

Zukunft der IP-Netze

Virtualisierte, software-definierte, intelligente
Systemlösungen und -anwendungen



» Hier geht's
direkt
zum Buch

DIE LESEPROBE

1

Digitalisierung, Virtualisierung, Künstliche Intelligenz und die Quantenwelt

Für viele Angehörige der *Generation „Z“* (GenZ), also für diejenigen, die um das Jahr 2000 geboren sind, ist die Digitalisierung ihrer Alltagswelt zur Selbstverständlichkeit geworden. Vertreter früherer Generationen schütteln hierüber gerne mal die Köpfe und haben Schwierigkeiten, hier mitzuhalten.

Grundlage hierfür ist ein Technologiebruch, der sich ab 1970 erst schrittweise, nach 2000 dann aber massiv vollzogen hat: das Internet und seine Möglichkeiten.

In diesem Buch versuchen wir, den Bogen zu schlagen zwischen den Grundlagen der sich entwickelnden Internet-Technologien und ihren Auswirkungen. Hierbei erscheint es uns wichtig, zunächst die Begriffe „Digitalisierung“ und „Virtualisierung“ – die in aller Munde sind – genauer einzugrenzen. Wir werden sehen, dass speziell die „Digitalisierung“ eine Grundlage der menschlichen Zivilisation ist und sich nicht nur auf das Internet-Zeitalter beschränkt. Die Nutzung dieser jeweiligen „Digitalisierung“ brachte in vielen Fällen revolutionäre Umbrüche mit sich, von denen wir nun selbst zu Zeitzeugen werden.

Die „Virtualisierung“ ist hingegen nur auf Grundlage leistungsfähiger Computertechnologien zu verstehen: Elemente der „realen Welt“ werden in die „digitale Welt“ abgebildet und somit „virtualisiert“. Die Interaktion dieser beiden Welten ist nicht nur „faszinierend“, sondern prägt auch die moderne Nutzung der Internet-Technologie, die wir hier näher beschreiben.

In Kapitel 1 wollen wir den Leser mit folgenden Themen vertraut machen:

- Die „erste Digitalisierung“ der realen Welt ist eng verbunden mit der Entwicklung der menschlichen Zivilisation, Wissen und Technik, sowie Ökonomie. Sie reicht zu den Anfängen der Menschheit zurück und hat zu Systembrüchen maßgeblich beigetragen.
- Als „zweite Digitalisierung“ der technischen Welt wollen wir die Entwicklung der Computer- und später Internet-Technologie bezeichnen, die auf der Grundlage der

Elektronik, genauer des Einzugs von modernen Halbleitertechnologien (insbesondere des Transistors) fußt. Diese zweite Welle führte über mehrere Zeitdekaden zu den sehr bedeutsamen technischen Entwicklungen insbesondere von Computern (60er-Jahre), dem Betriebssystem Unix (70er-Jahre) und dem Internet (ab 1980).

- Die „dritte Digitalisierung“ kann um das Jahr 1995 (*E-Commerce*) verortet werden, was schließlich mit der Entwicklung von Smartphones um ca. 2005 zu der heutigen „digitalen Welt“ mit ihren Virtualisierungsmöglichkeiten geführt hat.
- Neben der von Politikern geforderten „digitalen Souveränität“ – die ohne Kenntnis der technischen Hintergründe aussichtslos ist – wollen wir kurz einen kleinen Blick auf das aktuelle Thema AI (*Artificial Intelligence*) und die *Large Language Models* (LLM) werfen.
- Noch herausfordernder ist der Blick auf zukünftige Entwicklungen: dem *Quantencomputer*, dessen erste Ideen sich auf Anfang der 1990er-Jahre zurückdatieren lassen, und den sich hieraus entwickelnden Möglichkeiten, einschließlich der Erfordernissen der *Post Quantum Cryptography* (PQC).

1.1 Die Digitalisierung der Welt

Wenn wir an Digitalisierung denken, assoziieren wir in der Regel *Nerds*, die hinter großen Computern sitzen [Bild 1.1-4]. Tatsächlich könnte kaum ein Bild falscher sein als dieses. Da Sie – lieber Leser – Ihre Augen auf diese Zeile richten, dürfen wir Ihnen verraten, dass diese Zeilen Gegenstand einer (ersten) Digitalisierung sind: *Buchstaben*.

