

Die Sekunde

Herzlich willkommen zu dieser Präsentation über
»**Die Sekunde – Erkenntnistheoretische Aspekte
der Festlegung eines objektiven Zeitmaßes**«

Jochen Sicars

j.sicars@t-online.de • www.sicars-didactica.de • Trautheim bei Darmstadt 2015

Power-Point-Vortrag – Ein Schlafmittel?



Vincent van Gogh (1890): Mittagsrast – Eine frühe Form von Power Napping. Quelle: Wikipedia

Ich hoffe für meine Präsentation auf einen »Ausnahme-von der Regel-Effekt« im Interesse der Sache und einer für Sie sinnvollen Nutzung Ihrer wertvollen Zeit.

Um die PowerPoint-Präsentation zielgruppengerecht zu generieren, **haben wir sie leider abschaffen müssen**. Die Eventmanager empfehlen das neuerdings. Ihnen ist nämlich jetzt, ungefähr ein Vierteljahrhundert zu spät, etwas aufgefallen:

Noch niemals in der Geschichte dieser Vortragsform ist ein einziger Zuhörer gefunden worden, **der darauf anders als mit Erschlaffung, mentaler Lähmung oder, im besten Fall, einem Power Napping reagiert hätte**. Der Power-Point-Vortrag ist eine Geißel der modernen Welt, ja der Inbegriff einer ihrer großen Übel: dem unstillbaren Bedürfnis, seine Mitmenschen über Dinge zu belehren, von denen sie aus guten Gründen noch nie etwas wissen wollten.

Die Sache wird nicht besser dadurch, dass noch die wirrsten und schönfärberischsten Ausführungen im Mäntelchen des Seriösen erscheinen, wenn man sie in Kreise und Kolonnen von Fachkauderwelsch aufteilt.

Süddeutsche Zeitung vom 7. Februar 2015
Die vollständige Kolumne finden Sie im Anhang 5.

Struktur und Inhalt

1. Entdeckung der Sekunde in der Metrologie
2. Allgemeines zum Begriff und zur Messung der Zeit
3. Erkenntnistheoretische Anmerkungen
4. Zeit als physikalische Maßeinheit
5. Kalendermacherei: Jahr und Tag
6. Zeitmessung
 1. Antike Uhren: Tag und Stunde
 2. Mechanische Uhren: Stunde, Minute und Sekunde
 3. Atomuhren: Von der Sekunde zur Nanosekunde

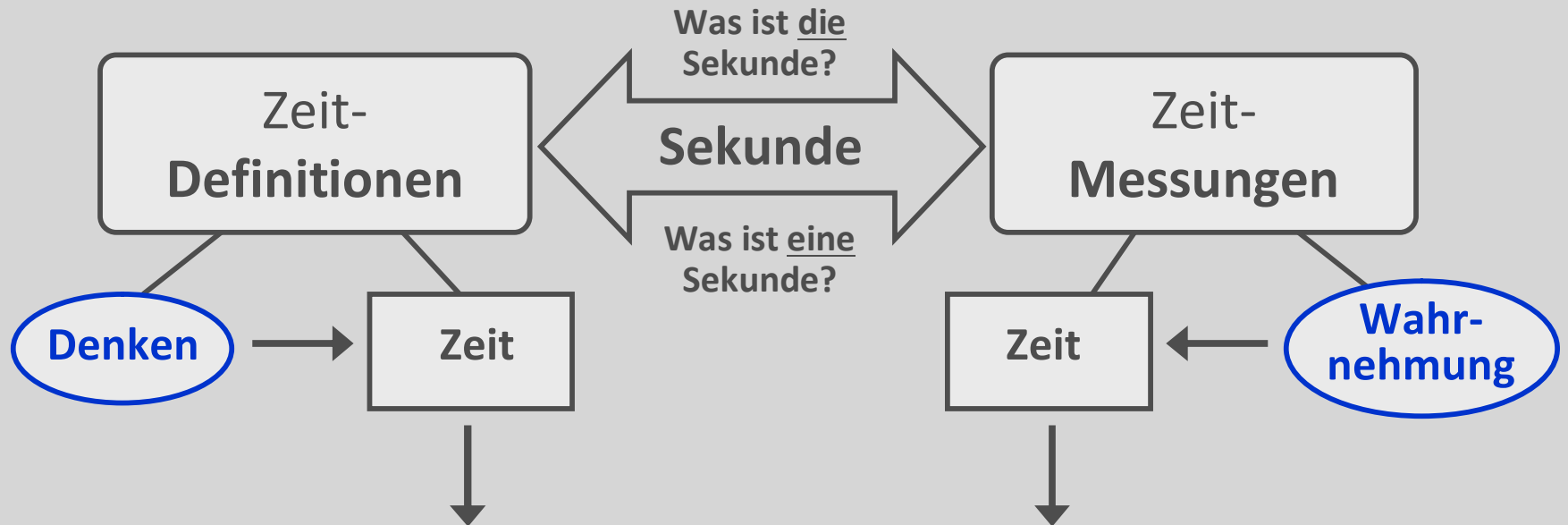


Was ist die »Sekunde«?



Die **Sekunde** ist eine Zeit.

Entdeckung der Zeit (Sekunde) in der Wissenschaft (Metrologie)



Die Sekunde ist ein zählbarer Zeitabschnitt innerhalb einer definierten Zeit.

Die Sekunde ist der 86400ste Teil der Zeit zwischen zwei Höchstständen der Sonne.

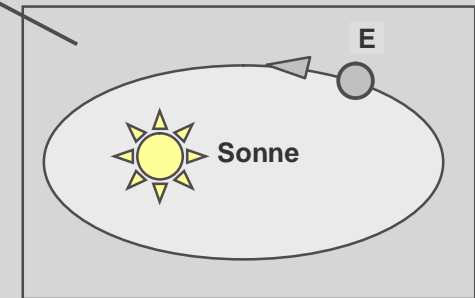
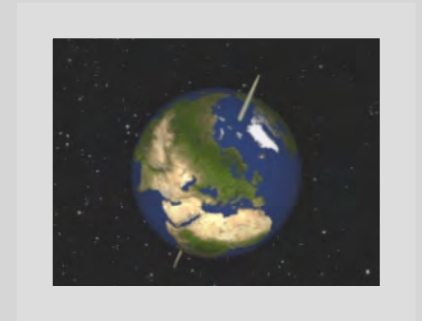
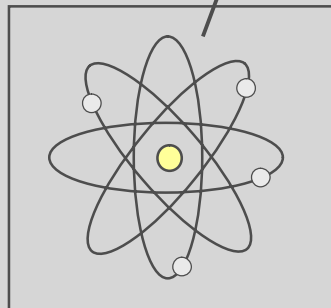
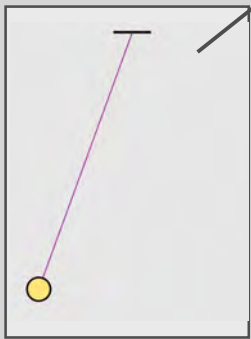
Aber: Wer von der **Sekunde** reden will, sollte auch von **Tag** und **Jahr** nicht schweigen.

¹ Frei nach Horkheimer: »Wer aber vom Kapitalismus nicht reden will, sollte auch vom Faschismus schweigen.« (1939). Horkheimer, Max: Die Juden und Europa. In: Gesammelte Werke. Band 4, Frankfurt am Main 1988, S. 308 f. Erstveröffentlichung in: Zeitschrift für Sozialforschung, Jg. VIII/1939.

Was ist eine »Sekunde«? – Eine erste Annäherung

Eine Sekunde ist ...

- die Dauer eines Herzschlags?
- die Dauer einer Halbschwingung eines 99,4 cm langen Fadenpendels?
- der 86.400-ste Teil eines Tages?
- der 31.556.926-ste Teil eines Jahres?
- das 9.192.631.770-fache der Periodendauer der Schwingung eines Cäsium-Atoms?



Fazit: Die Sekunde ist eine
Zeit in der Natur.

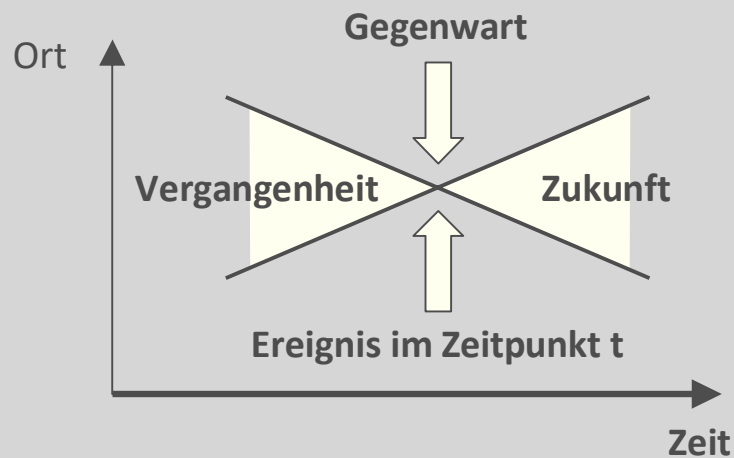
Was ist Zeit? – Eingrenzung: *Zeit* als *physikalischer* Begriff

- In dieser Präsentation geht es in erster Linie um den **physikalischen Zeitbegriff**:

»Das psychologisch verankerte **subjektive Zeitgefühl** gestattet es uns, **unsere Eindrücke zu ordnen** und zum Beispiel zu sagen, daß dieses Ereignis früher eingetreten sei als jenes. **Wenn wir aber mit Hilfe einer Uhr jeden Augenblick im Zeitablauf gleichsam numerieren**, ... so ist das bereits eine **Abstraktion**.«
(Einstein/Infeld)¹

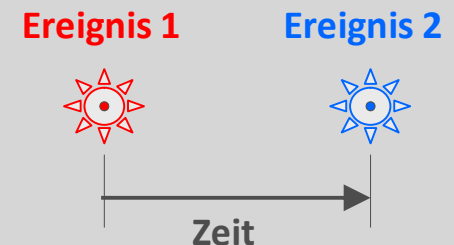
Gleichwohl: »**Die Zeit ist kein empirischer Begriff**.« Sie ist, wie es bei **Kant** weiter heißt, »reine Form sinnlicher Anschauung« und »die formale Bedingung a priori von aller Erscheinung überhaupt«. Als »subjektive Bedingung unserer menschlichen Anschauung« ermöglicht sie uns, alle Erscheinungen in ihrem »Nacheinandersein« zu ordnen.²

• Oder kurz: »**Zeit ist, was verhindert, dass alles auf einmal passiert!**« (John A. Wheelers)²



- Im Hinblick auf ihre Messbarkeit definieren wir Zeit als **Zeitdauer zwischen zwei bestimmten, prinzipiell wahrnehmbaren Ereignissen**.

- Was ist **objektive Zeit**? Die »objektive Zeit ist die **Zeit der Natur**« (Husserl)⁴.



¹ Einstein/Infeld (1987), S. 255 . ² Kant (1982), S. 78 f., S. 81 und S. 220. ³ John A. Wheelers (1911-2008, Theoretischer Physiker an der Princeton University), zit. nach: <http://www.ptb.de/cms/themenrundgaenge/wegweiser/fragenzurzeit/fragenzurzeit01.htm>. ⁴ Husserl (1913), S. 292.

Die Bestimmung einer physikalischen Zeit wird hier betrachtet als **historischer Prozess**, der aus **erkenntnistheoretischer Sicht** bestimmt wird durch die Wechselwirkung von **Wahrnehmung** und **Denken**.

Erkenntnisse über die Zeit durch

Wahrnehmungen

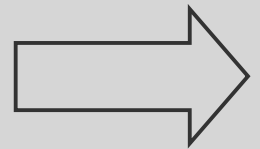
der Sinne zur Gewinnung der Zeit als Gegenstand der **Erfahrung**:
Veränderung von Helligkeit, Farbe, Temperatur, Ort ...

Wechselwirkung

im
Erkenntnisprozess

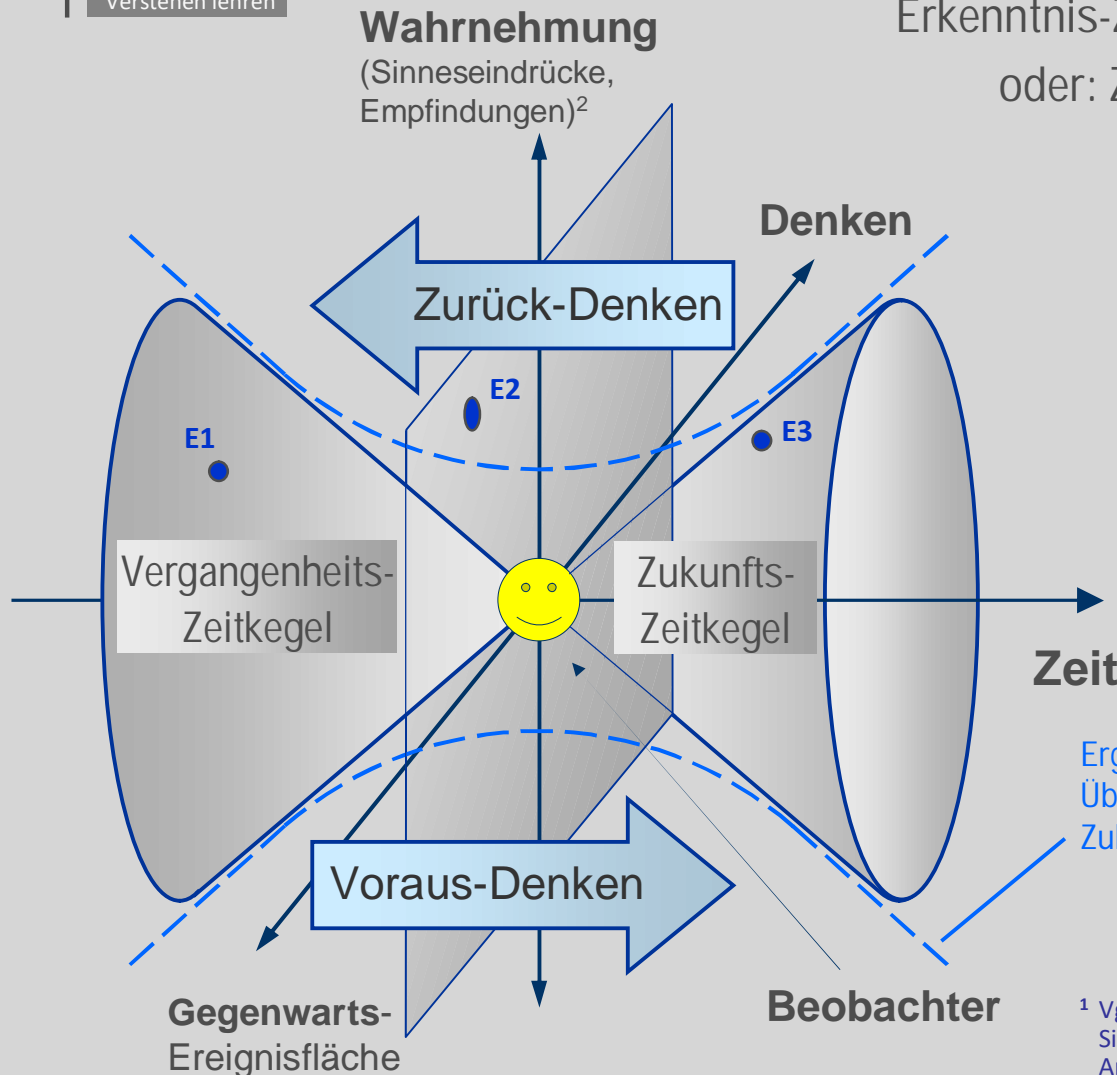
Denken

zur theoretische Erfassung und Reflexion des Zeitbegriffs mit Verstand und Vernunft: Zählen, Begriffsbildung (Jahr, Tag, ...)





Erkenntnis-Zeit-Kegel: Subjektive Dimensionen
oder: Zeit als Form der Subjekt-Erfahrung



Modell in Anlehnung an den relativistischen Lichtkegel eines Ereignisses dargestellt als Doppelkegel¹

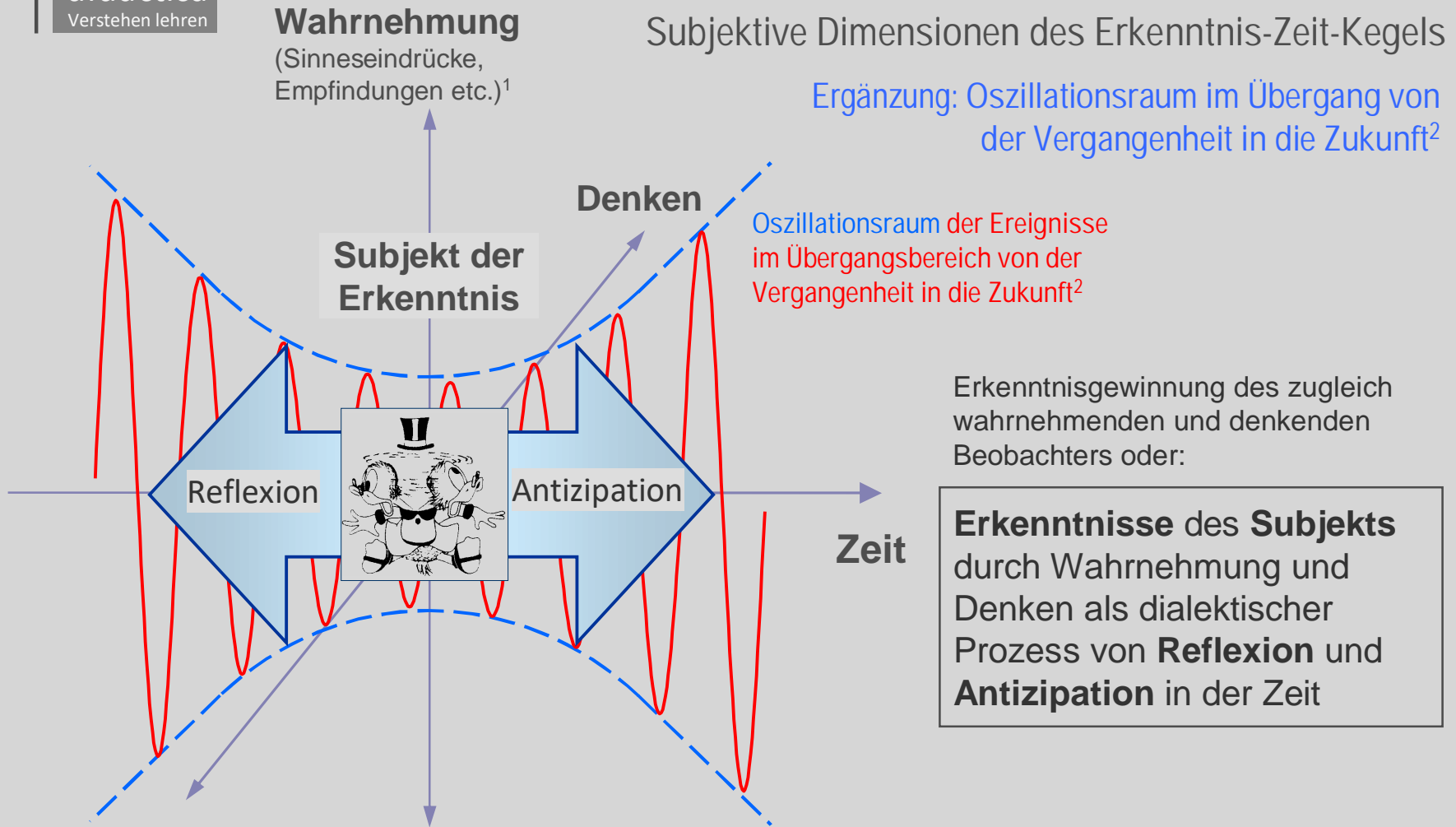
Wahrnehmungen verstanden als Sinneseindrücke, Empfindungen etc. im Raum in Form von Farbe, Helligkeit, Temperatur, Geräusch, Geruch, Geschmack, aber auch von Gefühlen

E1, E2, E3... Ereignisse

Ergänzung: Oszillationsraum der Ereignisse im Übergangsbereich von der Vergangenheit in die Zukunft³



¹ Vgl. Hawking (1991), S. 43 ff. ² Auch *Gefühlsempfindungen* im Sinne von Husserl (1913), S. 391 ff. ³ In Anlehnung an eine Anregung von Franz Fajara. **Siehe nächste Folie.**

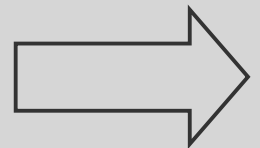


¹ Auch *Gefühlsempfindungen* im Sinne von Husserl (1913), S. 391 ff. ² In Anlehnung an eine Anregung von Franz Fujara in der Nachbetrachtung zu dem Vortrag von Christina Schües am 12.1.2015 in der TUD über die »Macht der Zeit«



Die Bestimmung von physikalischen Zeiten und Einheiten ist immer auch als **historischer Prozess** zu begreifen, denn er wird direkt oder indirekt von den jeweils herrschenden gesellschaftlichen Bedingungen beeinflusst.

So hat die Festlegung der Elle eines Fürsten als Maßeinheit der Länge eine feudalistischen Gesellschaft zur Voraussetzung, das Urmeter hingegen ist das Resultat der Technik- und Wissenschafts-Entwicklung in der bürgerlich-kapitalistischen Gesellschaft.





