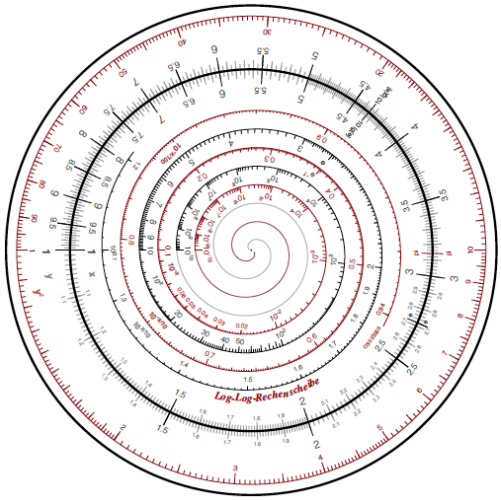
Rechenscheiben im 21. Jahrhundert:

Revitalisierung einer historischen Rechentechnik



Oliver Steffens, 25.08.2020

Neue Rechenschieber im Zeitalter von Künstlicher Intelligenz und Big Data? Als analoges Gegenstück zu Computern und als visuelles Medium zur Förderung des Verständnisses mathematischer Zusammenhänge können Rechenschieber auch heute noch faszinieren und neben didaktischen auch ganz praktischen Zwecken dienen. In diesem Beitrag berichte ich über mein Projekt, eigene Rechenschieber in Form von Rechenscheiben zu entwerfen und herzustellen. Doch warum macht man das? An erster Stelle steht natürlich das Interesse und die Leidenschaft für diese mechanischen „Analogcomputer", vor allem aufgrund der Haptik und Visualisierung, die mit ihnen verbunden sind. Darüber hinaus die spannende Frage: Kann man auf den Prinzipien und Erkenntnissen aus der Historie der Rechenschieber aufbauen und neue Ideen umsetzen? Welche praktischen und auch ästhetischen Lösungen ergeben sich?

Nach einem historischen, richtungsgebenden Überblick stelle ich eine Auswahl der neuen Rechenschieber vor und beschreibe in groben Zügen, wie sie in der Praxis hergestellt werden.

1. Historischer Abriss

Die Anwendung von mechanischen Rechenhilfen wie Rechenstäben und Rechenscheiben hat in der Mathematik- und Technikgeschichte eine lange Tradition.

Der klassische Rechenschieber, der auf der Übertragung von Multiplikation und Division auf die Addition und Subtraktion von Längen auf einer geeignet gestalteten Skala beruht, entstand im Zuge der „Entdeckung" der Logarithmen durch den Schotten John Napier (1550–1617), der sich latinisiert auch Neper nannte (diese Bezeichnung wird heute noch als Einheit für die natürlichen Logarithmen verwendet). Napier veröffentlichte seine Methode 1614 in dem Werk „Mirifici logarithmorum

canonis descriptio ejusque usus in utraque trigonometria"[1] – auf Deutsch etwa: „Die Beschreibung des wunderbaren Kanons der Logarithmen, und deren Verwendung nicht nur in der Trigonometrie, sondern auch in allen mathematischen Berechnungen, vollständig und auf einfachste Weise erklärt". Mithilfe der Logarithmen lassen sich die „großen Verzögerungen aufgrund der Mühsal langwieriger Multiplikationen und Divisionen, der Berechnung von Verhältnissen oder der Bestimmung von Quadrat- und Kubikwurzeln" sowie die "Ärgernis der vielen Flüchtigkeitsfehler" vermeiden. Napiers Erkenntnisse wurden von seinem Zeitgenossen Henry Briggs (1556–1630) aufgenommen und weiterentwickelt.[2]

Fast zeitgleich wurden die Logarithmen vom Schweizer Jost Bürgi (1552–1632) eingeführt. Er war kaiserlicher Hofuhrmacher und Erbauer der ersten astronomisch genutzten Sekundenuhr sowie präziser Himmelsgloben, erschuf wissenschaftliche Messgeräte und ersann die astronomische Differenzenrechnung und weitere einzigartige Rechenalgorithmen.[3] 1620 veröffentlichte er die weltweit erste Zusammenstellung einer Logarithmentafel („Aritmetische und Geometrische Progress-Tabuln", Druck 1620).[4]

Der Engländer Edmund Gunter (1581–1626) stellte die Napier'schen Logarithmen 1620 erstmals in Form einer Skala auf einem 2 Fuß langen Holzstab dar. Die somit erfundene „Gunter-Skala" (Gunter's Line), auf der man mithilfe eines Stechzirkels rechnete, wurde später ergänzt mit trigonometrischen und ballistischen Skalen und war als Rechen-Hilfsmittel in der Seefahrt lange in Gebrauch bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts.[5] Gunter führte auch die Begriffe Co-Sinus und Co-Tangens ein.[6]

Aus dieser frühen Form heraus entwickelte sich der heute bekannte Rechenschieber, bestehend aus zwei gegeneinander verschiebbaren logarithmischen Skalen, die keinen Stechzirkel zur Abmessung mehr erforderlich machten. Diese Erfindung geht auf den englischen Mathematiker William Oughtred (1574–1660) im Jahre 1622 zurück. Oughtred war Pfarrer der Church of England und unterrichtete als Privatlehrer Mathematik, unter anderem Christopher Wren (1632–1723), den berühmten Astronomen und Gründer der Royal Society. Oughtred galt als führender

[1] J. Napier: Mirifici logarithmorum canonis descriptio ejusque usus in utraque trigonometria etc. Edinburgh 1614 (eine englische Übersetzung durch Ian Bruce findet sich unter http://www.17centurymaths.com/contents/napiercontents.html).