Buchstaben und speziell auch Zahlen sind der Ausdruck eines Codes. Ein Code ist eine Abbildung eines (fiktiven) Gegenstands in ein Symbol, was allgemeinverbindlich mitgeteilt und anerkannt ist. In der Schule lernen wir die Buchstaben „A“ bis „Z“ und „a“ bis „z“ kennen und verstehen, was deren Aussprache und Bedeutung ist. Manchmal macht das uns Schwierigkeiten, wenn es um Buchstaben wie „Y“ geht. Wozu wird das gebraucht? Wenn Fremdsprachen auf dem Lehrplan stehen, verrät uns der Lehrer (oder die Lehrerin), dass das Deutsche „sch“ in Englisch „sh“ geschrieben wird: „Die Leute von der Shiloh Ranch“.

Bei den Zahlen ist es vergleichbar: Die „1“ zählt ein Finger, die „2“ zwei, und wenn wir beide Hände benutzen, symbolisiert das die „10“, also die Grundlage des Dezimalsystems. Andere Zählweisen beziehen sich auf die Knochen im Finger: Hieraus können wir ein *Hexagesimalsystem* konstruieren.

Dies alles sind Konventionen, die von Generation zu Generation übermittelt werden, und sie bilden das Grundgerüst der menschlichen Zivilisation:

- Wir benötigen *Zahlen* (in beliebiger Darstellung), um unser Hab und Gut *quantitativ* zu erfassen.

Buchstaben:
Das Alphabet
als Code

Zahlen als Code

- Wir benötigen *Symbole* (Buchstaben und Wörter), um die Gegenstände zu beschreiben – und somit *semantisch* zu erfassen –, derer wir habhaft sind.

Diese generellen Anforderungen gelten unverändert auch für die moderne Welt. Mittlerweile haben wir Maschinen (*Computer*), die rechnen können und eigenständig in der Lage sind, Texte zu verfassen: Sie agieren im Cyberspace.

Cyberspace

Bei der ersten Digitalisierung bestand die Aufgabe darin, die reale Welt in eine Zahlenwelt zu überführen. Die zweite – aktuelle – Digitalisierung führt dazu, dass die digitale Welt die reale Welt beeinflusst. Wie dies im technischen Sinne „auf der Netzwerkwelt“ passiert, wird in den nächsten Kapiteln ausführlich vorgestellt. Welche Konsequenzen hiermit verknüpft sind, soll in diesem Kapitel erläutert werden. Hierzu wollen wir einen historischen Exkurs vornehmen, der allerdings vornehmlich aus westlicher Sichtweise geprägt ist.

1.1.1 Die erste Digitalisierung

Die Fähigkeit des Rechnens und Schreibens besitzt die Menschheit seit mindestens 7000 Jahren. Sie stellt die Grundlage der modernen Gesellschaften dar. Die zivilisatorischen und technischen Leistungen der frühen Babylonier, der Ägypter, Griechen, Römer, aber auch Chinesen, Azteken, Mayas und Inkas (um nur einige zu nennen) haben sich in das Gedächtnis der Menschheit eingebrannt, wofür die *Sieben Weltwunder der Alten Welt* Zeugnis sind.

Die Erfindung von Zahlen und Symbolen ist die erste Digitalisierung: Gegenstände der Realwelt werden durch definierte, unterscheidbare Symbole beschrieben und gekennzeichnet, die allgemein anerkannt und in ihrer Bedeutung gleichbleibend sind. Hiermit lässt sich ein Wirtschaftssystem (*Ökonomie*) aufbauen:

Die Erfindung von Zahlen und Symbolen

1. Die Menge und Art von Gütern kann *protokolliert* werden.
2. Ein *Datenträger* wird benötigt, der die eindeutigen Bezeichnungen festhält und der nach seiner Erstellung über eine gewisse Zeit gelesen werden kann.
3. Der Wert eines Gutes kann durch Zahlen ausgedrückt (*bepreist*) werden – so wurde „*Geld*“ erfunden.