Die Sekunde • Erkenntnistheoretische Aspekte eines objektiven Zeitmaßes

Historische Aspekte der Zeitmessung

Die Entwicklung der Zeitmessung als historischer Prozess

	Epoche	Gesellschaftsform	Wirtschaft	Zeitmessung + Zeitmaß
3000 v. – 350 n. Chr.	Antike Ägypten, Mesopotamien, Persien, Griechen, Römer	Skavenhaltergesellschaft 	Nomaden, Viehzucht, Ackerbau, Kleinwarenproduktion, Handel 	Sonnenuhr + Kalender: Definition von Jahr u. Tag  Messung von Stunden
350 – 1500 n. Chr.	Mittelalter Frühmittelalter (300-900 n.Chr.) Hochmittelalter (900-1200 n.Chr.) Spätmittelalter (1250-1500 n.Chr.)	Feudalistische Gesellschaft  Unfreie Bauern bei der Abgabe des Zehnten an den Grundherren	Agrarwirtschaft , entwickelte Warenproduktion auf handwerk- licher und kleinmaschineller Basis, Fernhandel , Geldwirtschaft  Uhrenwerkstatt	Sonnen-, Wasser- u. Räder- uhr: Messung von Stunde und Minute 
	Renaissance	Französische Revolution	Industrielle Revolution	Pendeluhr: Messung und Definition (1790) der Sekunde
1500 - heute	Neuzeit Frühkapitalismus (1500-1800 n.Chr.) Hochkapitalismus (1800-1890) Spätkapitalismus (1890- heute)	Kapitalistische Gesellschaft  <div style="text-align: center;">  <p>Kapital</p> <p>↕</p> <p>Arbeit</p> </div>	Fabrikproduktion mit Maschinen  Dampf- und Werkzeug- maschinen auf wissen- schaftlicher Basis	Industrielle Massenproduk- tion von Uhren (ab 1860) Präzisionspendeluhr (Harrison, Riefler etc.) Quarzuhr, Atomuhr 



Adam und Eva vor dem Baum der Erkenntnis – Kupferstich 1604 von Jan Saenredam (1565-1607)

Zwischenbetrachtung

Erkenntnis- theoretische Anmerkungen

Grundquellen der Erkenntnis

Wahrnehmung

der Sinne ermöglichen die Gewinnung des Gegenstandes und **Erfahrung**

Wechselwirkung

im Erkenntnisprozess

Denken

ermöglicht die theoretische Reflexion des Gegenstandes mit Verstand und Vernunft

- Nach *Kant* gehören zur »Erkenntnis zwei Stücke: erstlich der **Begriff**, dadurch überhaupt ein Gegenstand gedacht wird ..., und zweitens die **Anschauung**, dadurch er gegeben wird.«¹
- Weiter heißt es bei *Kant*: »Alle unsere Erkenntnis hebt von den **Sinnen** an, geht von da zum **Verstande** und endigt bei der **Vernunft**.«²
- Und: »**Vernunft** ist das Vermögen, von dem Allgemeinen das Besondere abzuleiten und dieses letztere also nach Prinzipien und als notwendig vorzustellen.«³

¹ Kant, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft, Werkausgabe Bd. III, Frankfurt am Main 1982, S. 145 (B 146). Vgl. auch ebenda, S. 97 f. und S. 131 f.

² Kant, ebenda, S. 311 (B 355).

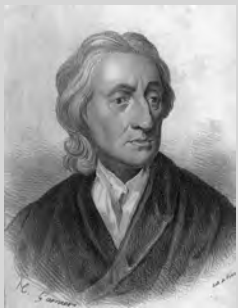
³ Kant, Immanuel: Anthropologie in pragmatischer Absicht, in: Kant im Kontext, Werke auf CD-Rom, Berlin 1997, 1. Buch, § 43 (VII 199).



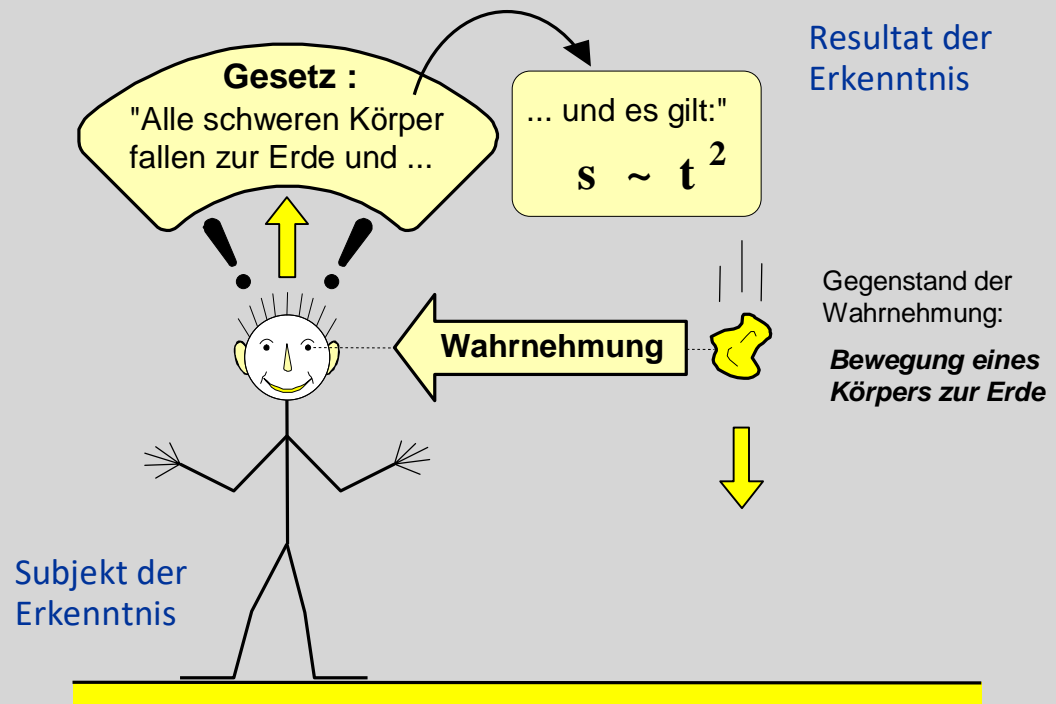
Erkenntnismodell des (naiven) **Empirismus** (und **Sensualismus**):
»Nichts ist im Verstand, was nicht vorher in den Sinnen gewesen wäre.«¹



Thomas v. Aquino
1225 – 1274



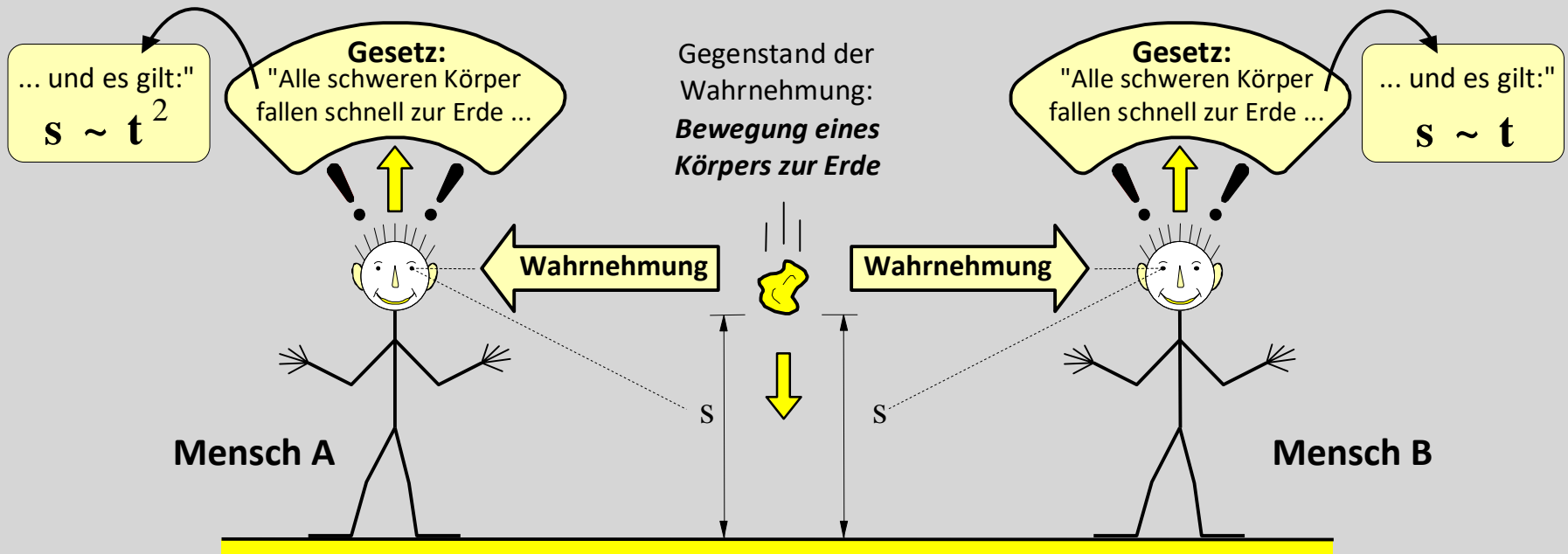
John Locke
1632 – 1704



¹ Thomas von Aquino: nihil est in intellectu quod non sit prius in sensu. in: De veritate (1256), Quaestiones 2 - 3 arg. 19, online: www.corpusthomicum.org/qdv02.html#51886 und Locke, John: Ein Versuch über den menschlichen Verstand (An essay concerning human understanding, 1690), in: Hansen, Frank-Peter (Hrsg.): Philosophie von Platon bis Nietzsche, Digitale Bibliothek Band 2, Berlin 1998, S. 101 (S. 13.855). Vgl. auch: Kant (1787), a.a.O., S. 710 ff. (B 882 ff.).

Grundlegendes Problem des Empirismus

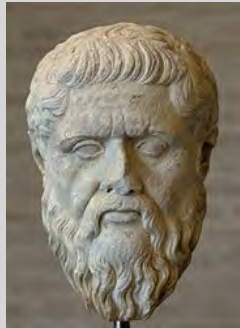
Problem: Ein und derselbe Gegenstand kann von verschiedenen Menschen ganz unterschiedlich wahrgenommen werden (wie z.B. Zeiten, Längen, Bewegungen, Geschwindigkeiten).



Folgerung: Physikalische Theorien und Gesetze können aus Wahrnehmungen allein nicht gewonnen werden. Denn: „Wahrnehmungen ohne Begriffe sind blind.“ (Kant (1787), a.a.O., S. 98 [B 75])



Erkenntnismodell des (naiven) **Idealismus** (auch Rationalismus):
»Nichts ist in den Sinnen, was nicht vorher im Verstand gewesen wäre.«¹



Platon
427 – 347 v. Chr.

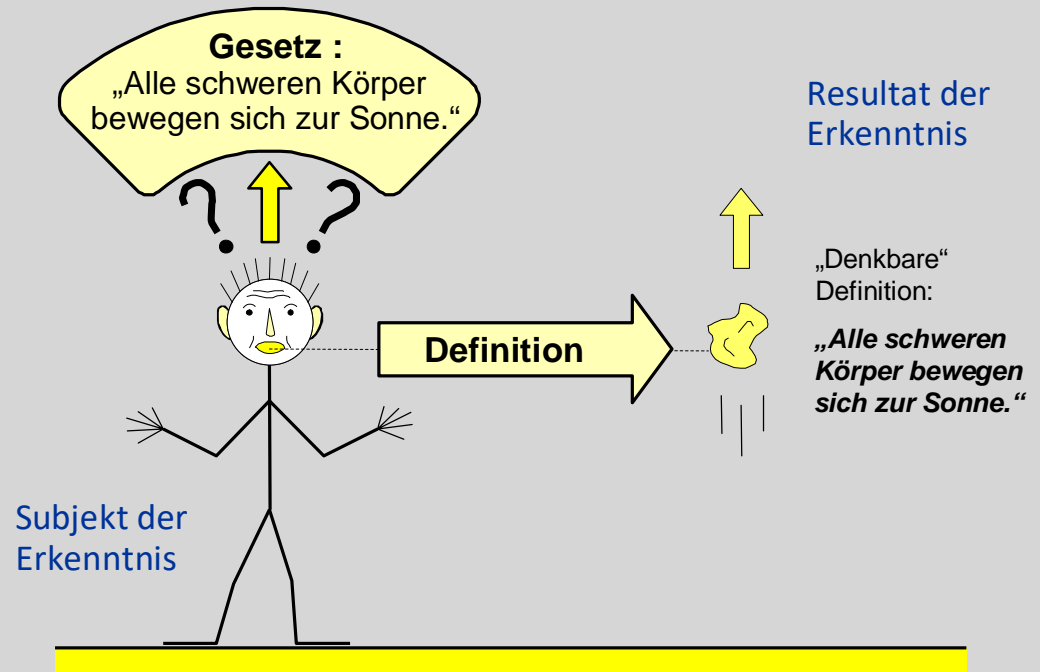
Zum Nachlesen:

Idealismus beinhaltet »die Ansicht, die das objektiv Wirkliche als Idee, Geist, Vernunft bestimmt und auch die Materie als eine **Erscheinungsform des Geistes** betrachtet, entweder mehr nach der Seite **Idee** hin: *objektiver Idealismus* (Platon, Schelling, Hegel) oder mehr nach der Seite der **Vernunft** hin: *subjektiver Idealismus* (Descartes, ... Fichte).



René Descartes
1596 – 1650

Erkenntnistheoretisch ist Idealismus der Standpunkt, der die Dinge als Komplexe von Vorstellungen auf faßt, das Sein nur als Bewußtsein anerkennt: Sein = Wahrgenommenwerden (esse est percipi; Leibniz, Berkeley, Schopenhauer).«²

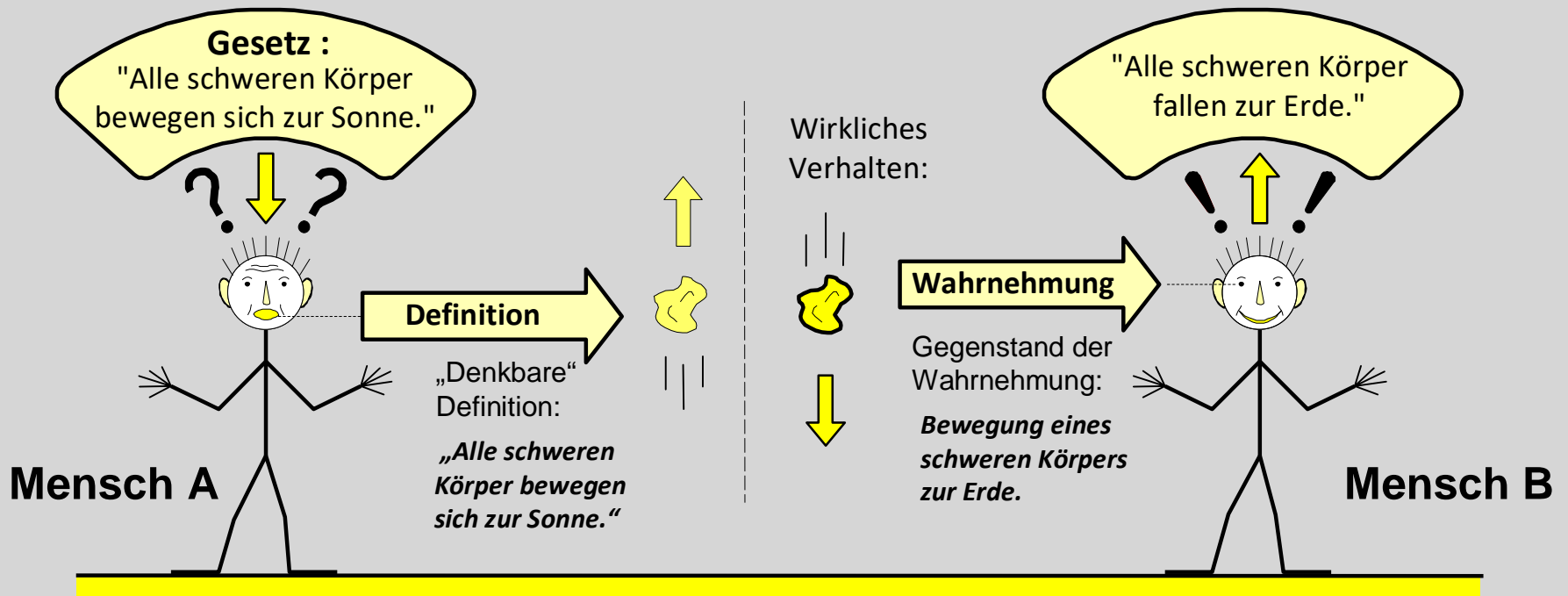


¹ Hegel, G.W.F.: Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften I (1830), Werke in 20 Bänden, Band 8, Frankfurt a.M. 1970, S. 52. Vgl. auch: Kant (1787), a.a.O., S. 710 ff. (B 882 ff.).

² Schischkoff, Georgi (Hrsg.): Philosophisches Wörterbuch, Stuttgart 1991, S. 321.

Grundlegendes Problem des Idealismus

Problem: Definitionen können willkürlich sein und insofern etwas anderes angeben, als die Gegenstände sich wirklich verhalten.



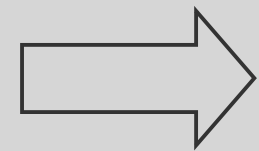
Folgerung: Physikalische Theorien und Gesetze können durch reine Verstandestätigkeit allein nicht gewonnen werden. Denn: „Begriffe ohne Wahrnehmungen sind leer.“ (Kant (1787), a.a.O., S. 98 [B 75])

Noch zwei ergänzende Zitate zum Idealismus:

Platon (ca. 375 v. Chr.): »Was dem Erkennbaren Wahrheit verleiht und dem Erkennenden das Vermögen der Erkenntnis, bestimme ich als die **Idee** des Guten. ... Die Objekte der Erkenntnis erhalten nicht nur das Erkanntwerden, sondern auch Existenz und Wesen vom Guten, das nun nicht selbst ein Seiendes ist.«¹

Descartes (1644): »Deshalb ist die Erkenntnis: „**Ich denke, also bin ich.**“ von allen die erste und gewisseste, welche bei einem ordnungsmässigen Philosophieren hervortritt.«²

Dialektische Verknüpfung von Empirismus und Idealismus in dem E-J-A-S-E-Modell Einsteins



¹ Platon, Der Staat (ca. 375 v. Chr.), zit. nach: Kunzmann, P. u.a., dtv-Atlas Philosophie, München 1991, S. 39.

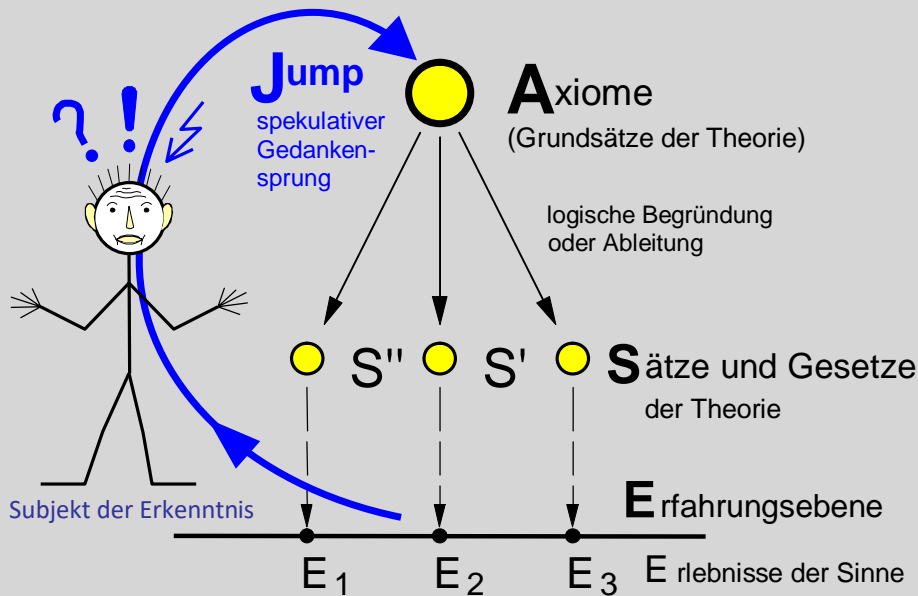
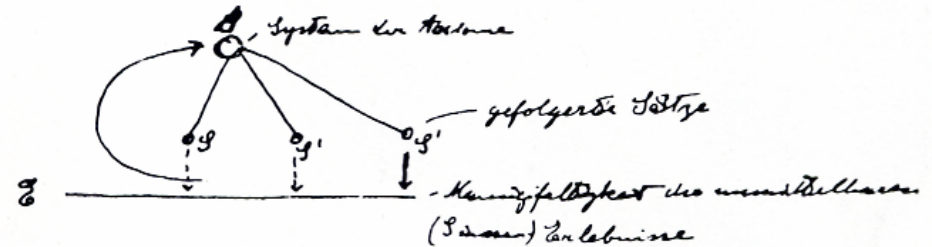
² René Descartes: Prinzipien der Philosophie (1644), in: Philosophie von Platon bis Nietzsche, Digitale Bibliothek Band 2, S. 6 f. (S. 15904 und 15905).

Albert Einstein: Das E-J-A-S-E-Modell (1952)

Conrad Habicht • Maurice Solovine • Albert Einstein



Die »Akademie Olympia«
(ca. 1903)



EINSTEIN erläutert sein erkenntnistheoretisches **EJASE**-Modell 1952 in einem Brief an seinen Freund Maurice **Solovine**¹:

1. »Die **E** (Erfahrungen der Sinne) sind uns gegeben. ...
2. **A** sind die Axiome (Grundsätze), aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die **A** auf **E**. Es gibt aber keinen logischen Weg von den **E** zu **A**, sondern nur einen intuitiven Zusammenhang, der immer auf Widerruf ist.« Dieser Weg zu den **Axiomen** ist für EINSTEIN ein "Jump", ein häufig „wildspekulativer“ Gedankensprung.
3. Aus **A** werden auf logischem Weg Einzel-Aussagen **S** abgeleitet, welche den Anspruch auf Richtigkeit erheben können. ...
4. Die **S** werden mit den **E** in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). Diese Beziehungen sind nicht logischer Natur«.

¹ Holton, Gerald: Einsteins Methoden zur Theorienbildung, in: Physik und Didaktik, Heft 4/1979, S. 303, 305, 309, 310. Vgl. auch: ders.: Thematische Analyse der Wissenschaft, Frankfurt a.M. 1981, S. 374-412, Einstein, Albert: Briefe an Maurice Solovine, Berlin 1960, S.118-121 und Kühne, Ulrich: Die Methode des Gedankenexperiments, Frankfurt am Main 2005, S. 271 ff.



Astronomische Uhr am Altstädter Rathaus in Prag von 1410¹

Jahr · Tag · Sekunde
als Einheiten

Zeit als
physikalische
Maßeinheit

¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Prager_Rathausuhr

Die Zeit als messbare physikalische Größe

- Formal und begriffssystematisch betrachtet ist die Zeit in der Physik eine **physikalische Größe**.
- Wie jede andere physikalische Größe muss sie stets **messbar** sein. Insofern ist jede Definition einer physikalischen Größe immer auch eine **Messvorschrift**:
- **Vorschrift zur Messung der Zeit**

Gemessen wird die Zeit, indem man eine zuvor *festgelegte Zeit* mit der zu messenden (d.h. zunächst unbekannt) Zeit vergleicht. Dabei wird gezählt, wieviel mal die festgelegte bekannte Zeit in der unbekannt) Zeit enthalten ist. Die zuvor festgelegte bekannte Zeit ist die **Maßeinheit** der Zeit.

