

Rechnerorganisation

Sommersemester 2023 – 1. Vorlesung

Prof. Stefan Roth, Ph.D.

Technische Universität Darmstadt

17. April 2023



Vorstellung – Dozent

Prof. Stefan Roth, Ph.D.

- seit 2007 am FB Informatik, 2007–2013 Juniorprofessor, seit 2013 Professor
- Leiter Fachgebiet Visuelle Inferenz
- Forschungsgebiete: Computer Vision, Maschinelles Lernen
- Weitere Arbeitsgebiete: Sprecher Forschungsfeld Information and Intelligence (I+I), Direktor Konrad Zuse School of Excellence in Learning and Intelligent Systems (ELIZA), Direktor ELLIS Unit Darmstadt, ...
- Weitere Interessen: Bergsteigen & Wandern, Foto- & Videografie, ...
- Sprechstunde: siehe Webseite
- Raum: S2 | 02, A304

Vorstellung – Tutor:innen & Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Das Team

- Tutor:innen: Adrian Schmidt, Berenike Peter, Daniel Simon, Florian Piana, Jan Kai Braun, Julian Rupprecht, Konstantin Aurel Meudt, Leena Jamil, Mehmet Bulut, Ömer Yilmaz, Senad-Leandro Lemes Galera, Tim Carlo Pöpke, Yu Xiao
- Praktikum in der Lehre: Simon Cramm, Alexander Marc Anastasius Gallus, Eray Dogan, Minh Huy Tran, Josef Samir
- WiMi: Robin Hesse

Unterlagen zur Veranstaltung im SoSe 2023

Zentrales Moodle

- Material (Vorlesungsfolien, Übungsblätter, Aufzeichnungen, ergänzende Informationen) gibt es im Moodle <https://moodle.tu-darmstadt.de/course/view.php?id=32097>
- Kein Einschreibeschlüssel erforderlich

Kontakt

- Foren in Moodle
- Email: rechnerorganisation@visinf.tu-darmstadt.de
- Bitte keine persönlichen Nachrichten über Moodle schicken

Inhalt

- 1 Lernziele und Lerninhalte der Rechnerorganisation
- 2 Organisatorisches
- 3 Literatur
- 4 Rechnerorganisation, eine Einführung
- 5 Streifzug durch die Geschichte
- 6 Ethik in der Informatik
- 7 Zusammenfassung und Ausblick

Lernziele und Lerninhalte der Rechnerorganisation



Lernziele und Lerninhalte der Rechnerorganisation

Quelle: Modulhandbuch

- Architektur von Mikroprozessoren: Programmierung in Assembler- und Maschinensprache, Adressierungsarten, Werkzeugflüsse, Laufzeitumgebung
- Mikroarchitektur: Befehlssatz und architektureller Zustand, Leistungsbewertung, Mikroarchitekturen mit Eintakt-/Mehrtakt-/Pipeline-Ausführung, Ausnahmebehandlung, fortgeschrittene Mikroarchitekturen
- Speicher und Ein-/Ausgabesysteme: Leistungsbewertung, Caches, virtueller Speicher, Ein-/Ausgabetechniken, Standardschnittstellen

Organisatorisches



- Die Vorlesung beginnt in der KW 16:
 - ▶ Datum: 17. April 2023
- Präsenzveranstaltung und Aufzeichnung:
 - ▶ Uhrzeit: 15:20 – 17:00 Uhr
 - ▶ Raum: S1 | 01, A1
 - ▶ Ankündigungen in Moodle beachten
- am 17. April 2023 ausnahmsweise keine Präsenzvorlesung, sondern Informationstermin
- Bitte unbedingt in TUCaN zu diesem Modul anmelden.
- Die letzte Vorlesung findet am 10.07.2023 statt.
- Die Vorlesungen werden aufgezeichnet. Die Aufzeichnungen stehen ca. 1 Tag nach der Vorlesung bereit.

- Informationen zu den Übungen:
 - ▶ die Übungen finden ab der KW 17 statt.
 - ▶ die Anmeldung zu den Übungen ist ab 18. April 2023 (Abends) in Moodle freigeschaltet. Bitte beachten: Anmeldungen zu den Übungen in TUCaN sind ebenfalls erforderlich (muss nicht zwingend mit der Moodle Gruppe übereinstimmen).
 - ▶ es gibt 11 Übungsblätter; die Bearbeitung der Übungsblätter ist freiwillig, wird aber dringend empfohlen.
 - ▶ die Ausgabe (=die Bereitstellung in Moodle) des ersten Übungsblatts erfolgt am 18. April 2023
 - ▶ eine Woche nach Bearbeitung werden die Lösungsvorschläge (!) zu den jeweiligen Übungsblättern bereit gestellt.