Die Zahlenwelt – Grundlage der ersten Digitalisierung

Von besonderer Bedeutung sind zunächst die Zahlen: damit kann man die Anzahl an Besitzgütern festhalten, wozu die Operation „Addition“ gebraucht wird¹. Werden Güter entfernt, benötigen wir die Umkehroperation: Subtraktion². Allerdings können nie mehr Einheiten entfernt werden, als vorhanden sind. Negative Größen werden somit

Einfache Operationen mit Zahlen

¹ Dies wird als *Inkrement* – also Zuwachs um eine (u. U. komplexe) Einheit – bezeichnet.

² Also die *Dekrement*-Operation.

zunächst nicht gebraucht; auch die „0“ ist nur fiktiv und fand erst im 6. Jahrhundert – aus Indien kommend – in unser Zahlensystem Einzug [74].

Wie sieht es nun aus, wenn einer Person Güter überlassen werden, die diese nicht besitzt? Hierzu wurde historisch ein *Kerbholz* [Bild 1.1-1] herangezogen. „Etwas auf dem Kerbholz haben“ heißt sinngemäß, etwas zu schulden (engl: debt); sondern schlicht etwas „schuldig sein“, also eine Verbindlichkeit „besitzen“. Das Kerbholz war im einfachsten Fall ein „Stock“, und so wundert es auch nicht, dass die Börse im Englischen *Stock Exchange* genannt wird: *Verbindlichkeiten* (Schuldscheine) können hier ausgetauscht werden.

Besitzanteile an den Verbindlichkeiten werden nun im Grunde genommen *virtualisiert*, in dem hierfür ein eigener *Markt* geschaffen wird: Der virtuelle Wert bezieht sich somit

- auf die potenzielle *Nützlichkeit* des erworbenen Gegenstandes oder der Leistung und eben
- nicht auf die *Wiederbeschaffungswände* für das Produkt (Material und Herstellung) oder die Mühsal der Leistung (Regenerierung des Körpers).

Durch die *Bepreisung* haben sich Produkt bzw. Leistung und der Wert (ausgedrückt durch eine einfache quantitative Größe) entkoppelt. Hierdurch ergibt sich eine neue Dynamik im Wirtschaftssystem, was letztlich die Grundlage für unsere heutige Zivilisation ist.



Bild 1.1-1 Entwicklung der Zahlungssysteme (oben: Kerbholz, Münzen, Banknoten) zur Bepreisung der realen Welt (unten: Menschen und Arbeitskraft, Produkte, Tiere und Maschinen)

Kataster und Buchhaltung – Erfassung von Gütern und Besitztümern

Im alten Ägypten war es notwendig, ein *Kataster* für die Felder anzulegen, die regelmäßig vom Nil überschwemmt wurden und somit zur Ernte beitrugen. Die Größe eines rechteckigen Feldes entspricht bekanntermaßen Länge mal Breite. Andere Formen können auftreten (Dreiecke). Zur korrekten Beschreibung benötigen wir Multi-

Die „negativen“
Zahlen

Die erste Vir-
tualisierung:
Bepreisung

Erweiterte
Operationen
mit Zahlen

plikation (aber auch die Division) und Ansätze der Trigonometrie, die uns aus der Schulmathematik durch den „Satz des Pythagoras“ noch in Erinnerung sind.

Zuvor muss aber noch das Problem des „Überlaufs“ gelöst werden. Falls bei der Addition (oder Multiplikation) Zahlen vorkommen, die außerhalb des darstellbaren Bereichs auftreten, müssen wir eine Buchhaltung vornehmen und ein System einführen, das uns mitteilt, dass die folgende Zahl um die „Basis“ zu vergrößern ist.

Die Nützlichkeit des „richtigen“ Zahlensystems und seine Schreibweise

Diese „Basis“ ist bei uns die Zahl 10, weshalb wir von einem *Dezimalsystem* sprechen. Die „Zehn“ ist aber keine günstige Wahl für das „Teilen“, weil hierdurch selbst einfache Berechnungen schwierig werden. Sinnvoll ist eine Zahl zu wählen, die sehr viele Teiler besitzt:

Basis der Zahlensysteme

- 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 30 ... und das ist die Zahl 60. Diese bildete für Jahrtausende die Grundlage des Rechnens und der Mathematik. Das Dutzend macht hier Sinn, und wir sind hier beim *Hexagesimalsystem* gelandet.
- Zudem ist $60/19 \approx 3.1579$ nur 0.5 % vom wahren Wert der Kreiszahl π entfernt.
- Für die *Eulersche Zahl* gilt, dass $60/22 \approx 2.727$ „e“ auf eine Genauigkeit von 0.3 % approximiert.
- Auch der Wert für den „*Goldenen Schnitt*“ $\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1.6180$ wird mit $60/37 = 1.62162162162$ erstaunlich genau getroffen.