[2] A. v. Braunmühl: Geschichte der Trigonometrie. Band 2. Leipzig 1903.

[3] R. Kern: Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit. Band 1: Vom Astrolab zum mathematischen Besteck. Walther König, Köln 2010.

[4] K. Clark: Jost Bürgis' Aritmetische und Geometrische Progresstabulen. Edition and Commentary. Reihe „Science Networks. Historical Studies". Birkhäuser Springer, Basel 2016.

[5] F. Cajori: A history of the logarithmic slide rule and allied instruments and on the history of Gunter's Scale and the slide rule during the seventeenth century, 1909; Nachdruck: Astragal Press, Mendham, New Jersey 1994.

[6] E. Gunter: Canon Triangolorum, or Table of Artificial Sines and Tangents, 1620.

Mathematiker seiner Zeit. Von ihm stammen übrigens die Symbole π für die Kreiszahl (von „Peripherie"/Umfang) sowie x und / für Multiplikation und Division.[7]

1632 veröffentlichte Oughtred seine Idee eines kreisförmigen Rechenschiebers (Rechenscheibe). In "Circles of Proportion"[8] stellt er fest:

> *„That the true way of Art is not by Instruments, but by Demonstration: and that it is a preposterous course of vulgar Teachers, to begin with Instruments, and not with the Sciences, and so instead of Artists, to make their Scholars only doers of tricks, and as it were jugglers: to the despite of Art, loss of previous time, and betraying of willing and industrious wits, unto ignorance, and idleness. That the use of Instruments is indeed excellent, if a man be an Artist: but contemptible, being set and opposed to Art."* [9]

Hier spricht Oughtred vermutlich vielen Freunden und Sammlern von Rechenschiebern aus der Seele, denn die mathematischen Zusammenhänge lassen sich graphisch viel schöner vermitteln als mit einem Taschenrechner. Als hätte Oughtred die Entwicklung vorhergesehen, führte die Einführung des elektronischen Taschenrechners (bei allen praktischen Vorteilen) noch weiter dazu, dass die zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten nicht mehr erkennbar sind.

Historisch betrachtet ist diese Äußerung Oughtreds aber Teil seiner Kontroverse mit Richard Delamain (1600–1644), der nach Ansicht einiger Zeitgenossen viele von Oughtreds Ideen als eigene Erfindung ausgegeben hat und ihm mit seinem Werk „Grammelogia"[10] von 1630 mit der Veröffentlichung zuvorgekommen ist.[11] Neben ausführlichen Beschreibungen seiner kreisförmigen Rechenscheibe (*circular slide rule*) findet sich darin auch die erste richtige Bedienungsanleitung für Rechenschieber.[12] Der „mathematische Ring" oder Grammelogia bestand aus einer festen Scheibe und einem dazu beweglichen Ring, beide mit logarithmischen Skalen. In Oughtreds „Circles of Proportion" sind die Kreise feststehend und Abstände werden ähnlich wie mit Gunters Stechzirkeln abgemessen. In einer späteren Ausgabe der „Grammelogia" um 1632 beschreibt Delamain die Funktionsweise eines Läufers oder Zeigers und gilt daher noch vor Isaac Newton (1643–1727) als dessen Erfinder.

Oughtreds Zitat zeigt, dass er Mathematik und Logik als „Kunst" (*Art*) versteht. Dies schlägt eine Brücke zu noch weiter zurück liegenden Überlegungen des katalanischen Philosophen und Theologen Ramón Llull (Raimundus Lullus, 1232–1316). Llull hatte sich aufgrund eines Erweckungserlebnisses zum Ziel gesetzt, mithilfe eines logischen

---

[7] W. Oughtred: Theorematum in libris Archimedis de Sphaera et Cylindro Declaratio. Oxford 1633.
[8] W. Oughtred: Circles of Proportion (Eine Abhandlung über Navigation). Oxford 1632.
[9] Siehe auch: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Oughtred/
[10] R. Delamain: Grammelogia, or, The Mathematicall Ring. John Haviland, London 1630.
[11] Siehe W. Oughtred: To the English Gentrie, and all others studious of the Mathematicks, which shall bee readers hereof. The just Apologie of Wil: Ovghtred, against the slaunderous insimulations of Richard Delamain, in a Pamphlet called Grammelogia, or the Mathematicall Ring, 1633.
[12] Siehe auch die Darstellung der Kontroverse in F. Cajori: A history of the logarithmic slide rule and allied instruments and on the history of Gunter's Scale and the slide rule during the seventeenth century, 1909; Nachdruck: Astragal Press, Mendham, New Jersey 1994.

Apparats, seiner „Ars Magna“ („Große Kunst“), die Ungläubigen durch pure Logik von der Wahrheit des christlichen Glaubens zu überzeugen.[13] Aus heutiger Sicht mag das überholt erscheinen, doch zu seiner Zeit, als das Christentum seine Missionstätigkeiten vor allem mithilfe von Waffengewalt voranbringen wollte, war seine Haltung progressiv und weltoffen. Denn er setzte auf Dialog und Diskussion und wollte rational überzeugen. Mit seiner „Ars“ wurde Llull allerdings weniger zu einem erfolgreichen Missionar (er bezahlte seine Bekehrungsversuche mit seinem Leben, als er Ende 1315 von einem Mob in Tunis gesteinigt wurde und schwer verletzt in seine Heimat Mallorca zurückkehrte, wo er starb). Er gilt heute vielmehr als Pionier der Kombinatorik und Computerwissenschaften, da er sich mit grundlegenden Fragen von Datenstrukturen, Algorithmen usw. auseinandersetzte.[14]

Llulls „Ars Generalis Ultima“ (1305–1308)[15] baut auf einer Rechenmaschine auf, die aus drei drehbaren Scheiben besteht, die mit Buchstaben beschriftet sind. Mithilfe dieser „Denkmaschine“ konnte Llull seine durch vielfältige Regeln geprägte „Ars Magna“ praktisch ausführen. Damit ist er wohl der ultimative Urvater der kreisförmigen Rechenschieber.