Fachprüfung & Studienleistung

- Das Modul Rechnerorganisation wird mit einer Fachprüfung abgeschlossen.
- Die Fachprüfung, zu der eine Anmeldung in TUCaN notwendig ist, findet statt am:
 - ▶ Datum: 21.09.2023
 - ▶ Uhrzeit: 9:15 - 10:45 Uhr
 - ▶ Räume: werden rechtzeitig bekannt gegeben
 - ▶ Hinweis: informelle Information; die verbindliche Informationsquelle zur Prüfung ist TUCaN.
- Eine weitere Fachprüfung findet im Frühjahr 2024 statt.
- Die Zulassung zur Fachprüfung erfolgt durch eine Studienleistung, die in diesem Semester wie folgt erbracht wird:
 - ▶ Man kann vier Übungstestate (=Quizze in Moodle) absolvieren. **Für die Zulassung müssen mindestens zwei Übungstestate bestanden sein.**
 - ▶ Man kann zwei Programmiertestate absolvieren. **Für die Zulassung muss mindestens ein Programmiertestat bestanden sein.**
 - ▶ Sollte es irgendwelche Schwierigkeiten bei Erbringung der Studienleistung geben, werden wir versuchen Lösungen zu finden.
- Ausnahmen möglich (B.Sc. Wirtschaftsinformatik, ...)

Anmeldefristen für Fachprüfung & Studienleistung

- Die Anmeldung zu Prüfungen (Fachprüfungen UND Studienleistungen) erfolgt über TUCaN
- Fristen für Prüfungen in einem Sommersemester:
 - ▶ Fachprüfungen: 01.05. - 30.06.
 - ▶ Studienleistungen: 01.03. - 30.06.
- Fristen für Prüfungen in einem Wintersemester:
 - ▶ Fachprüfungen: 01.11. - 31.01.
 - ▶ Studienleistungen: 01.09. - 31.01.
- **Hinweis:** Studienleistungen werden häufig als Teilleistungen erbracht. Studierende sollten sich vor dem Erbringen möglicher Teilleistungen zur Studienleistung des entsprechenden Moduls anmelden. Ein Anrecht auf Wiederholung von Teilleistungen bei verspäteter Anmeldung besteht nicht!

Literatur



- [BO10] Bryant, Randal E. und David R. O'Hallaron: *Computer Systems – A Programmer's Perspective*.
Prentice Hall, 2010.
- [Cza79] Czauderna, Karl-Heinz: *Konrad Zuse, der Weg zu seinem Computer Z3*.
R. Oldenbourg, 1979.
- [HH16] Harris, David Money und Sarah L. Harris: *Digital Design and Computer Architecture, ARM® Edition*.
Morgan Kaufmann, 2016.

Rechnerorganisation, eine Einführung



Grundlagen der Rechnerorganisation

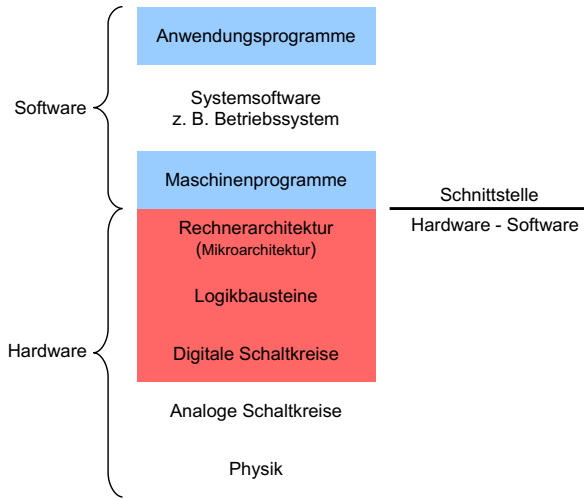
Vorgehensweise

- Wie vermittelt man das Wissen, die Konzepte usw. die zum Verständnis eines Computers wichtig sind?
- Kenntnisse der **Rechnerorganisation** sind ein wichtiger Baustein, um die Funktionsweise eines Computers zu verstehen.
- Es gibt viele weitere Bausteine:
 - ▶ Digitaltechnik
 - ▶ Compilerbau
 - ▶ Betriebssysteme
 - ▶ ...
 - ▶ Systemnahe und parallele Programmierung
- Mittels verschiedener Abstraktionsschichten ist es möglich, die Bausteine weitgehend isoliert zu betrachten.