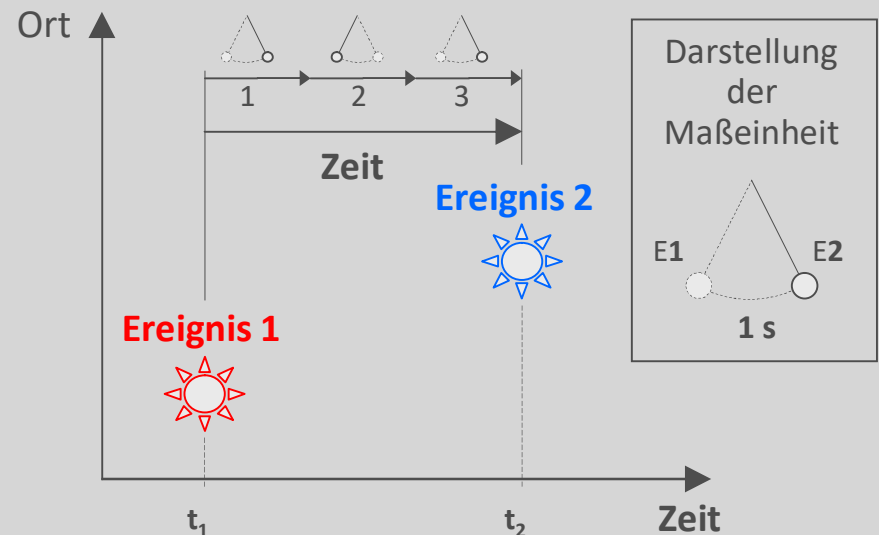
- Die **Maßeinheit** der Zeit ist selbst eine Zeit. Wir nennen sie »Sekunde« (oder auch Minute, Stunde, Tag, Jahr usw.).

Wir definieren sie als Zeitdauer zwischen zwei bestimmten, prinzipiell wahrnehmbaren Ereignissen in der 1. oder/und 2. Natur.

Angabe des Ergebnisses einer Zeitmessung:

$$\text{Zeit } t = 3 \times 1 \text{ s} = 3 \text{ s}$$

Beispiel einer Zeitmessung



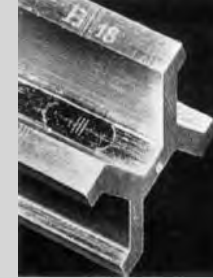
Die Zeit als *physikalische Maßeinheit* – Allgemeine Bestimmungen

- Populäre Maßeinheiten-Definitionen sind die sog. **Prototypen**-Standards:
- Bei der Definition der Zeit-Einheit sind die auch bei anderen Maßeinheiten üblichen **allgemeinen Kriterien** zu beachten:¹

¹ Vgl. u.a. Trapp (1998), S. 28 f., Itano/Ramsey (1993), S. 1 und Landau (1969), S. 5 ff.



Masse:
Ur-Kilogramm



Länge:
Ur-Meter



Zeit:
Ur-Zeit ?



1. Einheiten sollten **objektiv** und **allgemeingültig**, also unabhängig von einem Subjekt und damit für alle Menschen gleichermaßen gültig sein.

2. Einheiten sollten in der ersten oder zweiten **Natur verankert** und von daher im Prinzip zu jederzeit und von jedem **reproduzierbar** sein.

4. Einheiten sollten nach dem jeweiligen Stand der Messtechnik mit höchstmöglicher **Genauigkeit** dargestellt werden können.



3. Einheiten sollten **konstant** sein, d.h. sie sollten für jeden Menschen und an jedem Ort den gleichen Wert haben und ihren Wert in der Zeit nicht verändern (Stabilität).

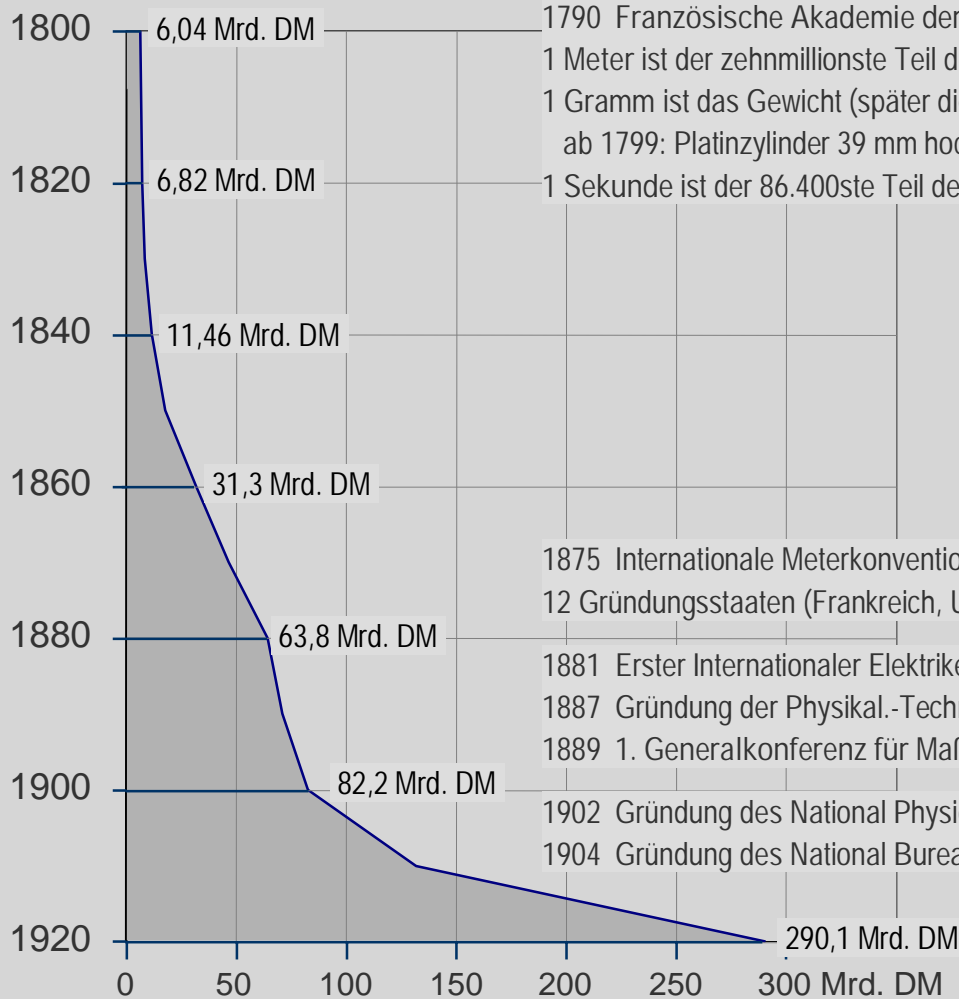
5. Zudem sollten Tradition, Zweckmäßigkeit und Handhabbarkeit berücksichtigt werden.



Welthandel¹

Maßeinheiten²

Prinzipien und Impulse³



1790 Französische Akademie der Wissenschaften:
1 Meter ist der zehnmillionste Teil des Erdmeridianquadranten,
1 Gramm ist das Gewicht (später die Masse) von 1 cm³ Wasser
ab 1799: Platinzylinder 39 mm hoch und ø 39mm (Urkilogramm),
1 Sekunde ist der 86.400ste Teil des mittleren Sonnentages.

1790 Französische Akademie d. W.:
Orientierung an der Erde und deren
Bewegung

1875 Internationale Meterkonvention: Urmeter & Urkilogramm
12 Gründungsstaaten (Frankreich, USA, Deutschland u.a.)

1870 Forderung J.C.I. Maxwells:
Orientierung an Wellenlänge,
Frequenz und Masse von stabilen
Atomen und Molekülen

1881 Erster Internationaler Elektrikerkongress (elektr. Einheiten)
1887 Gründung der Physikal.-Techn. Reichsanstalt
1889 1. Generalkonferenz für Maß und Gewicht

1889 Forderung Max Plancks:
Orientierung an Naturkonstanten

1902 Gründung des National Physical Laboratory (England)
1904 Gründung des National Bureau of Standards (USA)

¹ Gurland, Arcadius R.L.(1986), S. 286. CD-Version (1999): S. 12.244

² siehe Koch (1986), S. 23, S.67 und S. 191

³ PTB: Eine Basis für die Einheiten, www.ptb.de



Astronomischer Steinkalender aus
Babylon ca. 2000 v. Chr. ¹

Zeitmessung: **Jahr und Tag**

Kalendermacherei

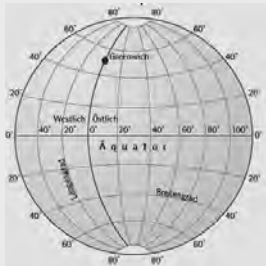
Ein gigantisches
Jahrtausendprojekt der
menschlichen Gattung
zur Objektivierung des
Zeitbegriffs

¹ http://www.planet-wissen.de/natur_technik/ordnungssysteme/kalender/eckdaten_zur_kalendergeschichte.jsp



Gründe für die Entwicklung von Verfahren zur Messung und Planung der Zeit

- Ausweitung der Warenproduktion und des Handels: Vereinbarung von Liefer- und Markt-Terminen etc.
- Landwirtschaft: Wahl des richtigen Zeitpunktes für die Bodenbereitung und Aussaat, Zeitdauer der Bewässerung,¹ Vorbereitung auf den Winter (Nomaden ziehen mit ihren Herden ins Winterlager, rechtzeitiges Anlegen von Vorräten (Nahrung, Brennmaterial etc.)
- Religiöse Motive: Festlegung von Zeiten für Andacht, Gebet, Gottesdienste und Festtage
- Militärische Anliegen: Schlachtpläne, Einsatzpläne, Wachpläne etc.
- Anwendung von Zeitmessungen bei der Bestimmung von Längen und anderen Größen
 - ▶ Längengrad-Bestimmung durch Zeitmessungen (ab 15. Jhdt.: Zeitalter der Entdeckungen, Ausweitung des Fernhandels, Harrison-Uhr: 1761)²
 - ▶ Längenmaßeinheit (Vorschlag von Huygens um 1650): 1 Meter ist die Länge eines Sekundenpendels (mit $T/2 = 1$ s)
 - ▶ Zeitmessung als Basis der Lichtlaufzeit-Definition des Meters von 1983: 1 Meter ist die Weglänge, die das Licht in einem bestimmten Bruchteil einer Sekunde (genauer: in $1/299\,792\,458$ s = $3,3356 \cdot 10^{-9}$ s = 3,3356 ns = 0,000 000 0033 356 s) zurücklegt.
 - ▶ Astronomie: 1 Lichtjahr ist die Weglänge, die das Licht in der Zeitdauer eines Jahres zurücklegt.
- Ein wesentliches Motiv für die Entwicklung von Zeitmessverfahren war immer auch das Streben nach höchstmöglicher Genauigkeit. ¹siehe auch Folie 72 (Rauter, 1977, S. 43 f.) ²Abeler (1994), S. 137 ff.



$$\frac{\varphi_L}{360^\circ} = \frac{t_0 - t_s}{24 \text{ h}}$$



Die Zeit als wahrnehmbare physikalische Größe

Um eine Zeit als **physikalische Größe** zu definieren, muss sie der **Wahrnehmung** zugänglich sein. **Wie lässt sich die Zeit wahrnehmen?**

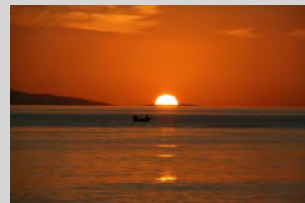


An **Veränderungen in der Natur.**

Dazu unterscheiden wir prinzipiell zwei Möglichkeiten:

- Veränderungen die einmalig ablaufen und sich **nicht** wiederholen, wie z.B. das Wachstum von Pflanzen oder Lebewesen.
Die Oma über ihren Enkel: »Ist der Bub gewachsen – Da **sieht** man wie die Zeit vergeht.«
- Veränderungen die sich stets in gleicher Weise wiederholen, die also **periodisch** sind, wie z.B.

► der Wechsel von hellen und dunklen Zeitabschnitten während einer **Tag-Nacht-Periode.**



► der Wechsel von warmen und kalten Zeitabschnitten während einer **Sommer- Winter-Periode.**





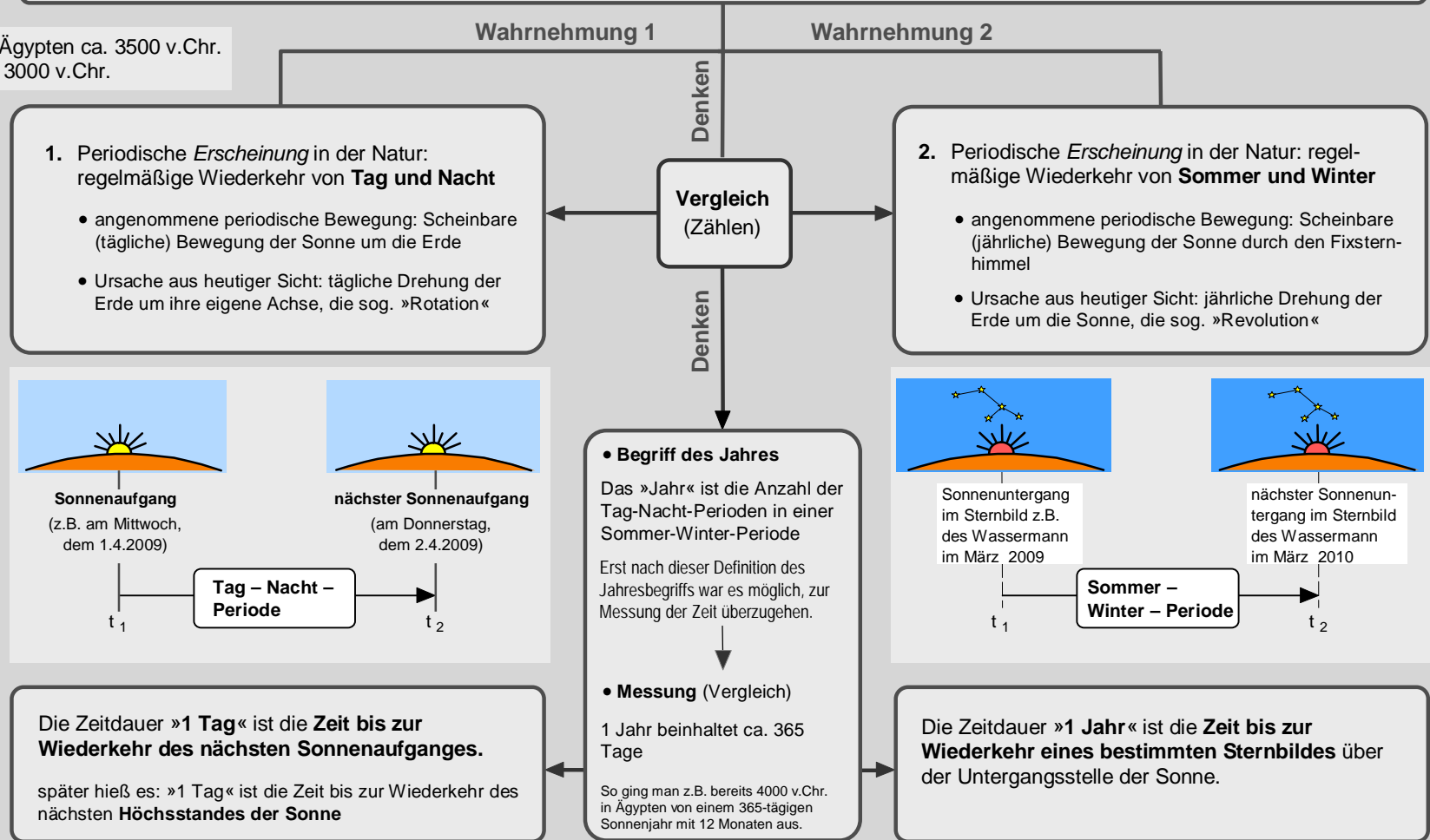
Aristoteles (347 v.Chr.): »So ist die Zeit, was gezählt wird, und nicht, womit wir zählen.«¹

Historischer Ausgangspunkt der Entwicklung eines objektiven Zeitbegriffs: **Die Kalendermacherei**

Erste Kalender: In Ägypten ca. 3500 v.Chr. und in Babylon ca. 3000 v.Chr.



Astronomischer Steinkalender aus Babylon



¹ Aristoteles: Physik (11.Kap.), DB 002, S. 3.900.

Zur physikalischen Bedeutung der Kalendermacherei

Die Erstellung eines Kalenders war historisch betrachtet das erste Bemühen der Menschheit, den Zeitbegriff zu **objektivieren**, d.h. Zeiten unabhängig von dem Zeitempfinden einzelner Subjekte zu definieren. – Physikalisch interessant sind dabei insbesondere zwei Zeiten:

1. Der stets in gleicher Weise ablaufende Wechsel von warmen und kalten Zeitabschnitten bezeichnen wir als **Sommer-Winter-Periode**. Ihre Zeitdauer nennen wir **ein Jahr**.
2. Der ebenfalls stets in gleicher Weise ablaufende Wechsel von hellen und dunklen Zeitabschnitten bezeichnen wir als **Tag-Nacht-Periode**. Ihre Zeitdauer nennen wir **ein Tag**.

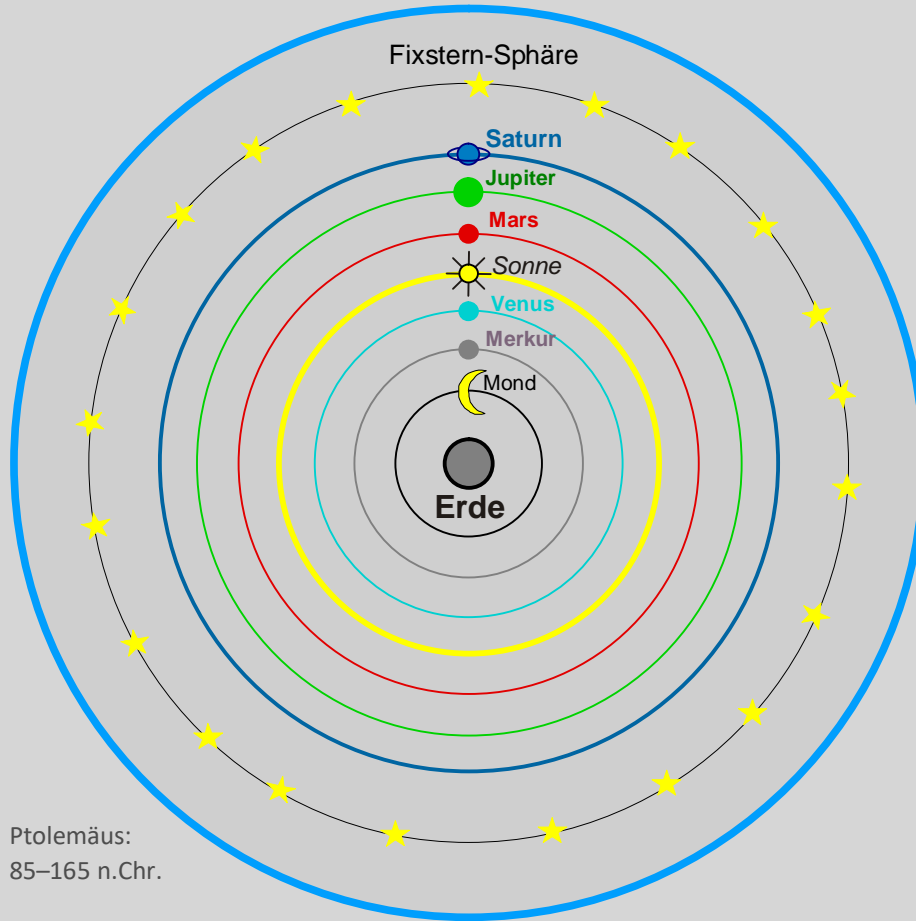
Physikalisch interessant sind diese Zeiten aus folgendem Grund¹:

- Wenn sich bei Beobachtungen über Jahrhunderte hinweg herausstellt, dass die in der Zeitdauer einer Sommer-Winter-Periode enthaltene Anzahl von Tag-Nacht-Perioden stets die **gleiche** ist, kann angenommen werden, dass die beiden dazugehörigen Zeiten **ein Tag** und **ein Jahr** stets gleich lang sind.
- Folgerung: Damit waren beide Zeiten als Basislänge für die Definition einer Maßeinheit der Zeit geeignet, denn sie waren **konstant**, in der **Natur verankert** (und damit jederzeit reproduzierbar) und **objektiv**, d.h. unabhängig von einzelnen Subjekten.

¹ Vgl. Padova, Thomas de: Leibniz, Newton und die Erfindung der Zeit, München Zürich 2013, S. 119.

Basis der frühen Kalendermacherei (Antike bis Mittelalter): **Das geozentrische Weltbild**

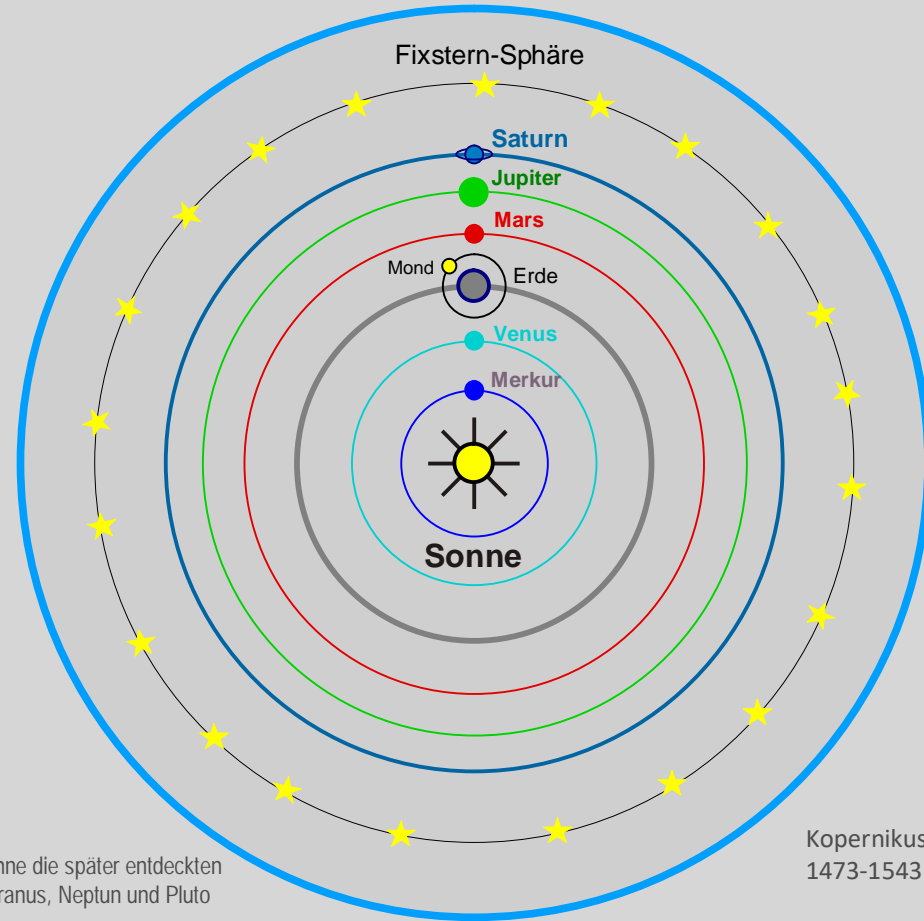
Geozentrisches Weltbild (Aristoteles + Ptolemäus)



Ptolemäus:
85–165 n.Chr.