2. Neue Rechenscheiben – Hommage und neuer Nutzen

Ausgehend von historischen Vorbildern habe ich mir zum Ziel gesetzt, moderne Varianten der alten Ideen umzusetzen. Dabei sollten durchaus auch neue Anwendungsgebiete erschlossen und von den „etablierten“ Methoden abweichende Gestaltungen erprobt werden.

Im Folgenden zeige ich zunächst einige Beispiele von neuen Rechenscheiben nach meinem Entwurf. Danach stelle ich kurz vor, wie ich die Scheiben tatsächlich erstellt habe. Besonderen Wert lege ich auf die optische Gestaltung, das Design der Rechenscheiben, um jeder ein eigenständiges Erscheinungsbild zu geben.

[13] E.-W. Platzeck: Raimund Lull. Sein Leben – seine Werke – die Grundlagen seines Denkens. 2 Bände. Düsseldorf 1962–1964.

[14] A. Bonner: Ramon Llull: relació, acció, combinatòria i lògica moderna. Studia Lulliana 34, 1994, pp. 51-74.

[15] R. Llull & B. de Lavinheta: Ars magna, generalis et vltima, 1517. Siehe auch Y. Dambergs: Blessed Raymond Lull’s Ars Generalis Ultima, also known as Ars Magna (English translation), 2003. https://lullianarts.narpan.net/ArsGeneralisUltima.pdf

a) Klassische Rechenscheibe (Universal-Rechenscheibe)

Die typischen Rechenstäbe bis in die 1970er Jahre bestehen aus den Skalen C, D (je eine Dekade auf Körper und Zunge), A, B (zwei Dekanden), manchmal K (3 Dekaden), u.a. auch inverse Skalen (CI…) für vereinfachte Division und Zahlenpaare, die das gleiche Produkt ergeben. Besonders wichtig sind natürlich in vielen Situationen die trigonometrischen Funktionen Sinus, Cosinus, Tangens…, die ja auch schon Napier und seine Zeitgenossen besonders interessiert haben. Mithilfe der L-Skala, die auf dem Rechenschieber tatsächlich eine lineare Skala ist, kann man – wenn auch etwas umständlich – Potenzen berechnen:

Um $z = x^a$ zu berechnen, ermittelt man über die L-Skala zunächst log(x) und errechnet durch Multiplikation log(z) = a * log(x). Dabei nutzt man für diese Zahlen wieder die C- und D-Skala. Dann muss über die L-Skala wieder ablesen, welchem z-Wert der ermittelte log(z) entspricht.

Das geht leichter, wenn es auch eine Exponential-Skala (LL) gibt. Dann sucht man zu x auf der LL-Skala den zugehörigen Wert log(x) (hier der natürliche Logarithmus ln zur Basis e, der Euler'schen Zahl) auf der D-Skala, multipliziert diesen mit a, und geht vom Ergebnis auf der D-Skala zurück zu z auf der LL-Skala. Aufgrund des großen Wertebereichs der Exponentialfunktion gibt es meist mehrere LL-Skalen.

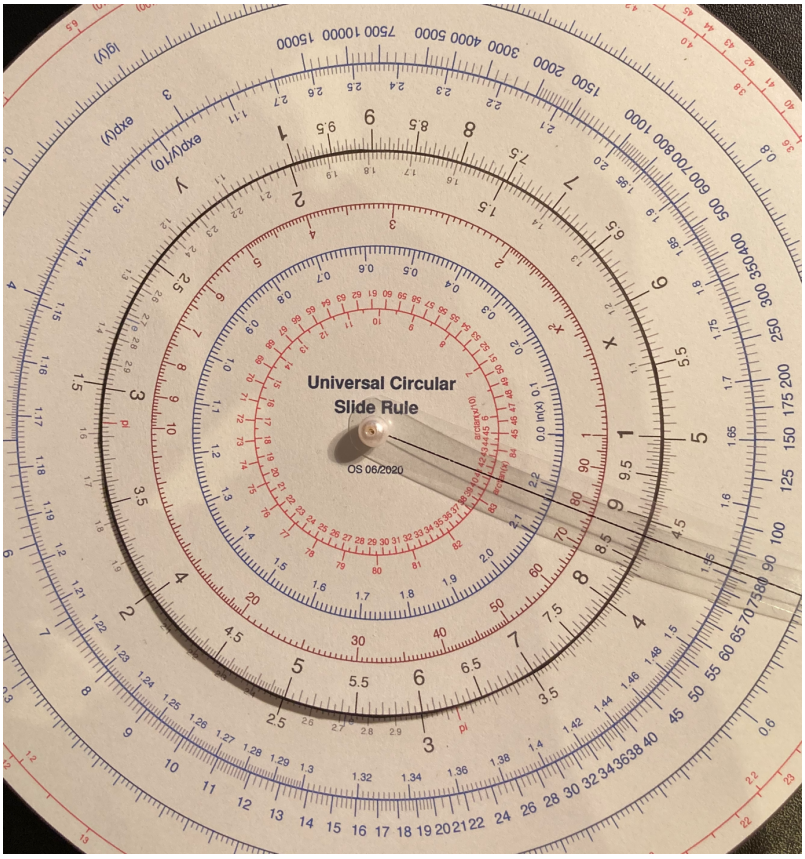


Abb. 1. Universal-Rechenscheibe

Die Universal-Rechenscheibe (Abb. 1) enthält diese Skalen sowie die trigonometrischen Funktionen. Sie besteht aus acht Skalen auf zwei gegeneinander drehbaren Scheiben und einem Läufer, der das Ablesen von Werten auf verschiedenen Skalen erleichtert:

Auf der Innenscheibe findet man (von außen nach innen):

- Hauptskala x (logarithmisch) (entspricht C-Skala)
- Skala x^2 (logarithmisch) (entspricht B-Skala)
- natürlicher Logarithmus ln(x)
- Arcustangens von x bzw. x/10 (T-Skala)

Auf der Außenscheibe (von innen nach außen):

- Hauptskala y (logarithmisch) (entspricht D-Skala)
- Exponentialfunktion exp(y/10) (entspricht LL2 von $e^{0,1}$ bis e^{1})
- Exponentialfunktion exp(y) (entspricht LL3 von e^{1} bis e^{10})
- dekadischer Logarithmus lg(y) (L-Skala)
- Arcussinus von y bzw. y/10 (T- bzw. ST-Skala)

b) Spiralförmige doppellogarithmische Rechenscheibe

Diese Scheibe wurde inspiriert von „Fowler's Magnum Long-Scale Calculator" (Manchester 1930, Abb. 2), bei dem durch Anordnung konzentrischer Kreise die Dekade auf der D-Skala in mehrere Teile aufgeteilt wird und so eine deutlich höhere Ablesegenauigkeit gegeben ist.

habe

Statt konzentrischer Kreis-Skalen wird bei meiner doppellogarithmischen Spiralrechenscheibe (Abb. 3) die gesamte Achse in Spiralform nach außen geführt, was das Ablesen weiter vereinfacht und Sprünge zwischen den Kreise unnnötig macht.

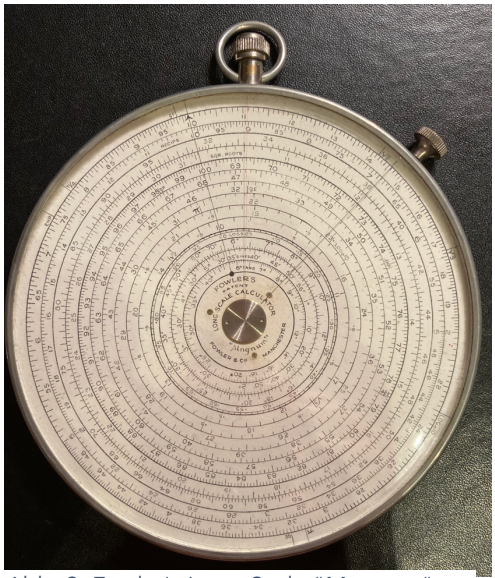


Abb. 2. Fowler's Long-Scale "Magnum" Calculator

Eine spiralförmige Achsenführung kennt man von der russischen Rechenscheibe KL-1 im Taschenuhrformat (Kontrolpribor Texnichesko-Cbetovaya Organizatsia "Rassvyet", 1960er Jahre), die dort aber nur für die Tangensfunktion verwendet wird.

Abb. 3. Doppellogarithmische Spiral-Rechenscheibe ("Long-Scale Calculator")

Die Scheibe besteht nur aus einem Teil, hat dafür aber zwei Indizes: eine fixierte Haarlinie sowie einen beweglichen Läufer, um Strecken bzw. Winkel abmessen zu können.

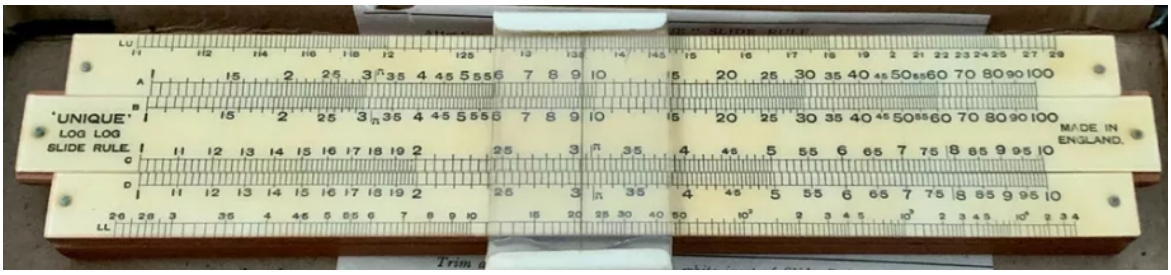


Abb. 4. Unique Log Log Slide Rule (ca. 1950)

Die Skalengestaltung ist angelehnt an die „Log Log Slide Rule" (ca. 1950, Abb. 4) der Unique Slide Rule Company, die 1920 von Burns Snodgrass in Brighton gegründet wurde und bis 1975 einer der größten Rechenschieber-Produzenten im Vereinigten Königreich war. Burns Snodgrass (1896–1954) war auch der Autor des bekannten Lehrbuchs „Teach Yourself the Slide Rule".[16]

[16] B. Snodgrass: The Slide Rule. Reihe "Teach Yourself Books". Hodder & Stoughton Ltd., London 1954. Siehe auch http://www.sliderules.info/pdf/tys.pdf