Abstraktion ist ein wichtiges und zentrales Konzept der Informatik

- Was ist das?
 - ▶ Verstecken unnötiger Details
- „unnötig“?
 - ▶ Für diese spezielle Aufgabe unnötig!
 - ▶ Verständnis aller Abstraktionsebenen ist immer hilfreich

Schichtenmodell eines Computers I



Schichtenmodell eines Computers II

- Es gibt nicht **das** Schichtenmodell.
- Das Schichtenmodell eines Computers ist nicht standardisiert (z. B. im Vergleich zum ISO/OSI-Referenzmodell für Computernetzwerke).
- Die Semantik der Farben ist:
 - ▶ Alle Schichten, die farblich markiert sind, sind Teil der Vorlesung Rechnerorganisation.
 - ▶ Blau beschreibt die Softwareschichten, Rot die Hardwareschichten.

Zum Schichtenmodell

Wesentliche Eigenschaften eines Schichtenmodells sind:

- Eine untere Schicht erbringt „Dienstleistungen“ für die nächst höhere Schicht.
- Eine obere Schicht nutzt nur die Dienste der nächst niedrigeren Schicht.
- Zwischen den Schichten sind eindeutige Schnittstellen definiert.
- Die Vorteile einer sauberen Schichtenstruktur sind:
 - ▶ Austauschbarkeit einzelner Schichten, ohne benachbarte Schichten oder das gesamte System ändern zu müssen (setzt Schnittstellenspezifikation voraus).
 - ▶ Ein Benutzer braucht nur die von ihm zu bearbeitende Schicht zu kennen. Die darunterliegenden Schichten bilden eine fest definierte Funktionalität.
 - ▶ Anmerkung: Für manche Aufgaben ist eine genauere Kenntnis der unteren Schichten notwendig (z. B. Programmierung von Gerätetreibern).
- Ein Nachteil ist ggf. eine geringere Leistungsfähigkeit des Systems.

Einführung und Erklärung einiger Grundbegriffe

- Was ist ein Computer?
- Ein Synonym für ein **Datenverarbeitungssystem**.
- Die Definition eines **Datenverarbeitungssystems** nach DIN¹ 44300 lautet:
Ein Datenverarbeitungssystem ist eine Funktionseinheit zur Verarbeitung und Aufbewahrung von Daten. Verarbeitung umfaßt die Durchführung mathematischer, umformender, übertragender und speichernder Operationen.
- Weitere Synonyme sind:
 - ▶ Rechner, Rechnersystem
 - ▶ veraltet: Rechenanlage, Rechenautomat, Informationsverarbeitungssystem (IVS)
- im Folgenden: **Rechnersystem**

¹Deutsche Industrie-Norm

Einführung und Erklärung einiger Grundbegriffe

Aus der Definition kann man folgende vier Grundfunktionen ableiten, die ein Rechner ausführt:

- Verarbeitung von Daten: Rechnen ($+$, $-$, $*$, $/$), logische Verknüpfungen (AND, OR, ...).
- Speichern von Daten: Ablegen, Wiederauffinden, Löschen (und das in ganz unterschiedlichen Speichern).
- Umformen von Daten (welches auf die Verarbeitung der Daten zurückzuführen ist): Sortieren, Packen und Entpacken.
- Kommunizieren:
 - ▶ mit dem Benutzer: Mensch-Maschine Schnittstelle
 - ▶ mit anderen Rechnersystemen.

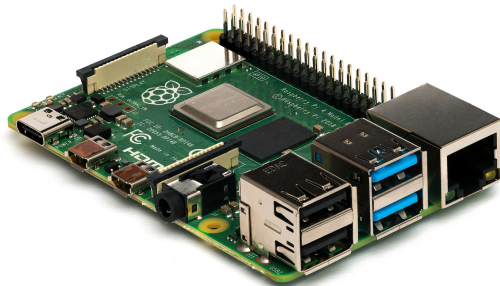
Einführung und Erklärung einiger Grundbegriffe

Die Abgrenzung von Rechnersystemen zu Taschenrechnern und Messgeräten erfolgt über die Art der Steuerung.