Erde ist der ruhende Mittelpunkt der Welt, die Sonne dreht sich um die Erde und wandert durch den Sternenhimmel.

Heliozentrisches Weltbild (Kopernikus + Galilei)



ohne die später entdeckten
Uranus, Neptun und Pluto

Kopernikus:
1473-1543

Sonne ist der ruhende Mittelpunkt der Welt, die Erde dreht sich um die Sonne und um die eigene Achse.



Übrigens: Für die Kalendermacherei waren beide Weltbilder kompatibel sowohl im Hinblick auf die Bestimmung der Tag-Nacht-Perioden (Tages-Begriff) als auch bezüglich der Sommer-Winter-Perioden (Jahres-Begriff).

Zentrale Problemstellung der Kalendermacherei

Um für die Erstellung eines **Zeitplanes** in Form eines **Kalenders** herauszufinden, wieviele Tag-Nacht-Perioden in einer Sommer-Winter-Periode enthalten sind, mussten zunächst die **zeitlichen Grenzen dieser Perioden** bestimmt werden, d.h. es musste festgelegt werden:

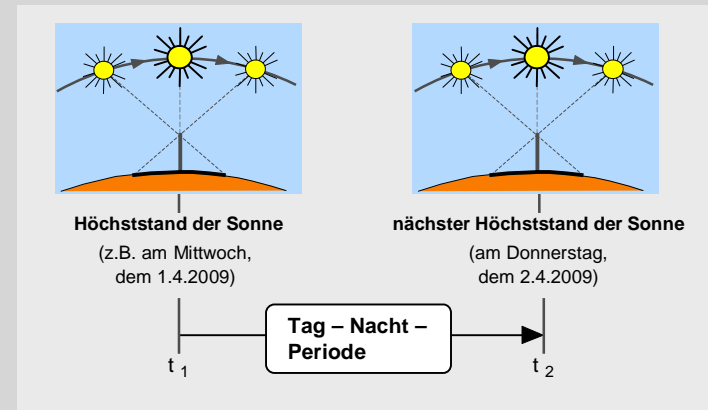
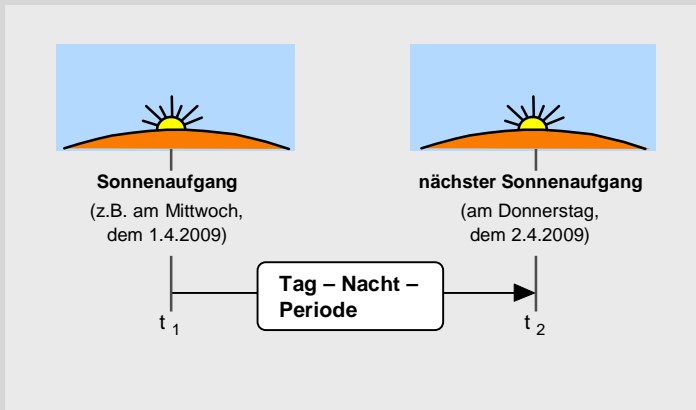
- Wann (d.h. bei welchem Ereignis) **beginnt** und wann **endet** eine **Tag-Nacht-Periode** mit der Zeitdauer **1 Tag** (= 1 d von dies [lat.]: der Tag)?
- Wann (d.h. bei welchem Ereignis) **beginnt** und wann **endet** eine **Sommer-Winter-Periode** mit der Zeitdauer: **1 Jahr** (= 1 a von annus [lat.]: das Jahr)?

Wechsel von Tag (hell) und Nacht (dunkel)

Die zeitlichen Grenzen der Tag-Nacht-Periode
und damit der Zeitdauer »1 Tag« (1 d)

▶ Ältere Methode:
von einem **Sonnenaufgang** (oder
Untergang) bis zum nächsten.

▶ Spätere Methode:
von einem **Höchststand der
Sonne** bis zum nächsten.



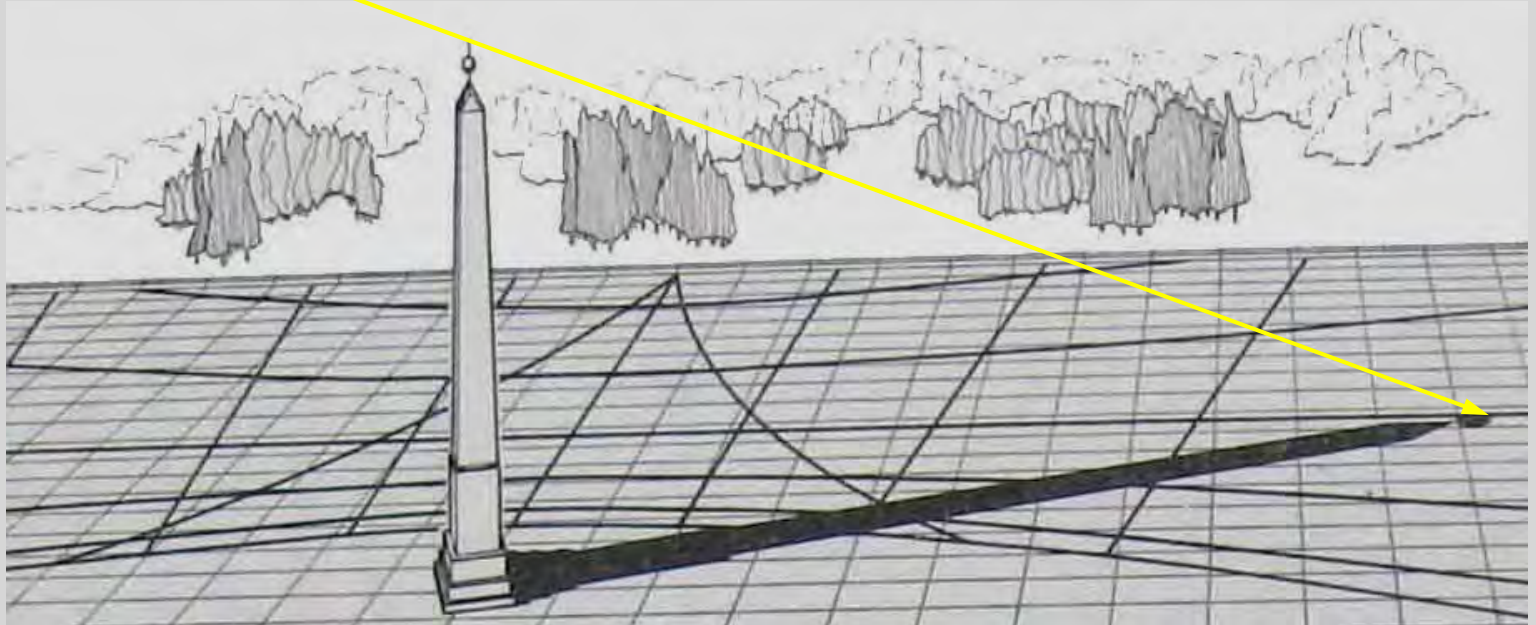
Augustinus (um 400 n. Chr.): »Wenn also der Tag durch die Bewegung der Sonne und ihren Kreislauf vom Aufgange bis wieder zum Aufgange vollendet wird, dann frage ich: Ist die Bewegung selbst der Tag, oder ist es die Dauer, in der sich diese Bewegung vollzieht, oder beides?« (Augustinus, Bekenntnisse, 11. Buch, Kapitel 23.)



Die Sekunde • Erkenntnistheoretische Aspekte eines objektiven Zeitmaßes Bestimmung der Grenzen einer Tag-Nacht-Periode



Schattenstab (Gnomon - ab ca. 3000 v.Chr.¹)



30 Meter hoher Obelisk als Gnomon im **Solarium des Kaiser Augustus** (63 v. Chr. – 14 n. Chr.) auf dem Marsfeld in Rom aus dem Jahre 10 v. Chr. Das Bild zeigt eine Rekonstruktion von Edmund Buchner (1976).²

► **1 Tag** ist die Zeit zwischen zwei Höchstständen der Sonne.

Wahrnehmung: In beiden Zeitpunkten ist die Länge des von dem Schattenstab geworfenen Schattens jeweils am kürzesten.

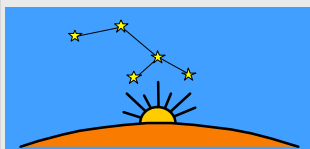
¹ Koch (1989), a.a.O., S. 265 und Dohrn-van Rossum (2007), a.a.O., S. 32, Trapp (1998), S.280 f.. ² http://www.antika.it/009072_orologi-pubblici-nella-roma-antica.html und http://de.wikipedia.org/wiki/Solarium_Augusti

Wechsel von Sommer (warme Periode) **und Winter** (kalte Periode)

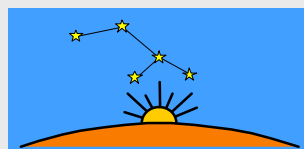
Die zeitlichen **Grenzen** der **Sommer-Winter-Periode** und damit der Zeitdauer »1 Jahr« (1 a)

▶ Ältere Methode: 1 Jahr ist die Zeit bis zum **Wiedererscheinen** eines bestimmten **Sternbildes**.

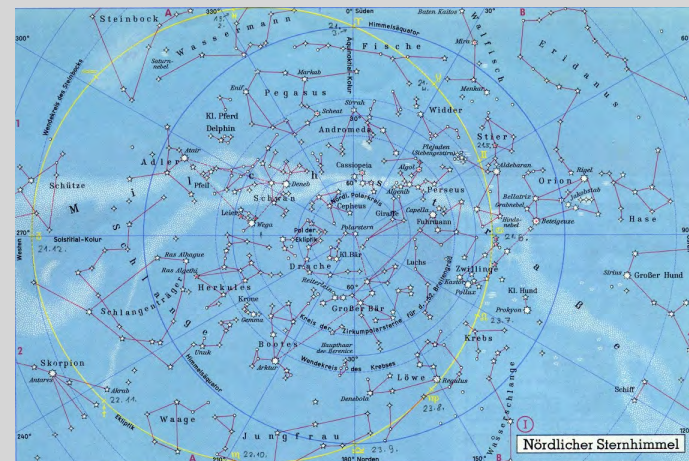
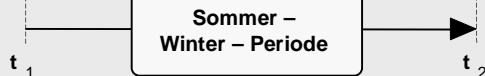
▶ Spätere Methode: 1 Jahr ist die Zeit bis zum **Wiedererscheinen** der Sonne an einer bestimmten Stelle im Fixsternhimmel.



Sonnenuntergang
im Sternbild
des Wassermann
im März 2009

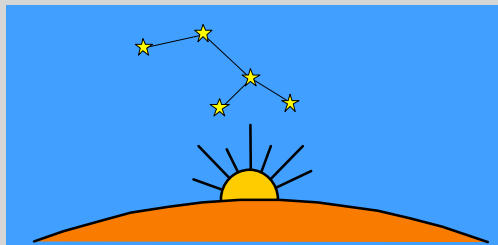


nächster Sonnenuntergang
im Sternbild
des Wassermann
im März 2010



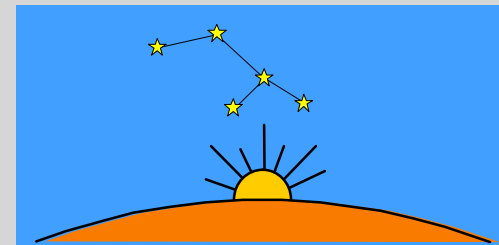
Zunächst aber zurück zur älteren Methode:

► **1 Jahr** ist die Zeit bis zum **Wiedererscheinen** eines bestimmten **Sternbildes**.



Sonnenuntergang
im Sternbild z.B.
des Wassermann
im März 2009

t_1



nächster Sonnenun-
tergang im Sternbild
des Wassermann
im März 2010

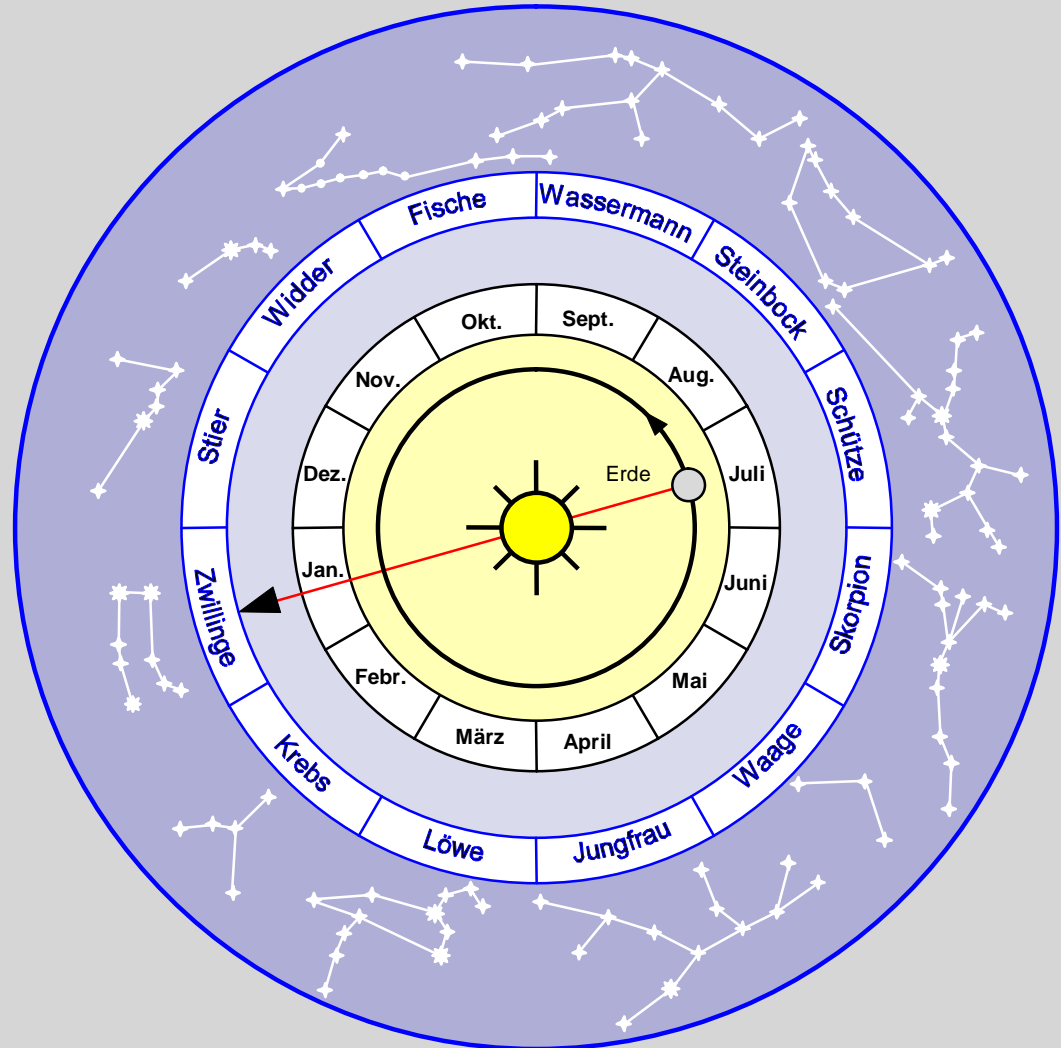
t_2

Sommer –
Winter – Periode

Im Laufe eines Jahres wandert **die Sonne von der Erde aus betrachtet** durch die Tierkreis-Sternbilder des Fixsternhimmels.

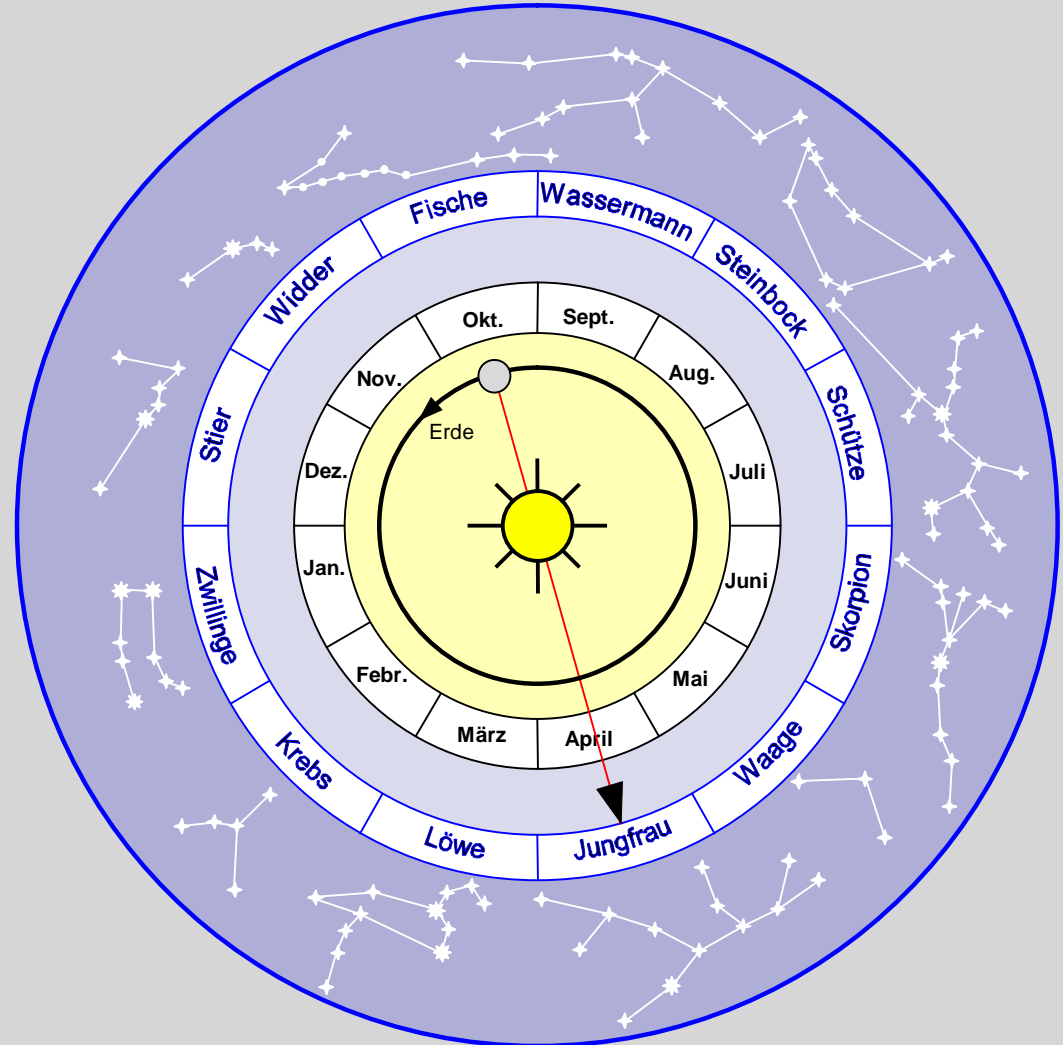
Dazu eine vereinfachte schematische Darstellung.

So erscheint z.B. im **Juli** die Sonne von der Erde aus betrachtet im Sternbild der **Zwillinge**.



3 Monate später:

Im **Oktober** erscheint die Sonne im Sternbild der **Jungfrau**.



Ekliptik und **Himmelsäquator** schneiden sich im **Frühlings- und Herbstpunkt**

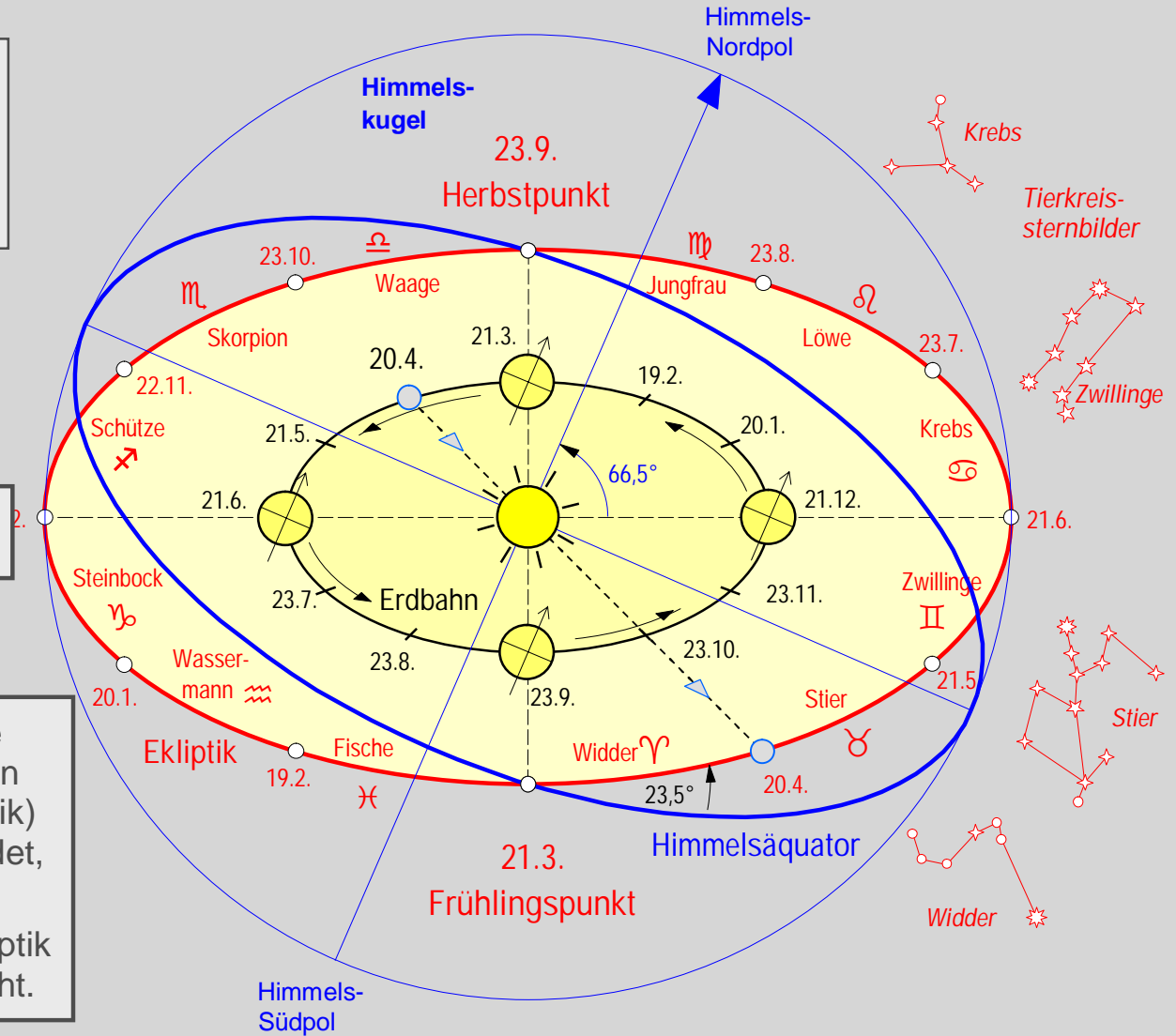
Ekliptik (rot)

Himmelsäquator (blau)

Begriff des Jahres:



- Das **Jahr beginnt**, wenn sich die Sonne auf ihrer scheinbaren Bahn durch den Fixsternhimmel (Ekliptik) im **Frühlingspunkt** (21.3.) befindet,
- es **endet** wenn sie nach Ablauf eines vollen Umlaufs auf der Ekliptik wieder den Frühlingspunkt erreicht.