Demnach gibt es neben der logarithmischen x-Skala eine Exponentialskala $e^{x/10}$ = exp(x/10) und e^x = exp(x). Die Spiralskala ist als Band gestaltet, bestehend aus der zentralen logarithmischen x-Skala, die eingerahmt wird von der exp(x/10)-Skala darunter und der exp(x)-Skala darüber. Die Berechnung von gebrochenzahligen Potenzen gelingt mit einer Genauigkeit von unter 0,5%. Im äußeren Bereich findet man noch eine gewöhnliche logarithmische Skala sowie diverse weitere Funktionen (Sinus, Cosinus, Tangens, Quadratskala). Eine genauere Beschreibung (siehe Abb. 5) erfordert etwas mehr Raum.

Abb. 5. Berechnung der dritten Wurzel von π mit der doppellogarithmischen Rechenscheibe

Interessanterweise wurde bereits von einem gewissen Mr. Milbourn aus Yorkshire um 1650 die Verwendung einer mehrfach umlaufenden Skala („serpentine") auf einer kreisförmigen Rechenscheibe erdacht, die von Thomas Brown, einem „Maker of Mathematical Instruments" tatsächlich gefertigt wurde, „composed of Concentrick Circles". [17] Es war also keine echte Spirale, sondern vielmehr eine Abfolge von Kreisen, die nacheinander durchlaufen wurden, genau wie bei Fowlers „Long-Scale Calculator".

[17] W. Leybourn: The Line of Proportio or Numbers, Commonly called Gunter's Line, Made Easie. London 1673.

c) Statistik-Rechenscheibe

Die Statistik-Rechenscheibe (Abb. 6) wird verwendet, um die Quantile bestimmter wichtiger Verteilungen, konkret der Normal-Verteilung, der Poisson-Verteilung (zur Ermittlung des Ausfallrisikos bei bekanntem Erwartungswert) und der Weibull-Verteilung, bzw. aus dem vorgegebenen Quantil den Wert der Verteilungsfunktion zu bestimmen.

All diese Verteilungen skalieren mit sogenannten Formfaktoren, die letztlich sich multiplikativ auf die Breite der Verteilung auswirken, also gewissermaßen die charakteristische Skaleneinheit bilden. Dies ist bei der Normalverteilung die bekannte Standardabweichung. Deshalb lässt sich mithilfe einer logarithmischen Skala leicht die relative Lage (zum Mittelwert) eines Messwerts berechnen, unterhalb dessen ein gegebener Prozentsatz der Grundgesamtheit liegt (das Quantil zu einer vorgegebenen Prozentzahl).

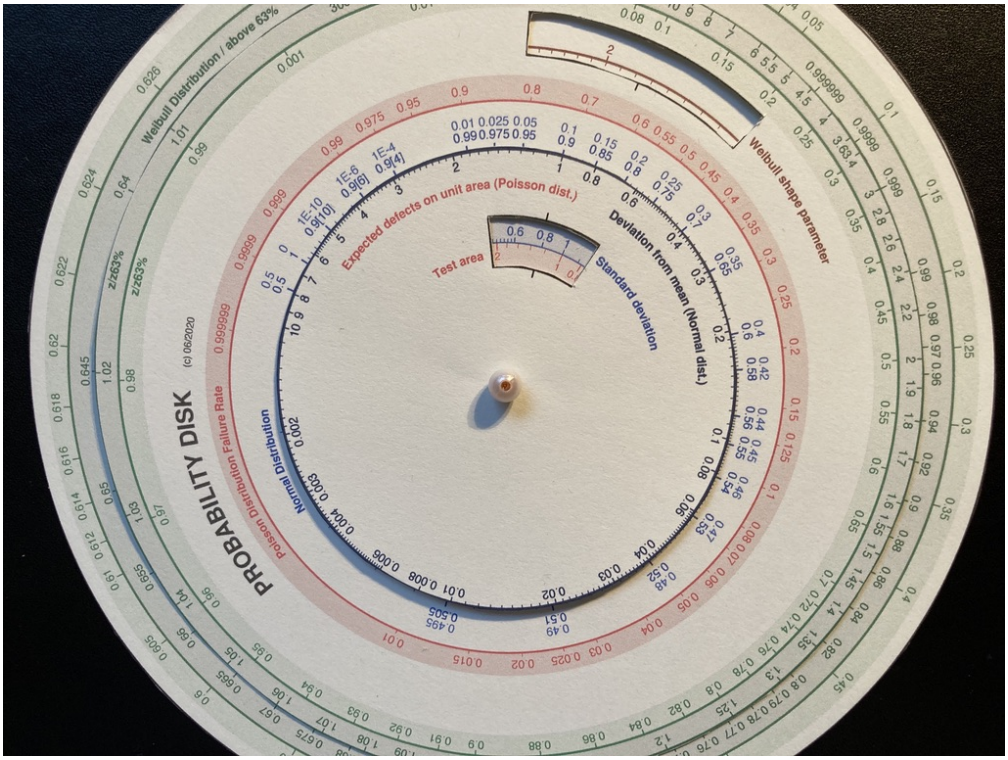


Abb. 6. Probability Disk (eine Statistik-Rechenscheibe)

