich	Wert- und zeitdiskret
Ähnlichkeit zum Objekt	Signal-Objekt-Beziehung zufällig
'abbildendes' Signal	Willkürlich-diskrete Kodifizierung
irreversibel	reversibel

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

108

Analog	Digital
Wert- und zeitkontinuierlich	Wert- und zeitdiskret
Ähnlichkeit zum Objekt	Signal-Objekt-Beziehung zufällig
'abbildendes' Signal	Willkürlich-diskrete Kodifizierung
irreversibel	reversibel
entropisch	verlustfrei

W. Hagen – Analog vs. Digitaltechnik

Rechnen (und Schalten) mit Binärzahlen

W. Hagen – Digitales Rechnen - „Turing Maschine“ - „von Neumann Prinzip“

Rechnen (und Schalten) mit Binärzahlen

Die Grundlage allen Rechnens in der Neuzeit ist die Stellenwertschreibweise von Zahlen.

Die alten Griechen

kannten keine 0

Die Römer

kannten keine 0

W. Hagen – Digitales Rechnen - „Turing Maschine“ - „von Neumann Prinzip“

Rechnen (und Schalten) mit Binärzahlen

Nicht stellenwertiges Zahlensystem –
z.B. das Römische

Zeichen	I	V	X	L	C	D	M	↯	↱
Wert	1	5	10	50	100	500	1.000	5.000	10.000

MDCCCCLXXXIII (1984)

M	+	D	+	CCCC	+	L	+	XXX	+	III
1*1000	+	1*500	+	4*100	+	1*50	+	3*10	+	4*1

MCMLXXXIV (1984)

M	+	CM	+	L	+	XXX	+	IV
1*1000	+	(1*100) - (1*1000)	+	1*50	+	3*10	+	(1*1) - (1*5)

W. Hagen – Digitales Rechnen - „Turing Maschine“ - „von Neumann Prinzip“

Rechnen (und Schalten) mit Binärzahlen

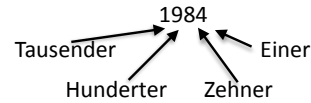
Nicht-Stellenwert-System:

MDCCCLXXXIII

MCMLXXXIV

Es gibt keine feste Stelle der Zahl-Zeichen in Bezug auf Ihren Wert

Stellenwert-System:



Zahl-Zeichen haben einen feste Werte-Stelle

Das Stellenwert-System basiert auf der 0!

W. Hagen – Digitales Rechnen, – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Rechnen (und Schalten) mit Binärzahlen

Das Zeichen "0" kommt aus der arabisch-indischen Welt des Mittelalters

Europäisch	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Arabisch-Indisch	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

Die indischen Ziffern werden erstmals mit dem Werk „Über das Rechnen mit indischen Ziffern“ (um 825) von Al-Chwarizmi (Nach seinem Namen kommt das Wort „Algorithmus“) verbreitet.



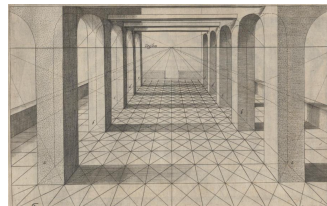
„Algorithmi de numero Indorum“ (13. Jh)

W. Hagen – Digitales Rechnen, – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Rechnen (und Schalten) mit Binärzahlen

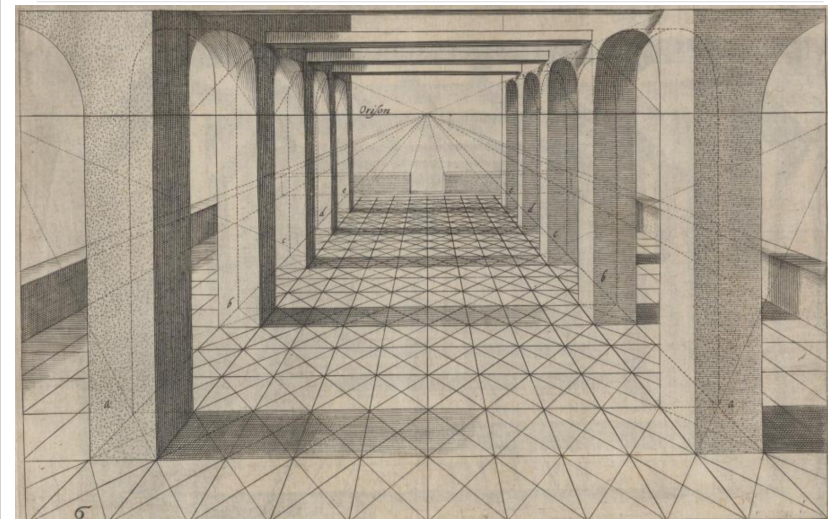
- Die "0" ist nicht einfach nur nichts, trotz: (0=0).
- Sie besetzt eine Stelle in einer Zeichenreihe von Zahlen (0... 01001100)
- Während das römische Zahlensystem für jeden Zahlenwert ein eigenes Zeichen hat, erlaubt die "0" die Veränderung von Werten von Zahlensymbolen, ohne das Zeichen zu ändern. (1 = 10)

Mathematik-Historiker Brian Rotman vermutet, dass die "0" als "Stelle" erst nach der Einführung der "Zentral-Perspektive" in die darstellenden Künste in die Mathematik integriert werden konnte...