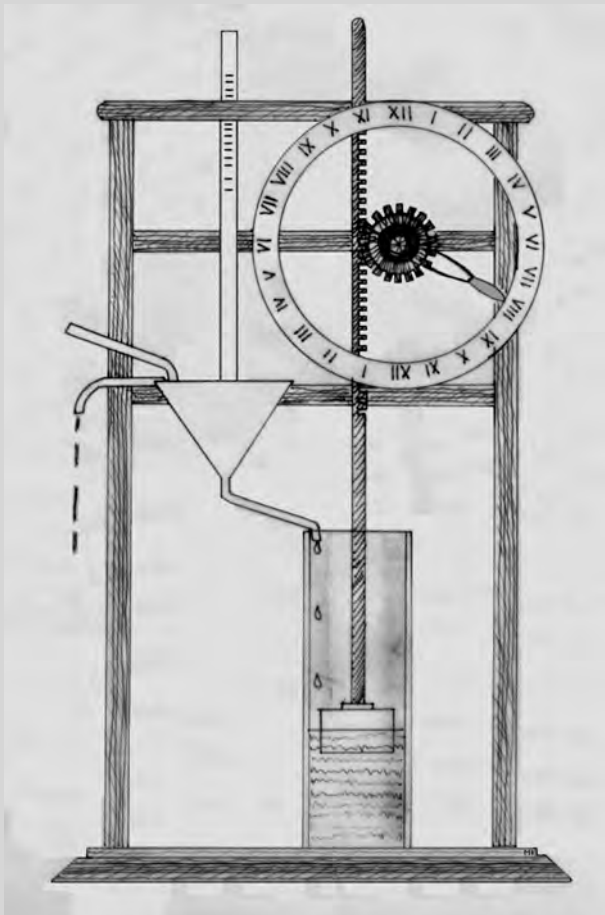




Zeitmessung – Vom Tag zur Stunde:

Antike Uhren

die bis ins späte Mittelalter
verwendet wurden
wie z. B. Sonnen- und Wasseruhr



Wasseruhr mit Zeiger – Ägypten ca. 300 v. Chr.

Taktgeber und Zähler als Grundbausteine jeder Uhr

- Der **Taktgeber** liefert eine periodisch sich wiederholende Veränderung wie z.B. ein schwingendes Pendel oder eine Unruh, ein schwingender Kristall, die Schwingungen von Elektronen eines Atoms, die Drehung der Erde um ihre eigene Achse oder ihr Umlauf um die Sonne.
- Der **Zähler** registriert die Anzahl der erfassten Veränderungen.
- Eventuell bedarf es für Taktgeber und Zähler einer speziellen **Energieversorgung**.
- Forderungen: Der **Taktgeber** soll selbst bei sich ändernden Umwelteinflüssen (z.B. Temperatur) möglichst stabile Taktzeiten mit hoher Frequenz liefern. Der **Zähler** muss die kurzen und schnellen Taktzeiten aufnehmen und verarbeiten können. Der **Energieverbrauch** soll möglichst gering sein.

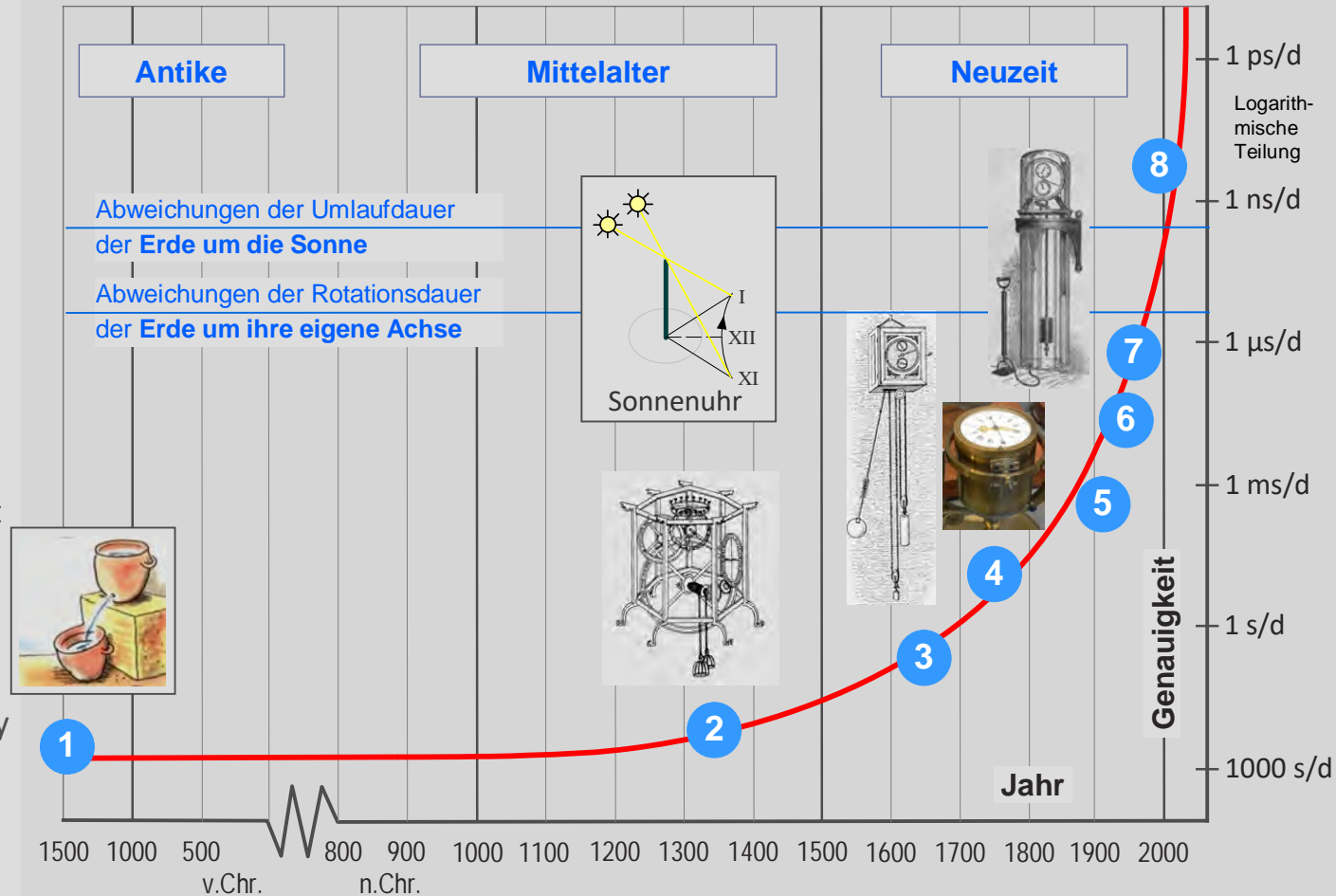


Die Sekunde • Erkenntnistheoretische Aspekte eines objektiven Zeitmaßes

Genauigkeit als Ziel der Entwicklung von Zeitmessverfahren

Historische Entwicklung der **Genauigkeit** bei der Zeitmessung¹

- 1 seit 1550 v. Chr.: **Wasseruhren**: 1000 s/d = 17 min/d
- 2 um 1300: **Räderuhren**: 3600 (60 min) bis 500 s/d
- 3 1637/1656: **Pendeluhr** von Galilei und Huygens: 100 bis 1 s/d
- 4 1759: John Harrison baut eine **Längengraduhr** (Chronometer): 1 bis 0,09 s/d
- 5 1920: **Präzisionspendeluhr** von Riefler: ca. 0,003 s/d
- 6 1932: **Quarzuhr** der PTR mit 200 µs/d und 1949: **Erste Atomuhr** des NBS (USA) mit 150 µs/d
- 7 1955: **Erste Cäsium-Uhr** National Physical Laboratory (England): 100 µs/d
- 8 1994 und 1999 **Cäsium-Fontänenuhren** in Paris und in der PTB: 10 ns/d



¹ PTB (2005), S. 28, Koch (1989), S. 81 und Abeler (1994), S. 13, Trapp (1998), S. 55

Wahrnehmung der Zeitdauer in der Größenordnung von Stunden

- Subjektive Wahrnehmung: Temperatur- und Helligkeitsänderungen im Tageslauf, Hunger und Müdigkeit (Ess- und Schlafbedürfnis)
- Objektive Wahrnehmung: **Schattenstäbe** (Obelisken und Sonnenuhren) und **Auslaufuhren** (Öl-, Wasser- und Sanduhren)
- **Verfahren:** Gezählt wird die Anzahl der Perioden z.B. eines Halbstundenglases (Sanduhr) zwischen zwei Höchstständen der Sonne.
- **Resultat** des Vergleichs der beiden Zeiten: Während der Zeitdauer einer Tag-Nacht-Periode muss das Halbstundenglas 48 mal umgedreht werden. Damit gilt für die Maßeinheit der Stunde:

**1 Stunde ist der 24ste Teil der Zeitdauer eines Tages,
1 Minute ist der 60ste Teil einer Stunde.**

Historische Hinweise

- Bereits im antiken Ägypten und Mesopotamien (Babylon) wurde aufgrund des dort üblichen Sexagesimalsystems der Tag in 24 Stunden eingeteilt (ca. ab 3000 v.Chr.). Um 1345 war die Einteilung des Tages in 24 Stunden und der Stunde in 60 Minuten und der Minute in 60 Sekunden üblich.¹
- Technik der Stundenmessung in der **Antike:** Schattenstäbe, Sonnenuhren, Wasseruhren²
- und im **Mittelalter:** Sonnenuhren, Sanduhren (ab ca. 1350), Räderuhren (ab ca. 1300)³

¹ Crombie, S. 209, Dohrn-van Rossum, S. 365 und S. 152. Trapp, S. 52 f. ² Dohrn-van Rossum, S. 34 ff., Crombie, S. 207, Trapp, S 53 ff. ³ Dohrn-van Rossum, S. 156 ff., Gaitzsch u.a., S. 26, Koch, S. 270.

Vorteile des **Sexagesimalsystems:**

Die ganzzahligen Vielfachen der Zahl 6 wie 12, 24 und 60 lassen sich vielfältiger teilen. So hat die Zahl 12 mehr ganzzahlige Teiler als die Zahl 10, nämlich 6, 3, 4, 2 und 1. Auch hier ist ein Bezug zur menschlichen Hand als »Zählwerk« gegeben: Die 4 Finger haben jeweils 3 Glieder und damit je Hand 12 Glieder. Der Daumen kann zum Zählen verwendet werden.





Sonnenuhren (ab ca. 3000 v.Chr.¹)

Sonnenuhren wurden bis ins späte Mittelalter für die Tageszeitmessung verwendet. Ihre Bedeutung erreichte ihren Höhepunkt als es schon gute Pendeluhren gab. Viele Uhrmacher stellten ihre Pendeluhren täglich nach der Sonne.²

Wirkungsweise der Sonnenuhr an der Kirche in Evigno (Ligurien)



Sonnenuhr **08:45** Uhr



Sonnenuhr **14:30** Uhr

Animation zur Wirkungsweise einer Sonnenuhr

Wesentlicher **Nachteil** der Sonnenuhr:
Zeitmessung war nur möglich, wenn die Sonne schien.



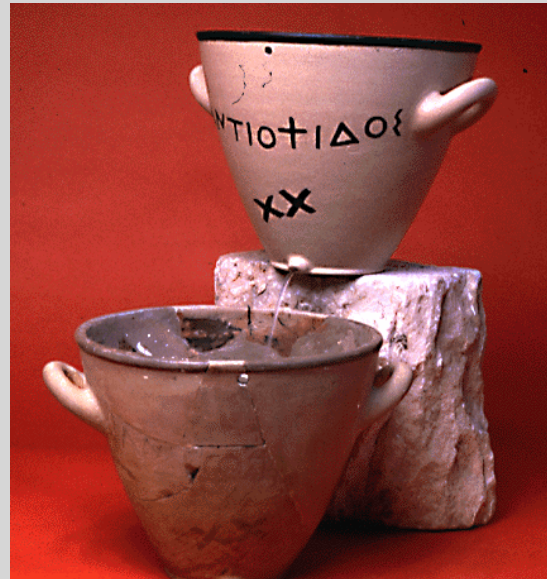
Mittelalterlicher Uhrmacher stellt seine mechanische Räderuhr mit einem Sonnenhöhenwinkelmesser nach der Sonne.³

¹ Koch (1989), a.a.O., S. 265 und Dohrn-van Rossum, a.a.O., S. 32 ² Koch (1989), S. 195 ³ ebenda Abb. S. 273.

Öluhren (ab 3000 v.Chr.)¹



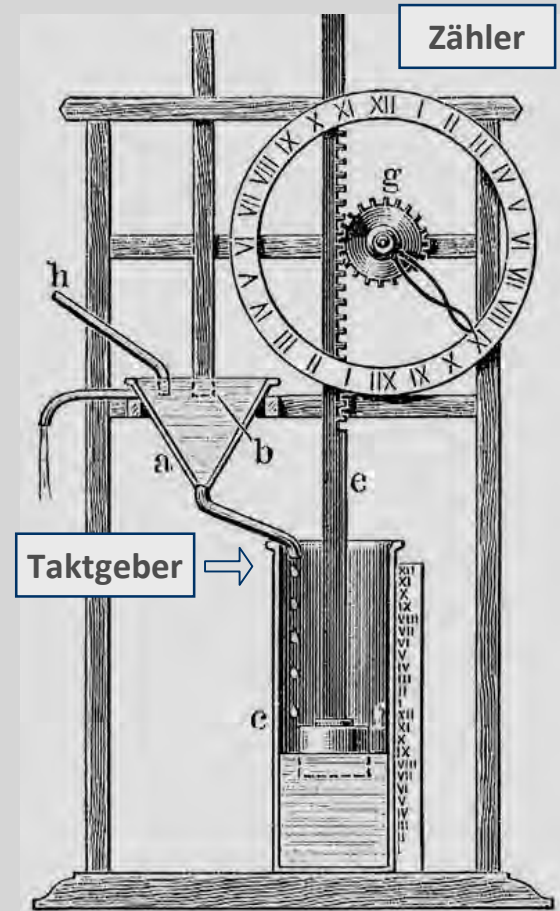
Wasseruhren (ab 1550 v. Chr.)²



Griechische Wasseruhr

 (500 v.Chr.)²

Wasseruhren wurden bis zum 18. Jhdt. verwendet. Eine Blütezeit hatten sie im arabischen Raum vom 9. bis 13. Jhdt. Selbst Galilei benutzte für seine Fallversuche (ca. 1600) eine Wasseruhr.



Wasseruhr mit Zeiger

 Ägypten ca. 300 v. Chr.¹

¹ www.zeno.org/Meyers-1905/B/Uhr und Koch, S. 150 u. S. 177 f., Dohrn-van Rossum, S. 156 f., Abeler (1994), S. 17. ² Agora Museum Athen <http://southwestern.edu/departments/classics/images/klepsydra2.gif>



Uhrmacherwerkstatt 1568

Zeitmessung – Von der **Stunde** zur
Minute und Sekunde

Mechanische Uhren

Räder- und Pendeluhren

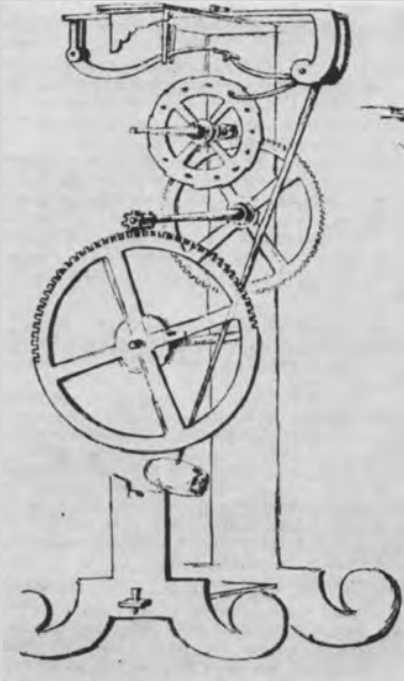


Die Sekunde • Erkenntnistheoretische Aspekte eines objektiven Zeitmaßes

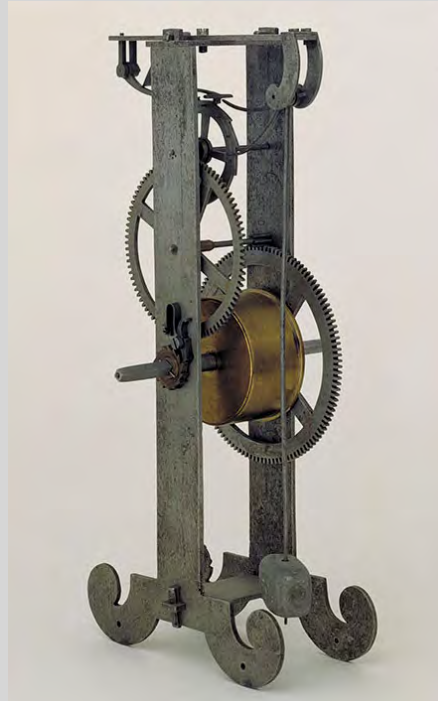
Messung der Stunde und Minute: Räder- und Pendeluhr

Pendeluhr nach einem Entwurf Galileo Galileis (1637)

Entwurf Galileis von 1637 nach einer Zeichnung seines Schülers Viviani und seines Sohnes Vincenzo¹



Nachbau der Galilei-Pendeluhr von 1860 (Breite: 16 cm Höhe: 35cm)²



Nachbau der Galilei-Pendeluhr mit Stunden- und Minutenzeiger von 1877³



Die von Galilei 1637 entworfene Pendeluhr wurde mehrfach nachgebaut.¹ Dank des Pendels und der Stiftanker-Hemmung zählte diese Konstruktion zu den genauesten, die bis ins 18. Jhdt. gebaut wurden. Sie wurde u.a. in die Turmuhr des Palazzo Vecchio in Florenz eingebaut.⁴ Die abgebildeten Rekonstruktionen stammen von dem Florentiner Uhrmacher Eustachio Porcellotti.²

Mit einem Klick auf das **mittlere Bild** wird eine **Animation** des Museo Galilei in Florenz zur Wirkungsweise der Pendeluhr gestartet.

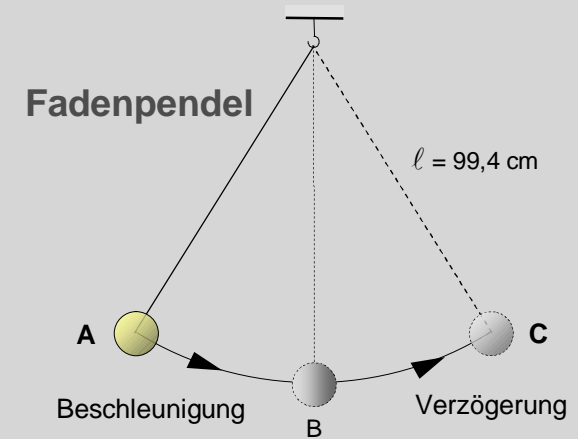
¹ Wikipedia: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_pendulum_clock_2.png?uselang=de ² Museo Galileo Firenze: http://brunelleschi.imss.fi.it/galileo_palazzostrozzi/object/EustachioPorcellottiGalileosPendulumClock.html ³ ebenda ⁴ Koch, S. 78

Wahrnehmung der Zeit in der Größenordnung von Sekunden

- Subjektive Wahrnehmung: Puls- oder Herzschlag
- Objektive Wahrnehmung: **Sekundenpendel**
Ideal: Mathematisches (reibungsfreies) Pendel von 99,4 cm Länge. 1 Sekunde ist die Zeitdauer einer Halbschwingung (von A nach C) oder kurz: $1 \text{ s} = T/2$.
- **Verfahren:** Gezählt wird die Anzahl der Halbschwingungen eines Sekundenpendels während einer Tag-Nacht-Periode.
- **Resultat** des Vergleichs der beiden Zeiten: Während der Zeitdauer einer Tag-Nacht-Periode schwingt das Sekundenpendel 43 200 mal hin und her (= 86 400 Halbschwingungen). Damit gilt für die Maßeinheit der Sekunde:

1 Sekunde ist der 86 400ste Teil der Zeitdauer eines Tages.

- Diese Definition der Sekunde wurde erstmals **1790** von der damals zuständigen Kommission der französischen Akademie der Wissenschaften festgelegt. Sie wurde später von allen Staaten, die der Meter-Konvention beigetreten sind, übernommen und galt bis **1956**.¹
- Um die damit festgelegte Teilung des Tages der Wahrnehmung zugänglich zu machen, musste ein Pendel konstruiert werden, dass während eines Tages 43.200 mal hin und her schwingt.



$$\frac{T}{2} = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow l = g \cdot \frac{(T/2)^2}{\pi^2}$$

mit $T/2 = 1 \text{ s}$ und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ergibt sich:
 $l = 0,994 \text{ m}$ bzw. $l = 99,4 \text{ cm}$

¹ Koch S. 67 und 191 sowie PTB: <http://www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-441/realisierung-der-si-sekunde/die-geschichte-der-zeiteinheit.html>

Historische Hinweise zum Sekundenpendel

- Die Idee, ein Pendel zur Zeitmessung zu verwenden, stammt von Galileo **Galilei** (1564-1642). Dass die Periodendauer konstant (1583)¹, unabhängig von der Amplitude ist und allein durch die Fadenlänge bestimmt wird (1632)², formulierte ebenfalls Galilei.
- Christiaan **Huygens** (1629-1695) konstruierte um 1657 die erste Pendeluhr und schlug vor, die halbe Periodendauer eines Sekundenpendels als Maßeinheit für die Zeit zu definieren³.
- Der in der damals zuständigen Kommission der französischen Akademie der Wissenschaften 1790 diskutierte Vorschlag, die **Länge eines Sekundenpendels** als Maßeinheit für das **Meter** zu verwenden, wurde wegen der Ortsabhängigkeit der Periodendauer verworfen.⁴