d) Hygrothermische Rechenscheibe

Einem besonderen Zweck dient auch die hygrothermischer Rechenscheibe HYGROS hx (Abb. 7). Diese enthält alle wesentlichen thermodynamischen Zusammenhänge zwischen relativer Luftfeuchte, Feuchtegehalt, Temperatur und Partialdruck von feuchter Luft. Auch der Wärmeinhalt (Enthalpie) kann berechnet werden, der z.B. benötigt wird, um die Luft auf eine gewisse Temperatur zu erwärmen. Solche „psychrometrischen Rechenscheiben" wurden vereinzelt in den 1960er Jahren für Ingenieure entwickelt, jedoch nicht in dem hier vorgestellten Umfang. Eine typische Frage aus dem Bereich Klimatechnik und Bauphysik wäre etwa, ab welcher Temperatur bei einer vorgegebenen Lufttemperatur und Feuchte das Wasser an kälteren Oberflächen kondensieren wird (Taupunkttemperatur) und sich als Beschlag bemerkbar macht. Dies hängt auch mit der Gefahr von Schimmelbildung zusammen, die ab 80% relativer Luftfeuchte an einer Oberfläche im Innenraum zu erwarten ist.

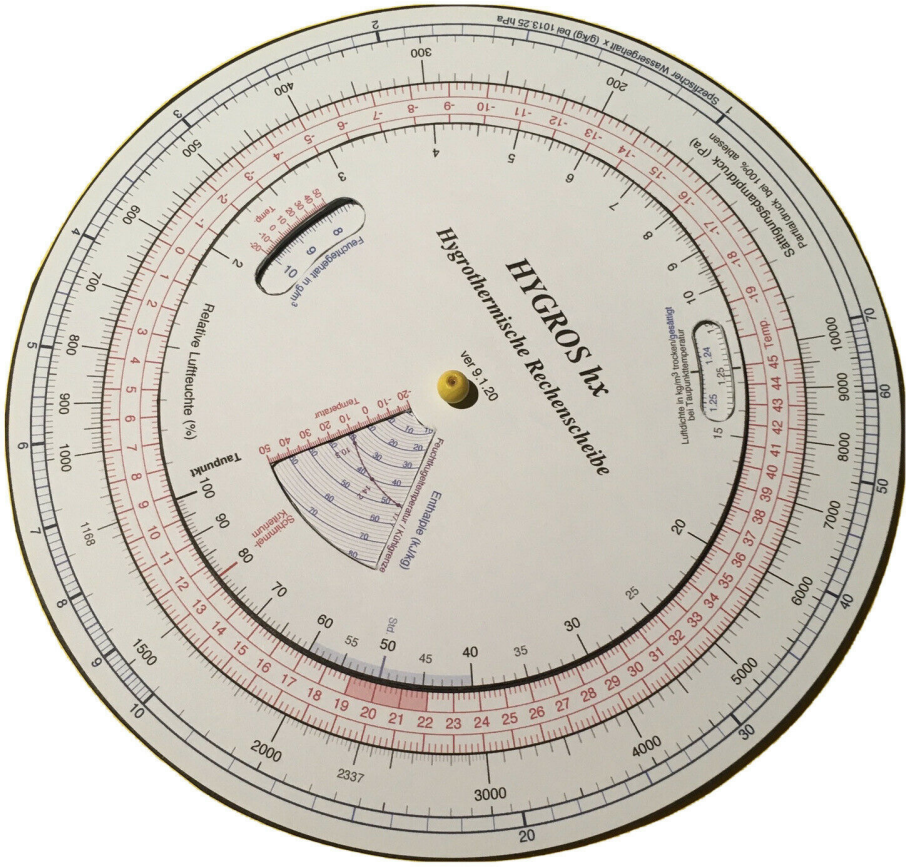


Abb. 7. Hygrothermische Rechenscheibe HYGROS hx

Aufgrund der doch komplexeren Zusammenhänge sind die Skalen nicht alle logarithmisch, sondern folgen teilweise anderen Gesetzen (z.B. die Temperaturskala). Technisch besonders interessant ist die Nutzung von mehreren Fenstern, in denen man z.B. die Dichte der Luft oder den volumetrischen Wassergehalt ablesen kann. Für

die Berechnung der Enthalpie habe ich ein „Isenthalpenfeld“ entworfen, das den Abstand vom Mittelpunkt der Scheibe als Maß für die Temperatur verwendet, um die Abhängigkeit der Enthalpie von Temperatur und Wassergehalt (2 Variablen) auf der Scheibe darstellen zu können. Die Kurven beschreiben die Variablenkombination mit gleicher Enthalpie. Eine solche Darstellung ist auf einem linearen Rechenschieber (Rechenstab) nicht möglich.

e) Logik-Scheibe

Rechenscheiben eignen sich nicht nur dafür, numerische Zusammenhänge darzustellen, sondern auch für logische Beziehungen. Die Logik-Scheibe (Abb. 8) ist eine Hommage an den Logiker Augustus De Morgan (1806–1871),[18] Mitbegründer der London Mathematical Society und Freund von Charles Babbage (1791–1871), dem Erfinder der Analytical Engine. De Morgan war einer der Begründer der formalen Logik (Prädikatenlogik).[19]