Die Darstellung der Zahlen ist darüber hinaus von besonderer praktischer Bedeutung: Rechneten die Römer mit *lateinischen Ziffern* (I, II, V, IX, X, L, C ... MCMLXX, also 1970), bedienen wir uns heute der arabischen Schreibweise, bei der im Dezimalsystem jeder Ziffernwert durch genau ein Symbol dargestellt wird, was das praktische Rechnen ungemein vereinfacht (vgl. Bild 1.1-2a). Nun können wir – bei einem Überlauf – das nächste Zeichen der „Basis“ einfach durch eine *führende* weitere Ziffer ausdrücken. Diese Umstellung erfolgte in Europa im 15. Jahrhundert und war ein Meilenstein für die Weiterentwicklung der Algebra. Diese war zuvor in der arabischen Kultur deutlich weiter fortgeschritten [82]. Ausgehend von *Fibonacci* (Leonardo von Pisa) verbreiteten sich die arabischen Ziffern in Europa ab dem Jahr 1202, was dann ein Jahrhundert dauerte.

Arabische Ziffern

Von der Arithmetik über die Algebra zur Differentialrechnung

Damit verlassen wir den Bereich der natürlichen und ganzen Zahlen und haben nach einem Ausflug zu den rationalen Zahlen (*Brüche*) die Welt der reellen Zahlen betreten, die bei der Operation „*Wurzelziehen*“ auftreten können. Das ist naturgemäß sehr unangenehm. Im gleichen Schritt sind auch andere Probleme der Trigonometrie zu lösen: Winkelfunktionen wie *Sinus*, *Kosinus* und *Tangens*.

Rationale und „reelle“ Zahlen

Infinitesimal-
rechnung
→ „Kalkül“

Die notwendige Mathematik bildet zu diesem Zeitpunkt die reale Welt ab: Zahlen können beliebig klein werden („Infinitesimal“). Diese Eigenschaft war bereits bei den Griechen (*Archimedes*) bekannt, aber erst in der Neuzeit durch *Newton* und *Leibniz* im Rahmen des *Kalküls* systematisch erforscht und axiomatisiert worden. Der Leser weiß nun, woher die irrationalen und transzendenten Zahlen wie „e“ und „π“ stammen.

In der physikalischen Welt werden deren Objekte durch *reelle Zahlen* abgebildet; erst mit der Quantenmechanik finden beim Drehimpuls wieder ganze und halbe („gequantelte“) Zustände bzw. Zahlen Verwendung.

Abschluss der ersten Digitalisierung

In Europa war die erste Digitalisierung Mitte des 19. Jahrhunderts weitgehend abgeschlossen:

- Die *Französische Revolution* lag nun einige Jahrzehnte zurück und brachte auch für Deutschland einen merklichen Modernisierungsschub mit sich, in dessen Folge das metrische *Einheitensystem* Einzug fand.
- Die *Mathematik* war soweit entwickelt, die Welt (ohne *Quantenmechanik*) mit *Differentialgleichungen* bis hin zu stochastischen Prozessen zu beschreiben.
- In England vollzog sich die erste Industrialisierung mit der *Dampfmaschine* [Bild 1.1-1] unter Einsatz dieses Wissens (*Carnot'scher Kreislauf*).
- Die *allgemeine Schulpflicht* hatte sich durchgesetzt: Die Menschen hatten die Grundlagen des Rechnens, Lesens und Schreibens vermittelt bekommen. Somit konnte nun jeder volljährige Mensch – und nicht nur die Mitglieder der herrschenden Klassen und des Klerus – als vollumfängliches *Geschäftssubjekt* fungieren: Der *Kapitalismus* war geboren.

Blick zurück in die Medienwelt

Buchdruckkunst

Ursächlich für die Realisierung einer allgemeinen Schulpflicht war eine Erfindung, die einige Jahrhunderte zuvor stattgefunden hatte: die *Buchdruckkunst*.