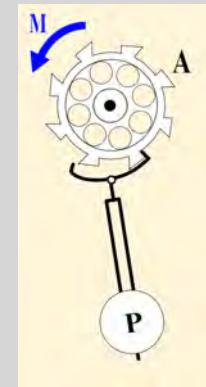


Galileo Galilei
1564 – 1642

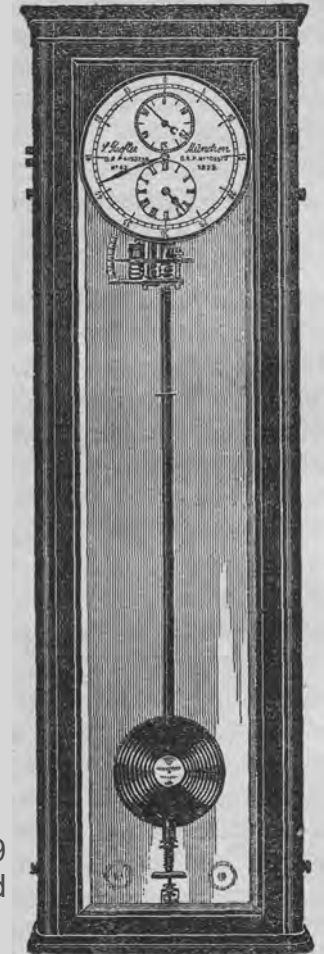


Christiaan Huygens
1564 – 1642

Prinzip der Pendeluhr



Sekundenpendel aus dem Jahre 1899 von Dr. Sigmund Riefler, Physiker und Uhrmacher aus München. Bild aus Wikipedia



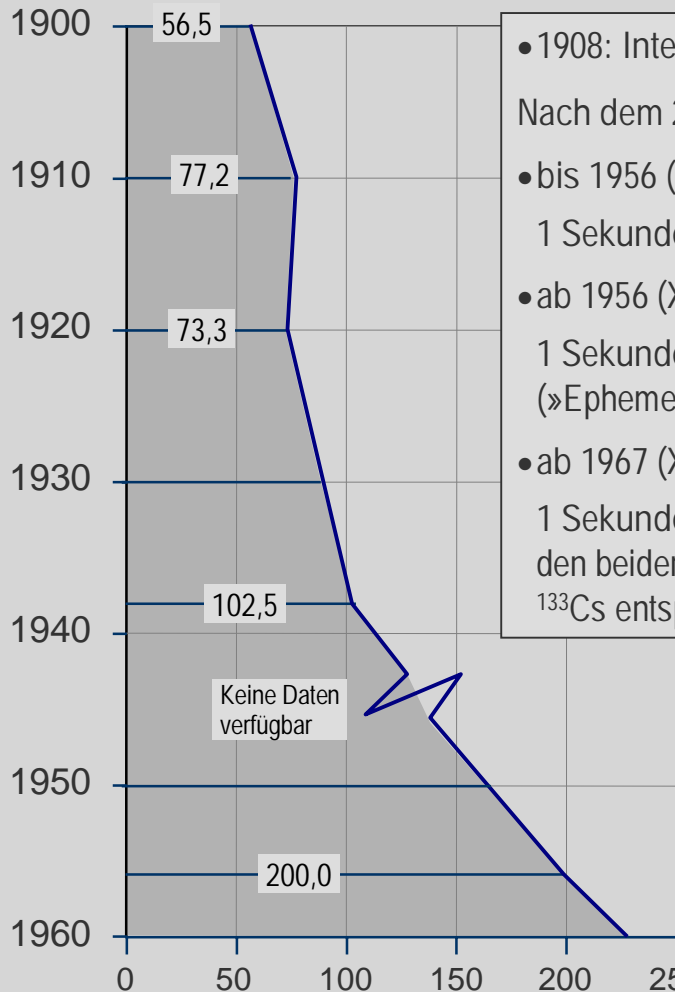
¹ Discorsi, S. 85, Dialogo, S. 245 und 470 und Dohrn-van Rossum, S. 371. ² Discorsi, S. 84. ³ Padova, S. 74 und S. 119 ff., www.geschichte-der-zeit.de/kirchenjahr-jahr-des-heils.html, http://de.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei und http://de.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens und Trapp, a.a.O., S. 63 f., Landau, S. 6. ⁴ PTB, S. 6 f.



Weitere Entwicklung der Sekunde

Welthandel¹

Maßeinheiten (insbesondere der Zeit)²



- 1908: Internationale Konferenz über elektrische Einheiten

Nach dem 2. Weltkrieg

- bis 1956 (keine internationale Festlegung):

1 Sekunde ist der 86 400-sten Teil des mittleren Sonnentages.

- ab 1956 (X. Generalkonferenz für Maß und Gewicht):

1 Sekunde ist der 31.556.926-ste Teil eines tropischen Jahres
(»Ephemeridensekunde«)

- ab 1967 (XIII. Generalkonferenz für Maß und Gewicht):

1 Sekunde ist das 9 192 631 770fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfein-strukturturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ¹³³Cs entsprechenden Strahlung.

¹ Gurland, Arcadius R.L.(1986), S. 286. CD-Version (1999): S. 12.244

² siehe Koch (1986), S. 23, S.67 und S. 191

Von der Tages zur Jahres-Definition der Sekunde

Sonnentag-Definition von 1790 (französische Akademie der Wissenschaften)

1 Sekunde ist der 86 400ste Teil eines mittleren Sonnentages.

- Zeitdauer **1 Sonnentag**: 1 Sonnentag ist die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Höchstständen der Sonne. Der »mittlere« Sonnentag ist das Jahresmittel aller Sonnentage eines Jahres.
- **Problem**: Die Drehung der Erde um ihre Achse wird nämlich wegen Ebbe und Flut ständig langsamer, so dass der mittlere Sonnentag ständig länger wird. Der Effekt ist für den einzelnen Tag äußerst gering; da sich die Verlängerungen aber ständig summieren, ergibt sich **für 100 Jahre eine** Verlängerung des mittleren Sonnentages von insgesamt **9,1 Sekunden**.

Jahres-Definition von 1956 (X. Generalkonferenz für Maß und Gewicht – Ephemeridensekunde)

1 Sekunde ist der 31 556 925,9747ste Teil eines Jahres.

- Zeitdauer **1 Jahr**: 1 Jahr ist die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchläufen der Sonne durch den Frühlingspunkt auf ihrer scheinbaren Bahn durch den Fixsternhimmel und damit die Zeit eines Umlaufes der Erde um die Sonne.
- **Problem**: Diese Umlaufzeit ist zwar auch nicht völlig konstant, aber sie verändert sich nur sehr langsam und recht gleichmäßig, wobei die Änderung **in 1000 Jahren** rund **5,3 Sekunden** beträgt.



Zeitmessung – Von der Sekunde zur Nanosekunde

Atom-Uhren

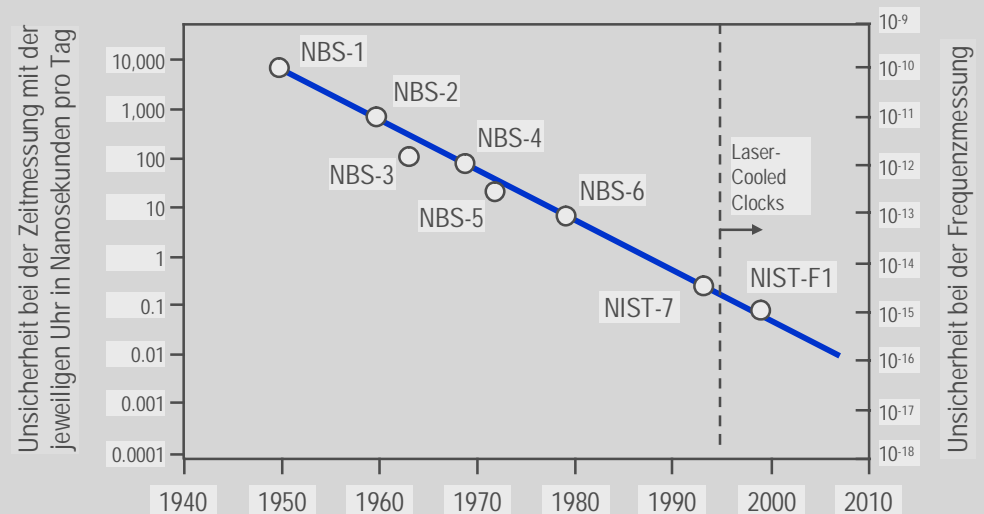
1 Nano-Sekunde = 0,000 000 001 Sekunden



Cäsium-Atomuhr CS4 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (1992)¹

¹ Wikipedia »Atomuhren«

² http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_clock

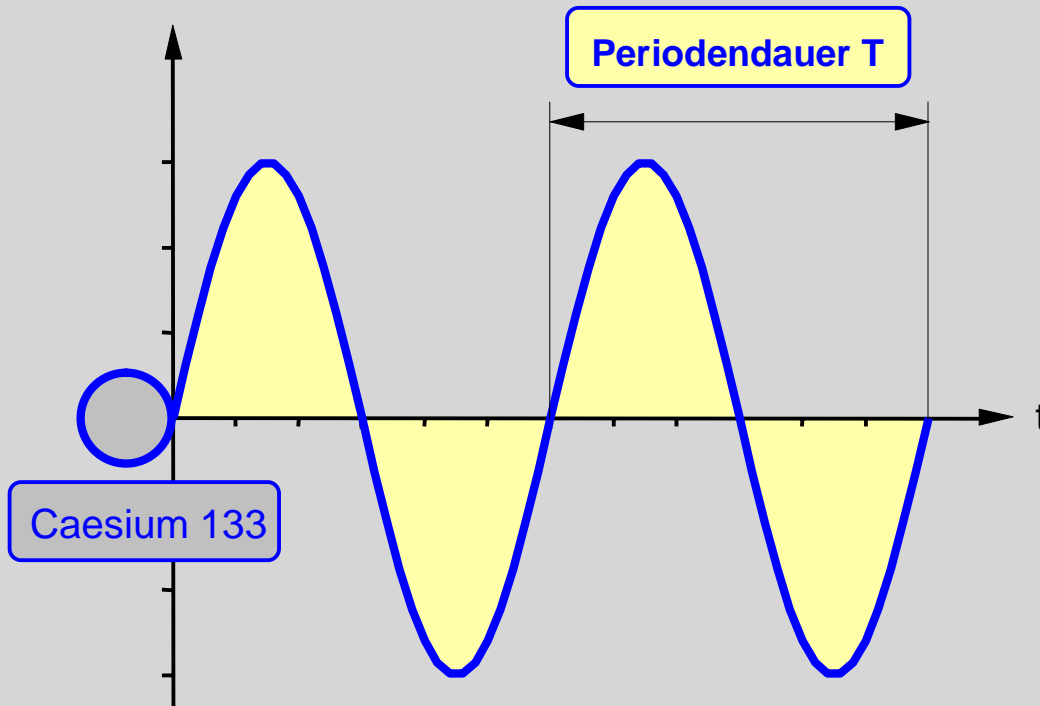


Entwicklung der Genauigkeit der Atomuhren des **National Institute of Standards and Technology (NIST)*** in den USA²

*Bis 1988: **National Bureau of Standards (NBS)**. NBS-1 war eine Ammoniak-Atomuhr. NBS-1 ... NIST-7 etc. sind die Bezeichnungen der Uhren des Instituts.

Festlegung der XIII. Generalkonferenz für Maß und Gewicht 1967:

1 Sekunde ist das **9 192 631 770 fache** der **Periodendauer** der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden **Strahlung**.



Atomstrahlung von Caesium 133

Genauigkeit der Atomuhr der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig

»Die mittlere Dauer der mit der Atomuhr CS1 der PTB realisierten Sekunde sollte mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % nicht mehr als um plus oder minus $7 \cdot 10^{-15}$ s von der Dauer der SI-Sekunde abweichen. CS1 sollte dementsprechend im Verlauf eines Jahres innerhalb von $\pm 0,22 \mu\text{s}$ mit einer **idealen Uhr** übereinstimmen.«

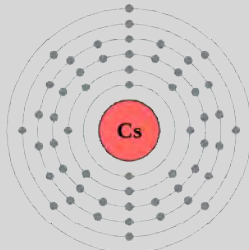
<http://www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-441/realisierung-der-si-sekunde/die-primären-atomuhren-cs1-und-cs2-der-ptb.html>

Cäsium-Atomuhr

Die Substanz: Cäsium



Cäsium-Probe in einer luftdichten Ampulle

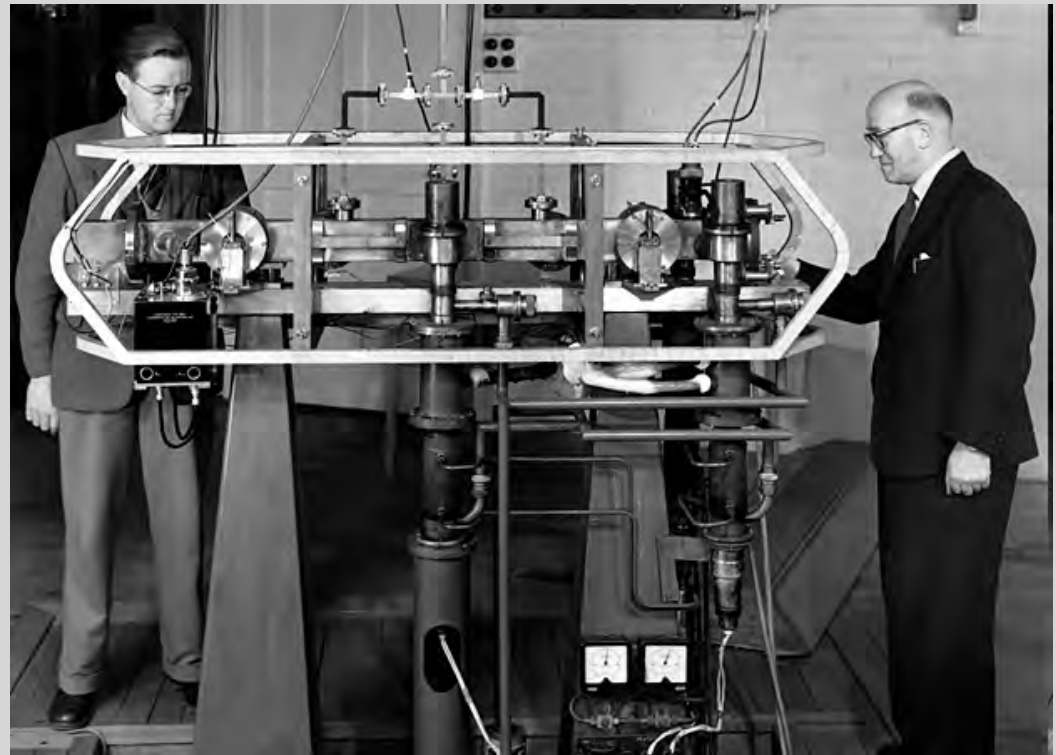


Cäsium-Atom 133
55 Elektronen
78 Neutronen

Vorteile von Cäsium in Atomuhren²

- hohe Resonanzfrequenz von ca. 9.192 MHz
- geringe Resonanzbreite und hoher Qualitätsfaktor ($Q = 10^{13}$, Pendeluhr: 10^4 , Quarz: 10^5)
- relativ einfacher Nachweis (mit Detektor aus heißem Metalldraht)
- höhere Stabilität der Periodendauer als die bei der Erdrotation und der Erdrevolution
- Das stabile (nicht radioaktive) Isotop ^{133}Cs kommt in der Natur vor (= Reinelement).
- Relativ niedriger Siedepunkt (690°C) erfordert geringen Verdampfungsaufwand.

Die Bauform: Erste Cäsium-Atomuhr (1955)



Louis Essen (r.) und John Parry (l.) vom englischen National Physical Laboratory (NPL) präsentieren 1955 die erste funktionsfähige Cäsium-Atomuhr – Ungenauigkeit: **1 Sekunde in 300 Jahren** ($9,13\ \mu\text{s/d}$)

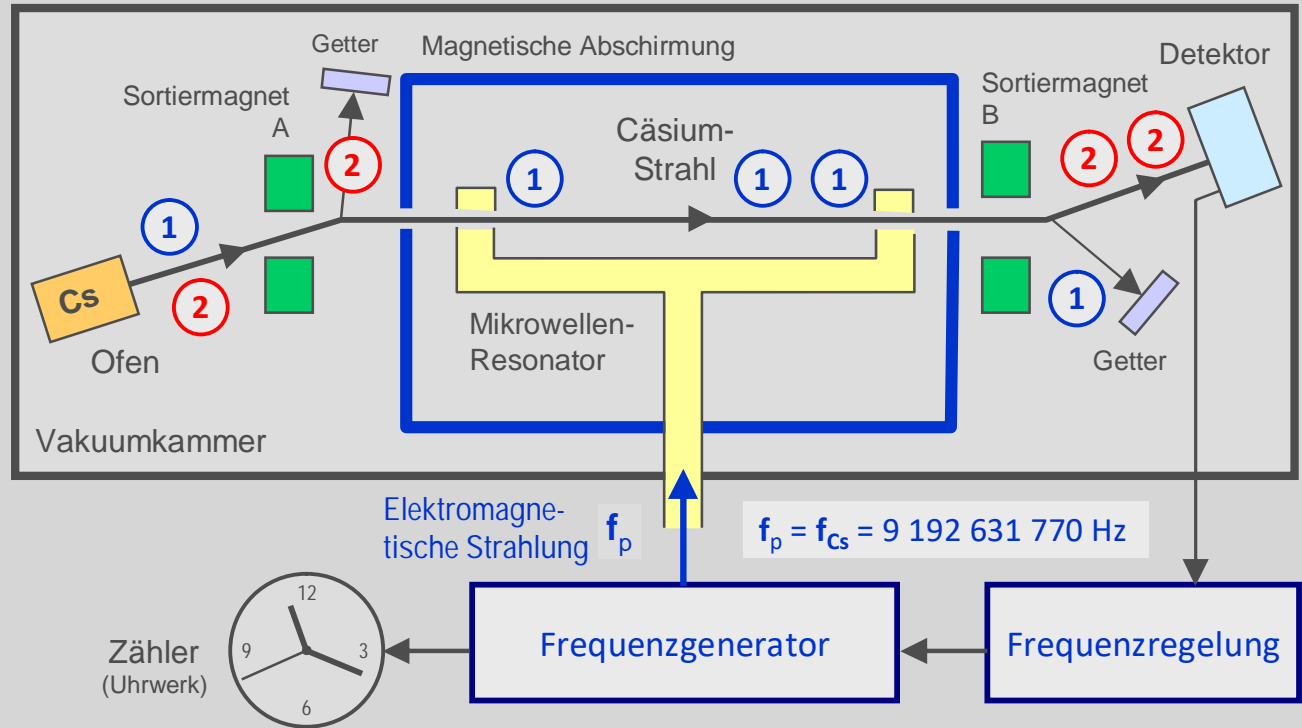
¹ Bildquellen: www.npl.co.uk/60-years-of-the-atomic-clock/timeline/ und Wikipedia

² Itano/Ramsey (1993), S. 5.

Zur Wirkungsweise der Cäsium-Atomuhr¹

Wirkungsweise

In der Vakuumkammer werden einige Gramm Cäsium-133 in einem »Ofen« erhitzt. Durch Verdampfen wird ein Cs-Atomstrahl erzeugt. Der Sortiermagnet A (Polarisator) lenkt die Atome so ab, dass nur Atome im Zustand ① in den U-förmigen Ramsey-Resonator gelangen. Hier werden die Atome durch Bestrahlung mit elektromagnetischen Mikrowellen der Frequenz f_p in den anderen Zustand ② angeregt. Durch den zweiten Magneten B (Analysator) werden dann nur die Atome, die eine Zustandsänderung von ① nach ② erfahren haben, auf den Detektor gelenkt. Die Anzahl der Atome im Detektor ist am größten, wenn f_p den für das Cäsium-Atom charakteristischen Wert f_{Cs} hat. Eine elektronische Regelung sorgt für die Stabilisierung der Frequenz f_{Cs} des Generators. Die Perioden dieser Schwingung werden gezählt. Nach genau 9 192 631 770 Perioden gibt der Generator einen Sekundenimpuls an das Uhrwerk und der Sekundenzeiger rückt einen Schritt weiter.



- ① Cäsium-Atom im Grundzustand (Energieniveau 1)
- ② Cäsium-Atom im angeregten Zustand (Energieniveau 2)

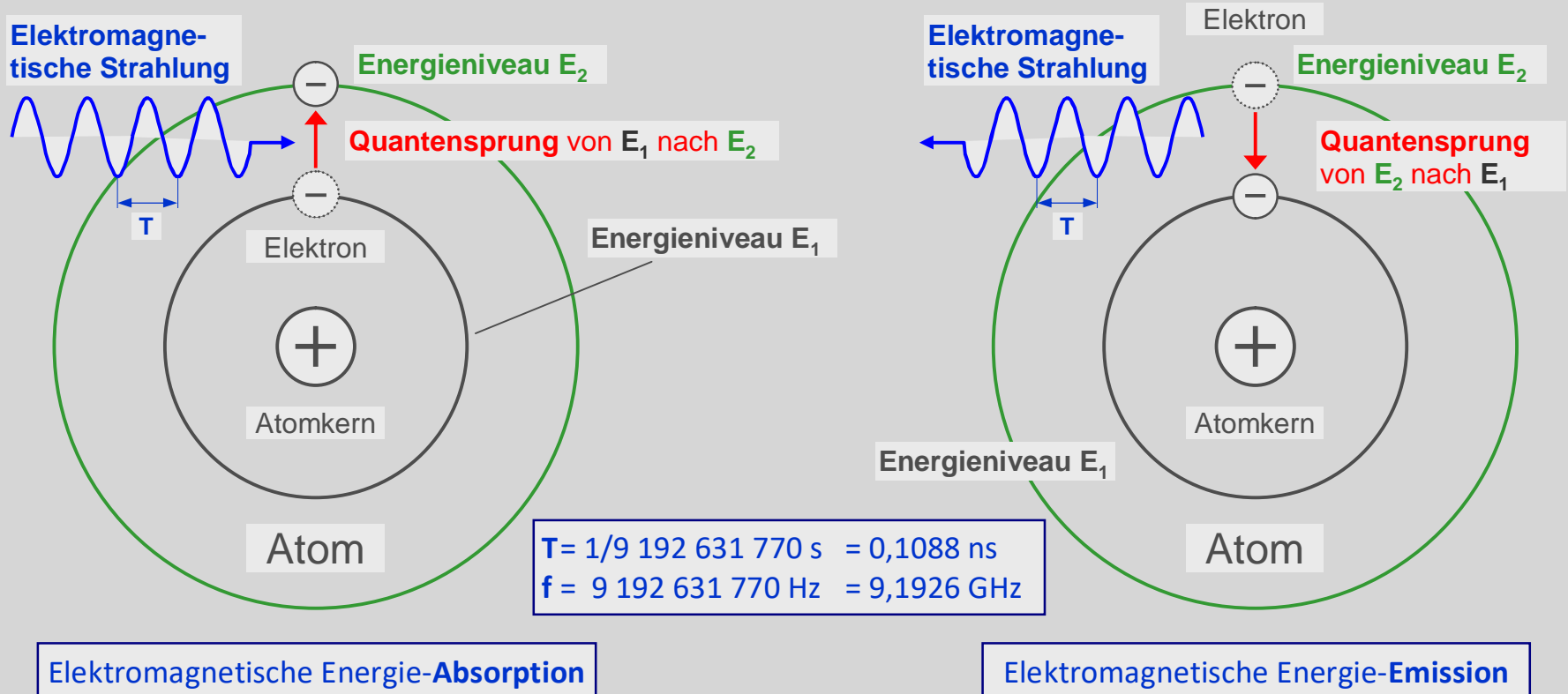
Schematischer Aufbau einer Atomuhr (Simulation mit Klick auf die Graphik aktivieren)²

¹ www.spektrum.de/lexikon/physik/atomuhr/918 und www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-441/realisierung-der-si-sekunde/funktionsweise-und-typische-technische-realisationen-von-atomuhren.html

² www.planet-schule.de/sf/php/mmewin.php?id=180

Quantensprung eines Elektrons

Zur Erinnerung: **1 Sekunde** ist das 9 192 631 770 fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs (Cäsium) entsprechenden Strahlung.