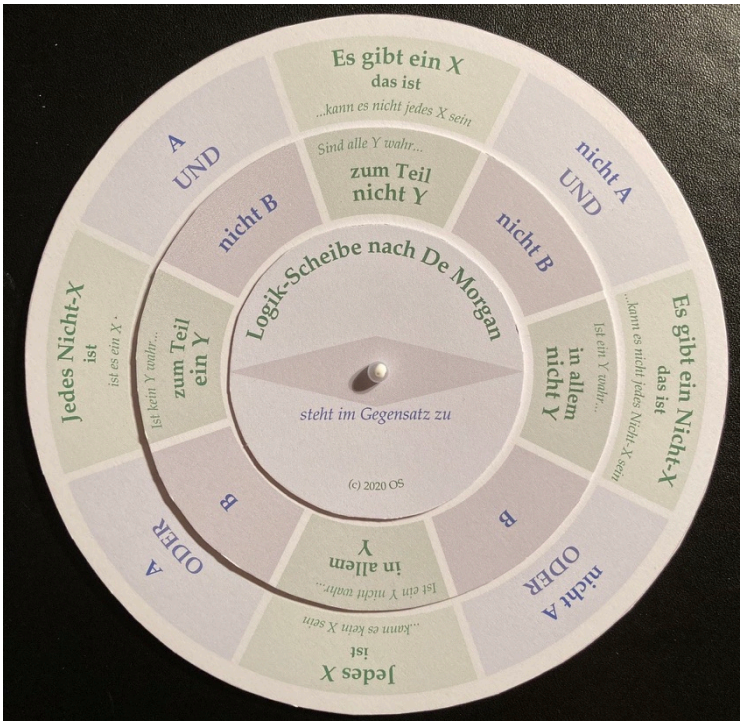


Abb. 8. Logik-Scheibe nach De Morgan

Die Scheibe zeigt die Gegensatzpaare verschiedener logischer Aussagen (Subjekte X und Prädikate Y) in ihren möglichen Kombinationen. Alternativ sind die mengentheoretischen Formulierungen (auf grauem Hintergrund) dargestellt, wie sie für die Ereignismengen in der Wahrscheinlichkeitsrechnung verwendet werden.

[18] De Morgan, Augustus. In: Encyclopædia Britannica. 11. Auflage. Band 8: Demijohn – Edward. London 1910.

[19] A. De Morgan: Formal Logic: or The Calculus of Inference, Necessary and Probable. London 1847.

f) Ars-Magna-Scheibe

Zuletzt noch ein Blick ins Mittelalter: Die „Ars Magna Nova"-Scheibe (Abb.9) ist eine Hommage an die Rechen- und Denkmaschinen des Ramón Llull, eine Fusion der bekanntesten seiner „Figuren" in der „Ars Generalis Ultima" und „Ars Brevis" (1305-1308). Die Begrifflichkeiten sind eher der heutigen Zeit entlehnt, auch dient die Scheibe sicher nicht dazu, den letzten Wahrheiten mithilfe mechanischer Drehoperationen auf die Spur zu kommen. Aber die Verknüpfung aller möglichen Kombinationen, die wie bei Llull durch Buchstaben abgekürzt sind, bildet eine Fragetechnik (deren Fragen genau denen von Llulls Ars entsprechen), die für analytische Untersuchungen von konkreten Sachverhalten eine systematische Basis darstellen kann.

Abb. 9. "Ars Magna Nova" - Denkmaschine nach Ramón Llull

3. Herstellung der Scheiben

Grundüberlegungen

Für die Herstellung eigener Rechenschieber stellt sich zunächst die Frage, wie man überhaupt eine geeignete Vorlage für den Druck der Scheiben herstellt. Wichtigste Kriterien sind dabei: sauberes Schriftbild, verschiedene Schriftgrößen und graphische Gestaltungsmöglichkeiten, hohe Reproduzierbarkeit und leichte Modifizierbarkeit. Änderungen, Korrekturen und neue Ideen sollten nicht zur Folge haben, dass man die gesamte Scheibe wieder neu „zeichnen" muss.

Daher sind „statische" Ansätze, wie etwa das Zeichnen mit einem Graphik-Programm, Powerpoint o.ä. nicht zielführend, sondern bestenfalls in der Entwurfsphase für Konzeptskizzen geeignet.

Die Anordnung der Elemente auf der Scheibe muss also programmiert werden. Außerdem sollte das Ergebnis eine Vektorgraphik sein, die leicht skaliert werden kann, ohne dass darunter die Qualität der graphischen Auflösung leidet. Auch ist eine hohe Flexibilität in den Gestaltungsmöglichkeiten erwünscht, also keine starre Festlegung auf bestimmte Designtypen, wie etwa mit Excel vorgefertigte Graphiken.

Ein Vorteil kreisförmiger Rechenscheiben liegt darin, dass die Justierung der beweglichen Teile auf eine saubere Achsenführung (ohne Spiel) begrenzt ist. Damit lassen sich auch aus Karton stabile und sehr genaue Rechenscheiben herstellen. Im Unterschied dazu sind Rechenstäbe mit einer genauen Führung schwieriger anzufertigen. Dazu kommt, dass auch die Zeiger bzw. Läufer nicht so leicht und exakt anzubringen sind. Ein weiterer Vorteil ist die bereits vorher erwähnte Möglichkeit, von der Zweidimensionalität Gebrauch zu machen und neben dem Drehwinkel den Radius als zusätzlichen Parameter einzusetzen (siehe Rechenscheibe HYGROS).

Programmierung

Auch wenn es natürlich noch viele Alternativen gibt, habe ich mich für die Umsetzung in Adobe Postscript entschieden. Diese graphische Programmiersprache ist gut geeignet, da sie eine Vektorgraphik erzeugt (Postscript), die nachträglich in das PDF-Format (portable document format) umgewandelt werden kann, mit dem die meisten Programme gut umgehen können. Postscript enthält viele mathematische Operationen und die wichtigsten Funktionen. Durch geometrische Transformationen lassen sich Bildteile und Texte in beliebigen Winkeln darstellen, prinzipiell hat man Zugriff auf viele Schriftarten mit skalierbaren Größen.