Damit war eine Technologie erfunden worden, die das schnelle und verlustfreie Duplizieren von Daten und Informationen ermöglichte. Die Einführung von Papier in Europa datiert auf das 12. Jahrhundert, und in seinem Zuge wurden Bücher im *Skriptorium* (von wenigen qualifizierten Menschen) mühsam kopiert. Mit dem Aufkommen des Holzschnitts und des Kupferstichs (*Albrecht Dürer* und *Lucas Cranach*) und kurz danach durch die Erfindung des Buchdrucks durch *Johannes Gutenberg* – bei dem bewegliche und wiederverwendbare *Lettern* genutzt wurden – ergab sich im Mittelalter ein bahnbrechender Medienbruch (vgl. Bild 1.1-2b) und der Aufbruch zur Neuzeit.

Cranach's
Kupferstiche
für die Luther-
Propaganda

Die Folge war eine nie dagewesene Medien- und Informationsflut (in Form von antiklerikalen Kupferstichen), die mit als Auslöser des 30-jährigen Krieges gelten kann. War es zunächst das gedruckte Bild, mit dem *Martin Luther* und *Lucas Cranach* (der Ältere) den Protestantismus einläutete, so war es in darauf folgenden Jahrhunderten möglich,

Bücher günstig auch für das profane Volk verfügbar zu machen und somit Wissen zu verbreiten: Der Medienbruch wurde zu einer politisch-sozialen Zäsur³⁾.

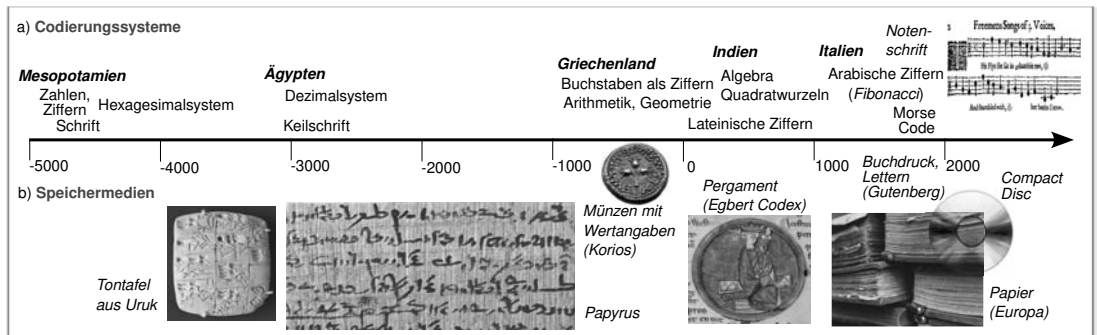


Bild 1.1-2 Entwicklung von a) Codierung von Zahlen, Schrift sowie Noten und b) Daten-trägermedien über die Jahrtausende

Papier wird zum Informationsträger und zu Geld

Zwei Jahrhunderte später führten diese Umbrüche auch dazu, dass die Zahlungssysteme *digitalisiert* wurden: Statt Münzen zu stanzen, wurden nun Geldscheine gedruckt [Bild 1.1-1]. Der US-amerikanische *Dollarbill* und der in Deutschland ab 1864 eingeführte *Thalerschein* sind Zeugen hierfür, nachdem schon ein Jahrhundert zuvor der papierene *Livre*⁴⁾ in Frankreich als Zahlungsmittel eingesetzt und nach seinem Kollaps 1795 durch den *Franc* ersetzt wurde.

Mit Banknoten zur Geldwirtschaft

Etwa zur gleichen Zeit machten sich *Karl Marx* und (später auch) *Friedrich Engels* auf den Weg, die hierdurch sich umfangreich ändernden ökonomischen Strukturen in *Das Kapital* zu beschreiben [51]. Dies allerdings, ohne die Konsequenzen für die sich hierdurch bedingten radikalen Auswirkungen auf die Geldwirtschaft und die Gesamtökonomie bereits im Voraus antizipieren zu können: Für die Wirtschaft (und die westliche Gesellschaft) hatte sich ab diesem Zeitpunkt die *Geldwirtschaft* von der *Realwirtschaft* entkoppelt. Diese Konsequenz wird uns in der zweiten und dritten Digitalisierung ein weiteres Mal begegnen.