Beim Übergang eines Elektrons von Energieniveau E_1 nach E_2 wird Energie in Form elektromagnetischer Strahlung absorbiert. Im umgekehrten Falle wird elektromagnetische Strahlung emittiert. Die Frequenz f und damit die Periodendauer $T = 1/f$ dieser Strahlung ist prinzipiell konstant. Sie lässt sich berechnen nach der Einsteinschen Formel: $f = \Delta E/h$, wobei ΔE die absorbierte oder emittierte Energie ist und h eine fundamentale Naturkonstante (Plancksche Wirkungsquantum: $h = 6,626 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$) ist.

¹ PTB-Mitteilungen Heft 1/2012, S. 25 f. sowie [http://www.npl.co.uk/educate-explore/factsheets/atomic-timekeeping/atomic-timekeeping-\(poster\)](http://www.npl.co.uk/educate-explore/factsheets/atomic-timekeeping/atomic-timekeeping-(poster))



Fragen und Thesen zur Diskussion

1. Obwohl die **Zeit** nach *Immanuel Kant* **kein empirischer Begriff** ist, sind die erkenntnistheoretischen Grundvoraussetzungen der Zeitmessung die **Wahrnehmung** und das **Denken**.
2. Die **Kalendermacherei** ist gigantisches Jahrtausendwerk der menschlichen Gattung zur **Objektivierung des Zeitbegriffs**.
3. **Sonnen- und Wasseruhren** waren schon in der Antike soweit entwickelt, dass sie über das Mittelalter hinaus bis zu Beginn der Industrialisierung weit verbreitet waren, selbst in der Naturwissenschaft.
4. Mechanische Uhren wurden erst mit der Erfindung der **Pendeluhr** zur Bedingung der Möglichkeit der Realisierung der Sekunde als Maßeinheit.
5. Mit der **Massenproduktion elektronischer Uhren** (Quarzuhren) sind mehr neue Probleme entstanden (Elektronikschrott) als alte (Genauigkeit) gelöst wurden.
6. Die Anwendung **hochpräziser Zeitmessungen sind Spielereien** der Wissenschaft und Technik. Man sollte die hierfür notwendigen enormen Ressourcen besser für nützlichere Produktionen verwenden.



**Vielen Dank für Ihr
Interesse, Ihre
Aufmerksamkeit und
Ihre Geduld.**

Falls Sie noch Fragen haben:
Jochen Sicars • j.sicars@t-online.de

Anhang 1

Quellen

- Literaturverzeichnis
- Internetquellen

- Abeler, Jürgen: Ullstein Uhrenbuch – Eine Kulturgeschichte der Zeitmessung, Frankfurt am Main 1994.
- Agamben, Giorgio: Die Zeit, die bleibt – Ein Kommentar zum Römerbrief, Frankfurt am Main 2006.
- Aristoteles: Physik (347 v.Chr.), Übersetzt und mit Anmerkungen begleitet von Carl Hermann Weiße, Leipzig 1829, in: Hansen, Frank-Peter (Hrsg.), Philosophie von Platon bis Nietzsche, Digitale Bibliothek, Band 2, Berlin 1998.
- Augustinus von Hippo: Bekenntnisse (Confessiones, ca. 400 n.Chr.), 11. Buch, Kapitel 11. bis 38., Online-Version: <http://www.unifr.ch/bkv/kapitel63.htm> – rtf-Version: <http://www.unifr.ch/bkv/rtf/bkv19.rtf>
- Böhme, Gernot: Zeit und Zahl – Studien zur Zeittheorie bei Platon, Aristoteles, Leibniz und Kant, Frankfurt am Main 1974.
- Crombie, Alistair C.: Von Augustinus bis Galilei, Die Emanzipation der Naturwissenschaft, München 1977.
- Descartes, René : Prinzipien der Philosophie (1644), in: Philosophie von Platon bis Nietzsche, Digitale Bibliothek Band 2, S. 6 f. (S. 15904 und 15905).
- Dohrn-van Rossum, Gerhard: Die Geschichte der Stunde – Uhren und moderne Zeitordnungen, Köln 2007.
- Einstein, Albert: Briefe an Maurice Solovine, Berlin 1960.
- Einstein, Albert/Infeld, Leopold: Physik und Weltbild, Reinbek bei Hamburg 1987.
- Fischer, Ernst Peter und Wiegandt, Klaus: Dimensionen der Zeit – Die Entschleunigung unseres Lebens, Frankfurt am Main 2012.
- Galilei, Galileo: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische. übersetzt von Emil Strauss (1891), Nachdruck hrsg. von Roman Sexl und Karl von Meyenn, Stuttgart 1982. Italienische Erstausgabe: Florenz 1632. Hier zitiert als *Dialogo*.
- Galilei, Galileo: Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend. In deutscher Übersetzung hrsg. von Arthur v. Oettingen, Leipzig 1890, Nachdruck: Darmstadt 1973. Italienische Erstausgabe: Leyden 1638. Hier zitiert als *Discorsi*.
- Gaitzsch, Rainer/ Graßl, Hans/ Mäutner, Siegfried: Zeit und Zeitmessung, Stuttgart 1982.
- Gerlach, Walther/Kienle, Hans/ Bargman, Wolfgang/Portmann, Adolf/Weber, Alfred: Neue Wissenschaft, in: Propyläen-Weltgeschichte, Herausgegeben von Golo Mann, Alfred Heuß und August Nitschke, Digitale Bibliothek Band 14, Berlin 1999, S. 14.652 ff.

- Gurland, Arcadius R.L.: Wirtschaft und Gesellschaft im Übergang zum Zeitalter der Industrie, in: Mann, Golo u.a.: Propyläen-Weltgeschichte, 8. Band, Berlin Frankfurt a.M. 1986 (Propyläen Verlag). CD-Version: Bertram, Mathias u.a. (Hrsg.), Digitale Bibliothek 14, Berlin 1999 (Directmedia).
- Hamel, Georg: Elementare Mechanik, Nachdruck der ersten Auflage von 1912, Stuttgart 1965.
- Hawking, Stephen W.: Eine kurze Geschichte der Zeit – Die Suche nach der Urkraft des Universums, Reinbek bei Hamburg 1994.
- Hegel, G.W.F.: Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften I (1830), Werke in 20 Bänden, Band 8, Frankfurt am Main 1970. Kant, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft, Werkausgabe Band III, Frankfurt am Main 1982 (Suhrkamp).
- Holton, Gerald.: Thematische Analyse der Wissenschaft – Die Physik Einsteins und seiner Zeit, Frankfurt a.M. 1981.
- Husserl, Edmund: Logische Untersuchungen, Zweiter Band, Untersuchungen zur Phänomenologie und Theorie der Erkenntnis, I. Teil, Halle 1913. Online-Version: http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/6158/pdf/Husserl_Logische_Untersuchungen_22_1921.pdf
- Husserl, Edmund: Vorlesungen zur Phänomenologie des Zeitbewußtseins, Halle 1918. Online-Version: http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/5974/pdf/Husserl_Vorlesungen_zur_Phaenomenologie_des_innereen_Zeitbewusstseins.pdf
- Itano, Wayne M./Ramsey, Norman F.: Ultragenauere Zeitmessung, in: Spektrum der Wissenschaft, 9/1993, S. 32. Onlineversion: <http://www.spektrum.de/alias/dachzeile/ultragenauere-zeitmessung/821073>.
- Kant, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft (1787), Werkausgabe Band III, Frankfurt am Main 1982.
- Kant, Immanuel: Anthropologie in pragmatischer Absicht (1789), in: Kant im Kontext, Worm, Karsten (Hrsg.) Werke auf CD-Rom, Berlin 1997.
- Kühne, Ulrich: Die Methode des Gedankenexperiments, Frankfurt am Main 2005.
- Kunzmann, P. u.a.: dtv-Atlas Philosophie, München 1991.
- Koch, Rudi (Hrsg.): BI-Lexikon Uhren und Zeitmessung, Leipzig 1989.
- Landau, Lew/Kitajgorodskij, Alexander: Klassische Physik in moderner Darstellung, eingeleitet von Walther Gerlach, Köln 1969.
- Laue, Max von: Geschichte der Physik, Frankfurt am Main, 1958 (4. Auflage).

- Levine, Robert: Eine Landkarte der Zeit – Wie Kulturen mit der Zeit umgehen, München Zürich 2000.
- Locke, John: Ein Versuch über den menschlichen Verstand (An essay concerning human understanding, 1690), in: Hansen, Frank-Peter (Hrsg.): Philosophie von Platon bis Nietzsche, Digitale Bibliothek Band 2, Berlin 1998.
- Padova, Thomas de: Leibniz, Newton und die Erfindung der Zeit, München Zürich 2013.
- Planck, Max: Einführung in die Allgemeine Mechanik, Leipzig 1920.
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB (Hrsg.): Zeitgeschichten, Maßstäbe Heft 6 – Magazin der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig 2005.
Online-Version: http://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/masstaebe/Hefte_Komplett_PDF/mst06.pdf
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB (Hrsg.): PTB-Mitteilungen Heft 1/2012, Braunschweig 2012.
- Rauter, E.A.: Vom Faustkeil zur Fabrik, München 1977 (Weismann Verlag). Online-Version: www.sicars-didactica.de
- Resnikoff, H.L./Wells, R.O.: Mathematik im Wandel der Kulturen, Braunschweig 1983.
- Reusch, Siegfried (Hrsg.): Das Rätsel Zeit – Ein philosophischer Streifzug, Darmstadt 2004.
- Richter, Otto: Topographie der Stadt Rom, München 1901, https://openlibrary.org/books/OL6929789M/Topographie_der_stadt_Rom.
- Schischkoff, Georgi (Hrsg.): Philosophisches Wörterbuch, Stuttgart 1991.
- Tal, Eran: How Accurate Is the Standard Second?, in: Philosophy of Science, 78 (December 2011), pp. 1082- 1096.
- Trapp, Wolfgang: Kleines Handbuch der Maße Zahlen, Gewichte und der Zeitrechnung, Stuttgart 1998.

- Deutsches Uhrenmuseum Furtwangen: http://www.deutsches-uhrenmuseum.de/no_cache/museum/wissen.html
- Deutsche Gesellschaft für Chronometrie: <http://dg-chrono.de/>
- Galilei, Galileo: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische (1632), zit. als »**Dialogo**«. Online-Version: <https://archive.org/stream/dialogberdiebe00galiuoft#page/n5/mode/2up>.
- Galilei, Galileo: Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend (1638), zit. als »**Discorsi**«. Online-Version: <https://archive.org/stream/unterredungenun05galigoog#page/n2/mode/2up>.
- Meyers großes Konversationslexikon 1905: Uhren, Online-Version: <http://www.zeno.org/Meyers-1905/B/Uhr>
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB Braunschweig: <http://www.ptb.de/>
- PTB: Eine Basis für die Einheiten: <http://www.ptb.de/cms/themenrundgaenge/hueterindereinheiten/das-si/einheitenbasis.html>
- »Planet Wissen« – Wissensportal des WDR: http://www.planet-wissen.de/natur_technik/ordnungssysteme/kalender/eckdaten_zur_kalendergeschichte.jsp
- Thomas von Aquino: nihil est in intellectu quod non sit prius in sensu. in: De veritate (1256), Quaestiones 2 - 3 arg. 19, Online-Version: www.corpusthomisticum.org/qdv02.html#51886.
- Wikipedia (<http://de.wikipedia.org/>): Irreversibler Prozess, Christiaan Huygens, Atomuhr, Zeit, Sekunde

Anhang 2

Zeitmessung

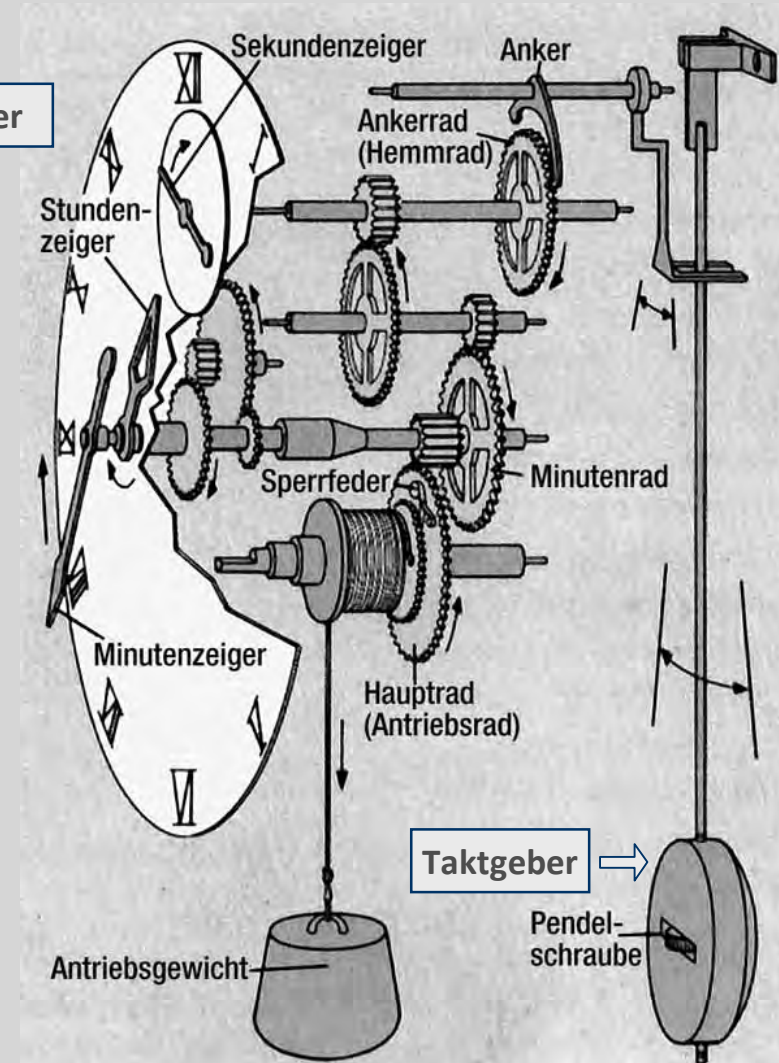
Weitere Messgeräte

- Pendeluhren
- Schiffsuhren (Chronometer)
- Quarzuhr



Aufbau der Räderuhr mit Pendel¹

Wirkungsweise der Galilei-Räderuhr²



¹ Brockhaus Enzyklopädie, Bd. 22. F.A. Brockhaus Mannheim 1993, S. 562
² <http://catalogue.museogalileo.it/multimedia/PendulumMovement.html>.

Huygens Beitrag zur Entwicklung der Räderuhr mit Pendel von 1657¹

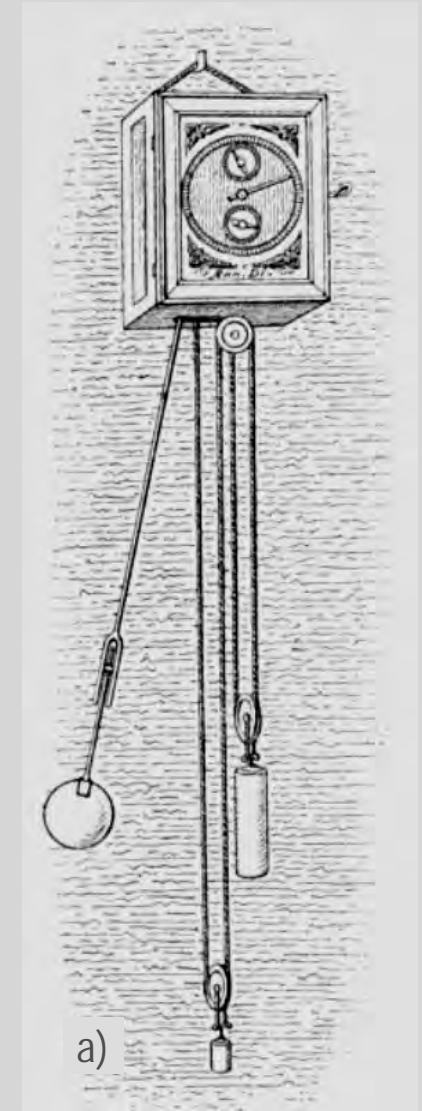
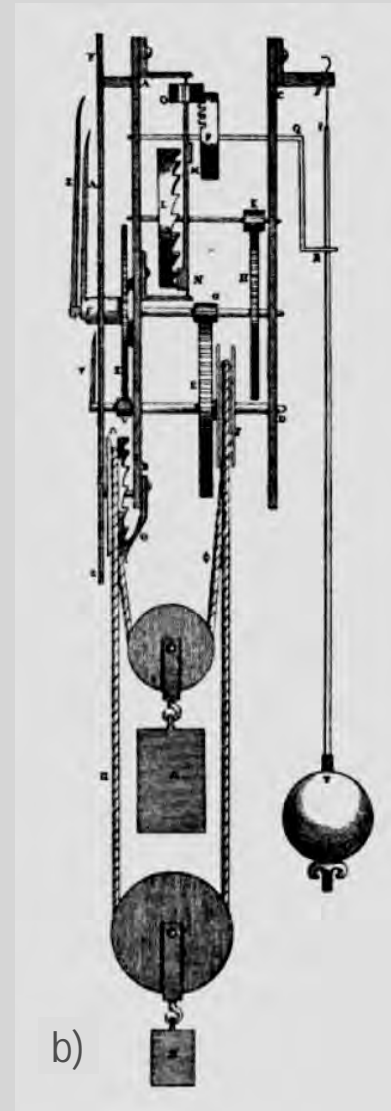
Christiaan Huygens (1564-1642)²

- niederländischer Astronom, Physiker und Mathematiker
- Berechnete mit Hilfe der Daten von Ole Römer 1678 erstmals die **Lichtgeschwindigkeit**.
- Huygens entwickelte die **Wellentheorie des Lichts** und formulierte 1678 das **Huygenssche Prinzip**.
- Er entwarf 1675 die erste **Längengraduhr** und trug damit wesentlich zur Erhöhung der Genauigkeit von Uhren bei.³



a) Uhr mit Gehäuse, Zeigern, Pendel und Antrieb

b) Uhrwerk mit Anker, Hemmung und Getriebe



¹ Bildquelle: Wikipedia ² http://de.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens ³ Abeler (1994), S. 140.

Problem: Positionsbestimmung in der Seefahrt

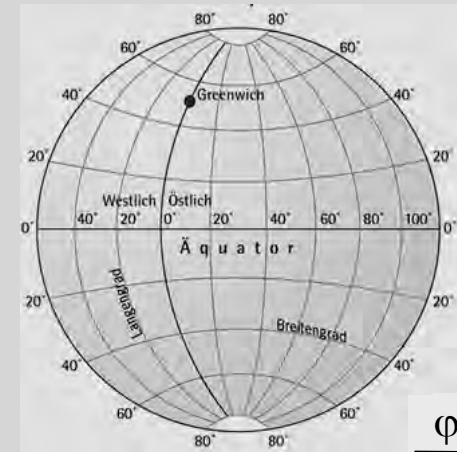
- Breitengrad ist relativ einfach zu bestimmen: z. B. über die Höhe des Polarsterns über dem Horizont. Bei gutem Wetter täglich möglich.
- Längengrad: Vergleich der lokalen Sonnenzeit t_S auf dem Schiff (bestimmt durch die Sonnenhöhe) mit der Referenzzeit t_0 eines Ortes mit bekanntem Längengrad (z.B. Greenwich auf dem 0-Meridian). Für den Längengrad φ_L gilt dann:

$$\varphi_L = t_0 - t_S \cdot 360^\circ/24 \text{ h}$$

- Zur Bestimmung der Referenzzeit t_0 wurden verschiedene Lösungsmethoden diskutiert und ausprobiert. Durchgesetzt hat sich die mit einer genauen Schiffsuhr. Auf ihr wurde bei Abfahrt die Greenwich-Zeit eingestellt. Sie konnte somit jederzeit abgelesen werden.

Eine Sekunde Ungenauigkeit der Referenzzeit führt am Äquator zu einer Längenabweichung von 0,46 km. So dauerte z. B. die Fahrt von England nach Jamaika etwa 61 Tage. Bei 2 Sekunden Ungenauigkeit **pro Tag** betrüge die Abweichung **56,12 km**.

- Die Schiffsuhr-Lösung war möglich geworden, weil John Harrison 1761 eine Uhr entwickelt hatte, die auf der 61 Tage dauernden Reise nach Jamaika insgesamt lediglich eine Abweichung von 5,1 Sekunden aufwies. James Cook bestätigt die Qualität dieser Uhr auf seinen Weltreisen. Harrison erhielt 1773 nach langem Kampf drei Jahre vor seinem Tod 8750 £ Preisgeld (Ursprünglich waren 20000 £ versprochen worden).