Abb. 10 zeigt einen Ausschnitt aus einem Postscript-Programm, mit dem eine logarithmische Skala von 1 bis 9 generiert wird. Am augenfälligsten ist, dass Postscript eine Stack (Stapel)-Programmiersprache ist, bei der zunächst sämtliche Argumente einer Funktion „auf den Stack gelegt" werden, bevor mit einem Kommando diese

Argumente nach dem Prinzip last-in-first-out wieder vom Stapel heruntergenommen werden, als würde man die abgelegten Daten wie ein Archäologe wieder von oben nach unten abtragen.

```
1  1 1 9
2  {
3  /z exch def
4  /w z log 360 mul def
5
6  /x1 R w cos mul def
7  /y1 R w sin mul def
8  /x2 R sx add w cos mul def
9  /y2 R sx add w sin mul def
10
11 .02 setlinewidth
12 newpath
13 x1 y1 moveto
14 x2 y2 lineto stroke
15
16 /Helvetica findfont
17 0.4 scalefont
18 setfont
19 /s 15 string def
20 z s cvs
21 .4 w RV sx 2 mul add outsidecircletext
22 }
23 for
```

Abb. 10. Ausschnitt aus einem Postscript-Programm

Blick in den Programmcode:

In der Zeile 11 „.02 setlinewidth“ wird zunächst der Wert 0,02 auf den Stapel gelegt, und dann vom Kommando „setlinewidth“ abgeholt und verwendet (hier zur Einstellung der Strichstärke). Die Definition des Drehwinkels w für die Koordinatenberechnung ist wie folgt zu verstehen: Mit „/w z log 360 mul def“ (Zeile 4) wird zunächst ein neuer Bezeichner „w“ auf den Stapel gelegt, dann der Wert von z; dann holt sich die Funktion „log“ diesen Wert vom Stapel, bildet den Logarithmus und legt das Ergebnis wieder auf den Stapel. Dann wird die Zahl 360 auf den Stapel gelegt, das Kommando „mul“ holt sich die letzten beiden Werte (den Logarithmus und 360) vom Stapel, multipliziert sie und legt das Ergebnis zurück. Das Kommando „def“ schließlich weist diesen letzten Wert des Stapels dem darunter noch liegenden Bezeichner w zu, so dass letztlich berechnet wurde: w = log(z)*360. Diese Darstellung der Berechnungsvorschrift wird auch als „umgekehrte polnische Notation“ (reverse Polish notation, RPN) bezeichnet. Der Winkel wächst also logarithmisch von 0 bis 360 Grad, wenn die Zahl z von 1 bis 10 zunimmt (eine Dekade).

Die Werte von z werden durch eine „for“-Schleife erzeugt, deren Start, Schrittweite und Endwert in Zeile 1 auf den Stapel gelegt werden. Dann folgt die Sequenz in geschweiften Klammern (Zeile 2 bis 22), bevor das eigentliche Kommando „for“ erscheint. Die geschweiften Klammern sagen dem Interpreter, dass die folgende Sequenz nicht abgearbeitet wird, sondern erst als ganzes Paket auf den Stapel kommt, welches dann das Kommando „for“ findet. „for“ legt nun für die Sequenz die aktuelle Laufvariable (von 1 bis 9) auf den Stapel. In Zeile 3 wird der Bezeichner z dazugelegt, das Kommando „exch“ tauscht diese beiden obersten Werte auf dem Stapel, so dass nun der Laufindex oben liegt und dem Bezeichner z zugewiesen wird. Der wird dann in Zeile 4 wie oben beschrieben für die Winkelberechnung verwendet. Die folgenden Zeilen erschießen sich ähnlich, in Zeile 6 bis 9 werden die kartesischen Koordinaten für den Markierungsstrich,

der radial im Winkel w gezeichnet wird, berechnet, wobei R der Radius der Skala ist und sx die Strichlänge bezeichnet, die nach außen gerichtet mit dem Kommando „lineto“ gezeichnet wird.

Der untere Teil dient der Beschriftung mit dem Wert z, der zuvor noch in einen String s umgewandelt werden muss…

Für komplexere Funktionen und Beschriftungen bietet es sich an, die Skalenbeschriftungen und Werte mithilfe von Excel zu errechnen, in Datenarrays zu sammeln und dann als „Code-Snippet“ in das Programm einzufügen.

Ausdruck als PDF und Montage

Das Ergebnis kann in eine PDF-Datei gewandelt werden und ausgedruckt werden. Natürlich sollte die Qualität des Druckers ausreichend sein. Um eine stabile Scheibe zu erhalten, wird auf dickeres Papier (160 g/m^2) gedruckt. Für noch mehr Stabilität können die Scheiben auch auf weitere Papierbögen laminiert werden. Genauigkeit und etwas handwerkliches Geschick ist beim Ausschneiden, vor allem bei Scheiben mit Sichtfenstern nötig. Der Läufer, sofern vorhanden, kann aus einem Stück Folie gemacht werden, auf die ein schwarzer Strich gedruckt ist. Wichtig ist eine saubere, konzentrische Montage der einzelnen Scheiben, die mittig mit einer Reißzwecke fixiert werden.

Für weitere Informationen und fachlichen Austausch stehe ich gern zur Verfügung unter sliderulesandmore@vodafonemail.de

Oliver Steffens

SLIDE RULES AND MORE

auf eBay: https://www.ebay.de/sch/i.html?sid=sliderul_40&isRefine=true&_pgn=1