³ Dies begleitet uns seit dieser Zeit durch das *Digital Rights Management* (DRM) – als Auswirkung der Rechte der englischen *Buchdruckergilde*. Das Monopol auf das gedruckte Werk wurde im 19. Jahrhundert in den deutschen Ländern unterlaufen, und die Popularisierung des nun günstigen Buchs erfolgte postwendend und erreicht dadurch auch „bildungsferne“ Bevölkerungsschichten.

⁴ franz. *Blatt*; abgeleitet von lateinisch *libra*; ital. *Lire*.

1.1.2 Die zweite Digitalisierung

Geburt des
Computers

Die zweite Digitalisierung startete etwa zur gleichen Zeit, zu der die erste Digitalisierung Vollzug meldete:

- Um das Jahr 1820 stellte *Charles Babbage* in England eine digitale Rechenmaschine vor: die *Difference Engine*. Zwar gab es schon zuvor sowohl „digitale“ (*Abakus*) als auch „analoge“ Rechengерäte (*Rechenschieber*).
- Das Neuartige an dieser Maschine war aber ihre *Programmierbarkeit* und die Durchführung automatischer Berechnungen.
- Auch wenn hierbei nicht von *Binärzahlen*, sondern von *Dezimalzahlen* Gebrauch gemacht wurde, ist die *Difference Engine* doch durch ihr *Rechenwerk* der Vorläufer aller modernen Computer.

Digitale Logik:
Boole'sche
Algebra

Während *David Hilbert* auf dem 23. „Weltkongress der Mathematik“ in Paris im Jahr 1900 die „Probleme der Mathematik des 20. Jahrhunderts“ umriss, trugen die Jahrzehnte zuvor erfolgten Arbeiten von *George Boole* zur mathematischen Logik maßgeblich zum Verständnis *binärer* – also mit zwei Zuständen – arbeitenden Rechenmaschinen bei.

Lochkarte als
Symbol der
Datenverarbeitung
mit dem
Computer

Für die in dieser frühen Phase noch jungen Industrialisierung war eine schnelle und konsistente Datenverarbeitung notwendig. *Lochkarten* gab es schon länger zur Steuerung mechanischer Webstühle. Die bis in die 70er-Jahre des letzten Jahrhunderts verwendeten Lochkarten (*punch cards*) basierten nun auf dem Codierungsschema des Wiener *Hermann Hollerith* und wurden zunächst für Tabellierungsmaschinen eingesetzt.

Erfinder der
Informatik:
Alan Turing

Bedingt durch die Umwälzungen Anfang des 20. Jahrhunderts besonders im Bereich der Physik (*Albert Einstein*, *Nils Bohr*, *Werner Heisenberg* und *Erwin Schrödinger*) und die beiden verheerenden Weltkriege, erfolgte die Weiterentwicklung der Computertechnik erst wieder in den 40er-Jahren des 20. Jahrhunderts. Sie mündete in den ersten lauffähigen Computern, die vor allem im militärischen Bereich genutzt wurden. So auch in England am *Bletchley Park*, wo ein Team um *Alan Turing* und weiteren polnischen Kryptoanalytikern beschäftigt war, damit die mittels der *Enigma*-Maschine verschlüsselten Funksprüche der deutschen Wehrmacht zu entziffern.

Von da an war die Computertechnologie in aller Munde, und in den 50er- und 60er-Jahren entwickelte sich die Informatik als eigenständige Wissenschaft rapide.

Rechnen mit
binären Zahlen-
werten

Neben dem Militär und den Regierungen waren aber auch die großen Firmen daran interessiert Computer einzusetzen. Die nun verfügbaren Computer arbeiteten aber im Binär- bzw. Dualsystem und nutzen für die Berechnung folglich nur die „0“ und die „1“. Dies wird auf der elektronischen Ebene durch zwei Spannungszustände abgebildet; in der Regel 0 Volt für die „0“ sowie +5 Volt für die „1“ [Bild 1.1-3]. Für den seit Mitte der 50er-Jahre verfügbaren Transistor sind dies die idealen Spannungswerte und erlauben die Abbildung der logischen Axiome von *George Boole* in einfachen Schaltungen und zur Durchführung von arithmetischen und logischen Berechnungen.