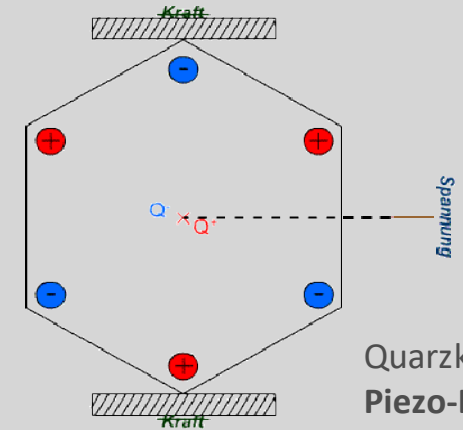
$$\varphi_L = \frac{t_0 - t_S}{360^\circ} \cdot 24 \text{ h}$$



Schiffsuhr H4 von John Harrison

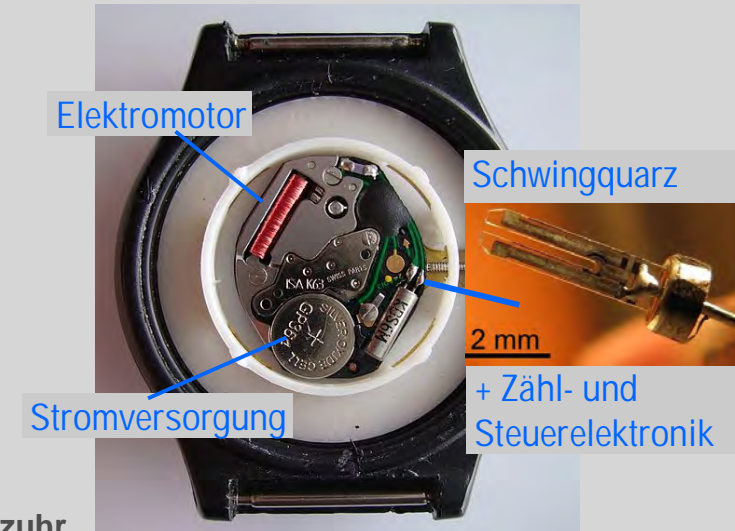
Quarzuhr mit Schwingquarz und Zählelektronik

- Ein Quarzkristall ist **piezoelektrisch**, d.h. es tritt bei elastischer Verformung eine elektrische Spannung auf (nach Jacques und Pierre Curie, 1880).
Umgekehrt kann ein solcher Quarz durch eine elektrisches Wechselfeld zu Schwingungen angeregt werden. Seine Eigenfrequenz ist durch seine äußere Form festgelegt.
- In der Quarzuhr dient ein schwingender Quarz als Taktgeber. Angeregt und aufrecht erhalten wird dessen Schwingung durch eine elektronische Oszillatorschaltung. Die übliche Frequenz beträgt $32\,786\text{ Hz} = 2^{15}\text{ Hz}$.
- Mit Hilfe einer Zähl-Elektronik werden die von dem schwingenden Quarz gelieferten elektrischen Impulse gezählt und in niederfrequente Steuerimpulse zur Ansteuerung eines Elektromotors umgewandelt. Dieser bewegt den Zeiger schrittweise im Sekundentakt weiter.
- Die erste Quarzuhr 1919 wurde von H.M. Dadourian entwickelt. 1932 konstruierten Adolf Scheibe und Udo Adelsberger in der PTR in Berlin eine Quarzuhr mit einer höheren Genauigkeit als die einer Präzisionspendeluhr.
- Vorteil: Die hohe Frequenz garantiert eine hohe Genauigkeit von $\pm 10 - 30$ Sekunden pro Monat (bei 32786 Hz).
- Nachteil: Die Frequenz ist abhängig von der Form des Schwingquarzes und daher als reproduzierbarer Standard nicht geeignet.



Quarzkristall:
Piezo-Effekt

Quarzuhr mit Schwingquarz als Taktgeber



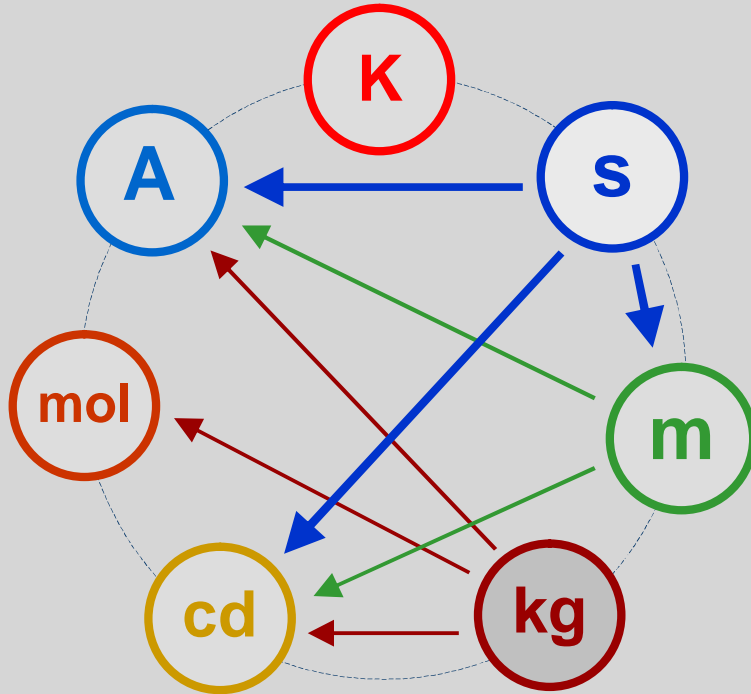
Animation zur Wirkungsweise einer Quarzuhr



Anhang 3

Ergänzungen zur Sekunde als Maßeinheit der Zeit

»Die glorreichen Sieben«¹ – Die Basiseinheiten des SI-Systems



Die SI-Basiseinheiten und deren gegenseitige Abhängigkeiten (Stand: 2012)²

Unabhängig von anderen Basiseinheiten sind nur die Basiseinheiten **Sekunde**, **Kilogramm** und **Kelvin**.

Abhängig sind die übrigen vier Basiseinheiten

- **Meter** von der Sekunde
- **Mol** vom Kilogramm
- **Ampere** von Meter, Kilogramm und Sekunde
- **Candela** von Meter, Kilogramm und Sekunde

Noch zwei **Besonderheiten**:

1. Die **Sekunde** kann am genauesten gemessen werden.
2. Nur das **Kilogramm** ist (bis jetzt) noch über einen Prototyp definiert (Urkilogramm).

Alle anderen Einheiten werden über unveränderliche Naturkonstanten festgelegt, was aber nicht schon immer der Fall war. So gab es bis 1960 ein Urmeter als Prototyp für die Einheit Meter. Da sich die Masse des Urkilogramms aber theoretisch ändern könnte (und dies wahrscheinlich sogar tut) arbeitet man daran, auch die Einheit Kilogramm eindeutig zu definieren.¹

¹ Die Zeit Nr. 18, 26.4.2012, Grafik Nr. 150. ² Wikipedia: Internationales Einheitensystem: http://de.wikipedia.org/wiki/Internationales_Einheitensystem sowie http://de.wikipedia.org/wiki/Generalkonferenz_f%C3%BCr_Ma%C3%9F_und_Gewicht und <http://www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-441/realisierung-der-si-sekunde/die-geschichte-der-zeiteinheit.html#c3500>

Aufgaben der Zeitdienste und Zeitinstitute¹

1. Bestimmung der Zeit

Die Bestimmung der Zeit besteht in der Schaffung und Benennung markanter Zeitpunkte der laufenden Zeit. Das ist zur Zeit nur durch astronomische Beobachtungen möglich, physikalische Zeitvorgänge sind dazu nicht brauchbar. Für die Zeit unserer Erde kommen dafür nur die tägliche Erddrehung mit dem Fixpunkt Frühlingspunkt in Frage. Diese beiden Bewegungen müssen laufend beobachtet werden. Aus ihnen entstehen astronomische Zeit, Sonnenzeit, Sternzeit, Uhrzeit und Kalender.

2. Bewahrung der Zeit

Zeitpunkte können nicht geschaffen werden, wenn nicht gleichzeitig eine gleichmäßige Bewegung zur Verfügung steht, an der ebenfalls Zeitpunkte abgelesen werden können. Für diese Zeitbewahrung standen früher Pendeluhrn zur Verfügung, die die Sonnenzeit (einschließlich Zeitgleichung) oder, wo es möglich war, die Sternzeit täglich zur Ablesung bereitstellten.

Seit 1935 wurden Quarzuhren zur Zeitbewahrung benutzt, und seit 1967 sind es die Cäsiumatomuhren. Diese bieten die Garantie, dass die laufende Zeit viel gleichmäßiger dargestellt wird, jedoch muss zur Kontrolle stets auf die astronomische Zeit zurückgegriffen werden, und die Differenzen zwischen beiden Zeiten werden durch Schaltsekunden vermindert.

Die Atomzeit hat die Funktion einer Zeitbewahrung, die astronomische Zeit die einer erzeugenden Zeit.

3. Vergleich mit Zeitdiensten anderer Länder

Zeitvergleiche sind zur eigenen Orientierung nötig. Die eingeschätzte Genauigkeit wird regelmäßig an das Bureau International de l'Heure in Paris gemeldet. Daraufhin werden von dort die Angaben für die laufende Zeit, z.B. Stand der Erddrehung im Verhältnis zur Atomzeit, Schaltsekunde, ausgegeben.

4. Verbreitung der genauen Zeit

Als Ergebnis der Zeitbewahrung erfolgt die Verbreitung der genauen Zeit durch Zeitzeichen im Rundfunk, durch einen Zeitzeichensender oder durch das Fernsehen.

¹ Koch (1986), S. 250.



Anhang 4

Weitere Materialien zur Kalendermacherei

Ergänzung zu Folie 26: Gründe für die Kalendermacherei



- In der Landwirtschaft war Wahl des richtigen Zeitpunktes für die Bodenbereitung und Aussaat und die Zeitdauer der Bewässerung von großer Wichtigkeit.
- Mit folgendem Text aus dem Buch »Vom Faustkeil zur Fabrik« von E. A. Rauter soll am Beispiel des alten Ägypten exemplarisch erläutert werden, welche Gründe die Menschen bewegen haben, sich mit Zeitmessung und Kalendermacherei zu beschäftigen.

Es ist Unsinn anzunehmen, die Ägypter hätten für Astronomie größeres Talent gehabt als andere Völker. Es war ein bestimmter äußerer Zwang, mit dem die Ägypter „begabt“ waren. Der Nil tritt in seinem unteren Lauf in regelmäßigen Zeitabständen über seine Ufer. Er bedeckt das Land mit fruchtbarem Schlamm. Wenn zur falschen Zeit gesät worden ist, zerstört der Schlamm die Ernte, statt den Boden für den Getreideanbau fruchtbar zu machen. Es kam darauf an festzustellen, wie oft und wann der Nil über seine Ufer tritt. Dazu brauchte man eine Technik, den Ablauf der Zeit zu messen. Einen Kalender kann man nur nach den Bewegungen von Gestirnen aufstellen. Die intensive Beschäftigung der Ägypter mit der Astronomie ergab sich aus den Bedürfnissen der Landwirtschaft. Sie schauten in die Sterne, um nicht zu hungern.

Nachdem das Wasser abgeflossen war, lag das Land wild vor den Menschen. Kein Grenzpfahl blieb, niemand wußte, wo welcher Besitz begann. Das Land mußte jedes Jahr neu vermessen werden. Es ist erstaunlich, welche mathematischen Kunstwerke die Ägypter vollbrachten, wenn der Lauf des Flusses sich geändert hatte, aus ehemals rechteckigen –leicht berechenbaren– Stücken dreieckige, trapezförmige entstanden waren. Damals wurde die Wissenschaft zu einer Produktivkraft.

Diejenigen, die über den Lauf der Gestirne Bescheid wußten oder mathematische Formeln beherrschten, waren imstande, gewisse Dinge vorherzusagen –und wenn es nur das Grundmuster geometrischer Figuren war–, und das beeindruckte die Zeitgenossen. Sie hielten das für übernatürliche Vorgänge. Wissenschaftler trugen dazu bei, indem sie ihre Wissenschaft mit Geheimnis umgaben und nur einem kleinen Kreis weiterlehrten. Ein Beispiel dafür sind die sogenannten Pythagoräer, die ähnlich Klostermönchen lebten, ihr Wissen als Geheimkult gestalteten und ihren Gründer, Pythagoras, wie einen Heiligen kultisch verehrten. Wissenschaft wurde dadurch auch zum Mittel der Herrschaft. (Quelle: Rauter (1977), a.a.O., S. 43 f.)



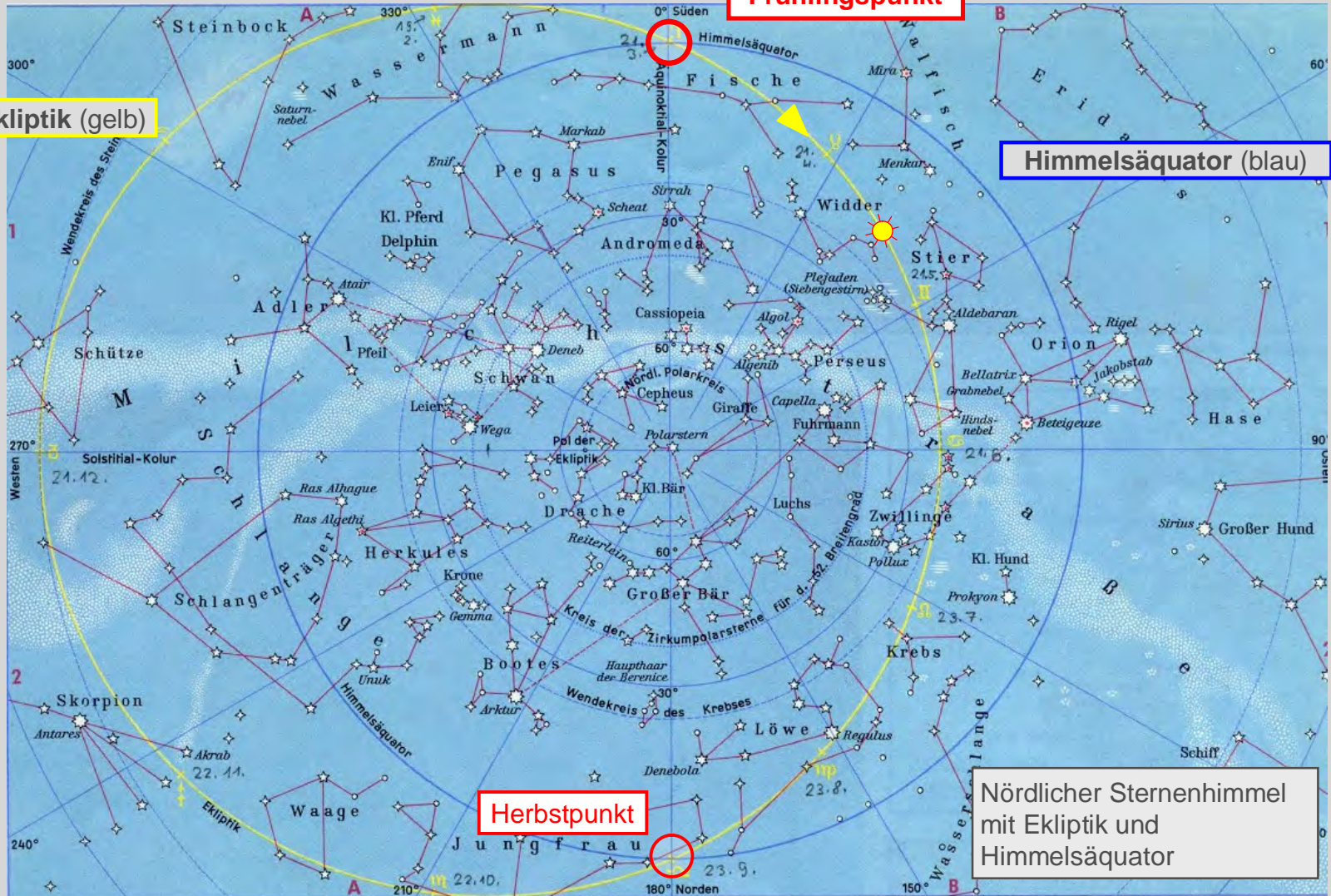
Die Sekunde • Erkenntnistheoretische Aspekte eines objektiven Zeitmaßes

Frühlingspunkt auf der Karte des nördlichen Sternhimmels

Ekliptik (gelb)

Frühlingspunkt

Himmelsäquator (blau)



Herbstpunkt

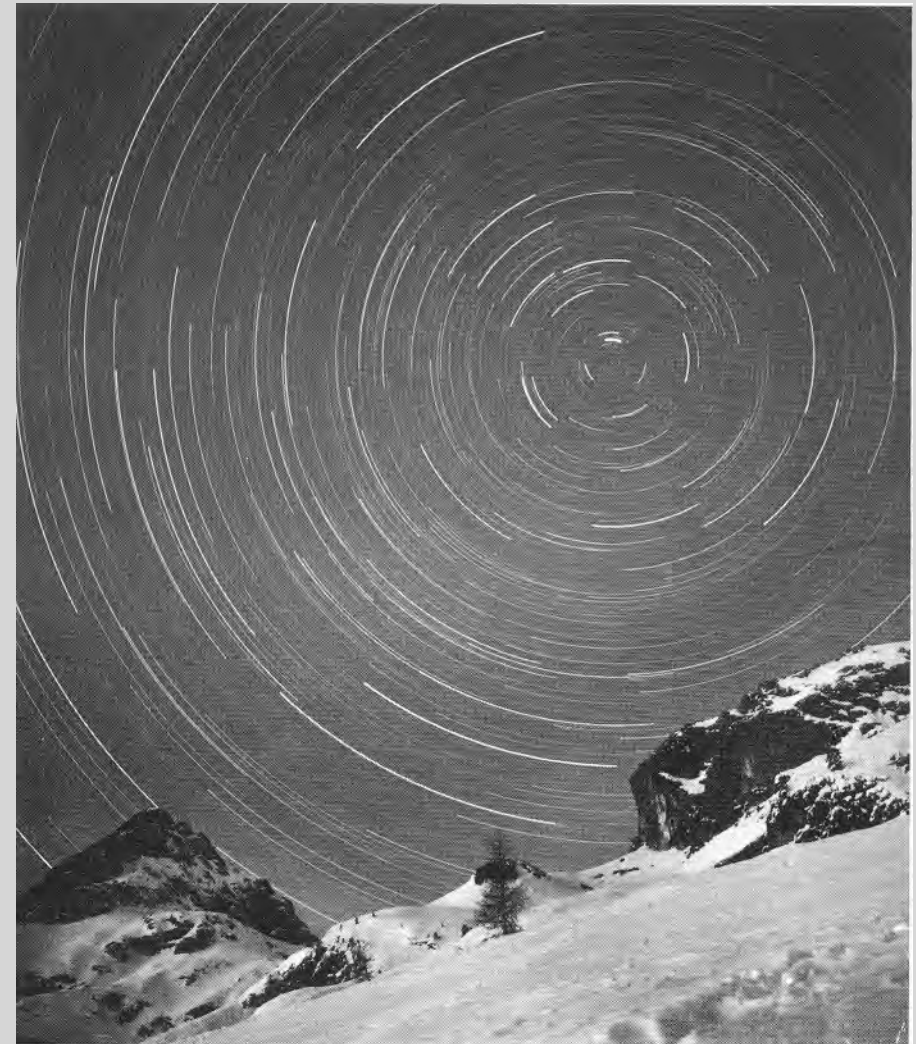
Nördlicher Sternenhimmel
mit Ekliptik und
Himmelsäquator

Himmelsnordpol:

Drehzentrum der scheinbaren Drehung der Fixsterne von der Erde aus betrachtet

Der Punkt am sichtbaren Himmelsgewölbe, der als »**Drehzentrum**« für die Fixsterne erscheint, wird **Himmelsnordpol** genannt; er liegt dicht neben dem Polarstern und mit diesem zugleich senkrecht über dem Nordpunkt des Horizontes. Ihm gegenüber liegt auf der unsichtbaren Hälfte der Himmelskugel der Himmels-südpol. Die Verbindungsgerade beider Himmelspole, die Himmelsachse, geht durch den Mittelpunkt der Himmelskugel, der zugleich der Mittelpunkt der Erde ist.

Die Aufnahme ist dadurch zustande gekommen, dass der Fotograf den Verschluss seiner Kamera lange Zeit geöffnet hat. So gerieten die Sterne nicht als Punkte, sondern als »bewegte Punkte«, also als Striche auf den Film. Allerdings sind es nicht die Sterne, die sich bewegen, sondern die Erde. Und zwar ist es, wie dieses Bild deutlich macht, eine Drehbewegung um eine Achse, deren eines Ende auf den Himmelspol weist.



Quelle: Bernd Ehrlich (Hrsg.), Unser Sonnensystem, Sonderheft aus der Reihe "Schulfunk – unsere Welt aktuell", Lübeck o.J., S. 58



Anhang 5

Sonstige Materialien

Das Streiflicht – Zur Effizienz von Power-Point-Vorträgen

(SZ) Willkommen bei der Power-Point-Präsentation „Das Streiflicht im digitalen Zeitalter – Challenges und Corporate Identity“. Als Ergebnis einer Cross-Media-Erhebung haben wir die Zielgruppe dieser Kolumne identifiziert. Folie eins zeigt die Vorzüge des Power-Point-Vortrages, die es ermöglichen, komplexe Zusammenhänge wie den Umstand, dass Leser das Streiflicht lesen, für jedermann verständlich darzustellen. Also: grüner Kreis: „Generieren des Glossenthemas“, Klammer „Gedankenrecherche“. Unterpunkte: „a) Themenschöpfung mittels Prozessen mentaler Kreativität, b) Optimierung des Workflows, c) gemeinsames Verzehren einer Tüte Saurer Stäbchen (Sour Stick Group Motivation Procedura)“. Vom grünen Kreis führt ein roter Pfeil zu einem blauen Kreis, darin die Worte: „Leser/Zielgruppe/Response“.

Wir hätten noch gern die Folie zwei („Solutions durch Synergieeffizienz“) präsentiert, um zu erklären, wie wir immer auf diese tollen Themen kommen. Aber das geht jetzt nicht mehr. Um die PowerPoint-Präsentation zielgruppengerecht zu generieren, haben wir sie leider abschaffen müssen. Die Eventmanager empfehlen das neuerdings. Ihnen ist nämlich jetzt, ungefähr ein Vierteljahrhundert zu spät, etwas aufgefallen: Noch niemals in der Geschichte dieser Vortragsform ist ein einziger Zuhörer gefunden worden, der darauf anders als mit Erschlaffung, mentaler Lähmung oder, im besten Fall, einem Power Napping reagiert hätte. Der Power-Point-Vortrag ist eine Geißel der modernen Welt, ja der Inbegriff einer ihrer großen Übel: dem unstillbaren Bedürfnis, seine Mitmenschen über Dinge zu belehren, von denen sie aus guten Gründen noch nie etwas wissen wollten. Die Sache wird nicht besser dadurch, dass noch die wirrsten und schönfärberischsten Ausführungen im Mäntelchen des Seriösen erscheinen, wenn man sie in Kreise und Kolonnen von Fachkauderwelsch aufteilt. All die bedauernswerten Mitbürger, die während der Finanzkrise ihre Villa am Starnberger See veräußern mussten, denken vielleicht noch an den Power-Point-Vortrag dieses empfohlenen Investorenteam aus Amerika, das per Beamer märchenhafte Gewinnreihen zeigte.

Sogar das Militär beschäftigt Heerscharen von Power-Point-Rangern. Der US-Oberkommandierende in Afghanistan hat dazu bemerkt: An jenem Tage, an dem er die wirren Linien, Pfeile und Kreise auf der Leinwand verstanden habe, werde auch der Krieg gewonnen sein. Vielleicht ist er, wie Millionen vor ihm, während der Präsentation aber nur eingnickt. Ein General, der schläft, hat der Barde Georges Brassens frohgemut gesungen, der schickt wenigstens niemanden in den Tod. Es war nicht alles schlecht an Power Point.

Süddeutsche Zeitung vom 7. Februar 2015