W. Hagen – Digitales Rechnen, – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Rechnen (und Schalten) mit Binärzahlen



Vries, Hans Vredeman de (1605): Perspective

W. Hagen – Digitales Rechnen, – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

- Die Null hat einige mathematische Besonderheiten:

$0+0$	$= 0$	
$0+5$	$= 5$	
$0-5$	$= -5$	
$5*0$	$= 0$	
$5/0$	$= ??$	Durch "0" dividieren ist "nicht definiert"
$0*5$	$= 0$	
$0/5$	$= 0$	
5^0	$= 1$	
1^0	$= 1$	
0^1	$= 0$	
0^0	$= 1(!)$	"Exponentenregel": $x^n/x^n=x^{(n-n)}=x^0=1$
$\sqrt{0}$	$= 0$	
$0^{1/2}$	$= 0$	
$0^{1/3}$	$= 0$	
$0^{1/0}$	$= ??$	0te Wurzel aus 0 - nicht definiert...

W. Hagen – Digitales Rechnen – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Stellenwertsystem

Zahlensystem, bei dem die (additive) Wertigkeit eines Symbols von seiner Position abhängt.

$$z_i \cdot b^i + \dots + z_n \cdot b^0$$

b = Basis (Grundzahl, Radix) | $b \geq 2 \dots$

$b^{i..0}$ = Exponent an der Stelle | $i=0..$

$$z_i \in Z = \{0, 1, \dots, b-1\}$$

W. Hagen – Digitales Rechnen – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Stellenwertsystem

$$z_0 \cdot b^n + \dots + z_n \cdot b^0$$

Dezimal: $b=10$ | $z=0 \dots (b-1)$

$z=0..9$	$b=10$			
Stelle 3	Stelle 2	Stelle 1	Stelle 0	
$1*10^3$	$9*10^2$	$8*10^1$	$4*10^0$	$= 1984$
1000	900	80	4	$= 1984$

W. Hagen – Digitales Rechnen – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Stellenwertsystem

$$z_0 \cdot b^n + \dots + z_n \cdot b^0$$

Hexa-Dezimal: $b=16$ | $z=0 \dots (b-1)$

$z=0..9,A..F$	$b=16$			
Stelle 2	Stelle 1	Stelle 0		
$7*16^2$	$C*10^1$	$0*10^0$	$= 7C0$	
1792	192	0	$= 1984$	

W. Hagen – Digitales Rechnen – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Stellenwertsystem

$$z_0 \cdot b^n + \dots + z_n \cdot b^0$$

Binär: $b=2 \mid z=0 \dots (b-1)$

$z=0..1 \quad b=2$

Stelle 3	Stelle 2	Stelle 1	Stelle 0		
$1 \cdot 2^3$	$1 \cdot 2^2$	$1 \cdot 2^1$	$1 \cdot 2^0$	=	1111
8	4	2	1	=	15

W. Hagen – Digitales Rechnen – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Stellenwertsystem

$$z_0 \cdot b^n + \dots + z_n \cdot b^0$$

Binär: $b=2 \mid z=0 \dots (b-1)$

$z=0..1 \quad b=2$

St 10	St 9	St 8	St 7	St 6	St 5	St 4	St 3	St 2	St 1	St 0		
$1 \cdot 2^{10}$	$1 \cdot 2^9$	$1 \cdot 2^8$	$1 \cdot 2^7$	$1 \cdot 2^6$	$0 \cdot 2^5$	$0 \cdot 2^4$	$0 \cdot 2^3$	$0 \cdot 2^2$	$0 \cdot 2^1$	$0 \cdot 2^0$	=	1111100000
1024	512	256	128	64	0	0	0	0	0	0	=	1984

Wie spricht man: "1111100000"??

W. Hagen – Digitales Rechnen – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“

Hexadezimal: $[1792] : 7 \cdot 16^2 + [192] C \cdot 16^1 + [184] 0 \cdot 16^0 = 7C0$

\swarrow \downarrow \searrow
 1111 1000 0000
 "Nibble"

In der Computerinformatik stellen wir deshalb Zahlenwerte in Hexadezimalzahlen dar, weil sie sehr gut auf "Nibble", d.h. auf Vierergruppen von Bitfolgen darstellbar sind.

W. Hagen – Digitales Rechnen – „Turing Maschine“ – „von Neumann Prinzip“