Merkmal eines Rechnersystems

Die Steuerung eines Rechnersystems erfolgt über ein ladbares Programm, das aus einer Folge von Anweisungen, sogenannten **Maschinenbefehlen** besteht und schrittweise die gewünschte Funktion ausführt.

Ein Rechnersystem aus der Praxis



Raspberry Pi 4 Model B, mit ARM[®] Cortex-A72

Bild: Michael H. („Laserlicht“) / Wikimedia Commons

Komponenten und Struktur eines Rechnersystems I

In einem Rechnersystem sind (mindestens) die vier folgenden Komponenten vorhanden:

- Ein **Prozessor** (Zentraleinheit, CPU²), der Programme ausführen kann.
- Ein **Speicher** der Programme und Daten enthält (Speichersystem).
- Ein **Bus**³ zum Transfer von Informationen zwischen dem Prozessor und dem Speicher.
- Ein **Ein-/Ausgabesystem** zum Transfer von Informationen mit der Außenwelt.

²Central Processing Unit

³Herkunft des Begriffs unklar

Komponenten und Struktur eines Rechnersystems II

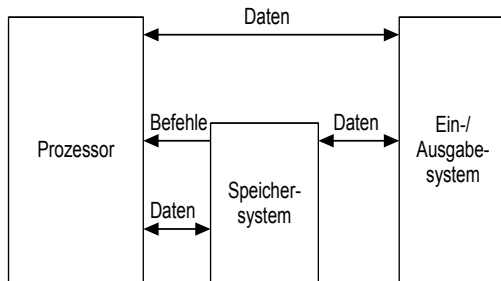


Abbildung: Komponenten eines Rechnersystems (abstrakte Darstellung)

Anmerkung: Die Komponenten eines Rechnersystems müssen in der Regel eine gemeinsame Zeitbasis haben, damit das Zusammenspiel funktioniert. Diese Zeitbasis nennt man auch Takt/Taktsignal/Systemtakt.

Streifzug durch die Geschichte



Streifzug durch die Geschichte I

Übersicht über die geschichtliche Entwicklung mit den wichtigsten Meilensteinen. Die Spalte Zeit gibt an, wann die Geräte vorwiegend eingesetzt wurden.

Bezeichnung	Technik und Anwendung	Zeit
Abakus, Zahlenstäbchen	mechanische Hilfsmittel zum Rechnen	bis ca. 18. Jahrhundert
mechanische Rechenmaschinen	mechanische Apparate zum Rechnen	1623 – ca. 1960
elektronische Rechenanlagen	elektronische Rechenanlagen zum Lösen von numerischen Problemen	seit 1944
Datenverarbeitungsanlage	Rechner kann Texte und Bilder bearbeiten	seit ca. 1955
Informationsverarbeitungssystem	Rechner lernt, Bilder und Sprache zu erkennen (KI)	seit 1968

Streifzug durch die Geschichte II

Wichtige Entwicklungsschritte

- ca. 600 v. Chr.: Als wahrscheinlich erstes Rechenhilfsmittel ist in China der **Abakus** entstanden.
- 1623: Der Tübinger Professor Wilhelm *Schickard* konstruiert die erste Rechenmaschine für sechsstellige Addition und Subtraktion mit automatischem Zehnerübertrag. Multiplikation und Division werden durch Anzeige der Teilprodukte erleichtert. In den Wirren des Dreißigjährigen Krieges geraten die Arbeiten Schickards schnell in Vergessenheit.
→ Erste Rechenmaschine für Addition und Subtraktion.

Streifzug durch die Geschichte III

- 1642: Ohne Kenntnis von Schickards Entwicklung entwirft der französische Mathematiker Blaise *Pascal* eine Rechenmaschine für achtstellige Addition mit automatischem Übertrag. Die Subtraktion führt er auf die Addition mit dem Komplementwert des Subtrahenden zurück.
- 1673: Gottfried Wilhelm *von Leibniz* konstruiert für die vier Grundrechenarten eine Rechenmaschine mit Staffelwalzen (gestufte Zahnräder). Er entwickelt das duale Zahlensystem und befasst sich mit binärer Arithmetik.
→ Entwicklung des Dualsystems.



Streifzug durch die Geschichte IV

- 1833: Der englische Mathematiker Charles *Babbage* konstruiert einen analytischen Rechenautomaten (Analytical Engine) und wird dadurch zum geistigen Urheber der digitalen Rechenautomaten mit Programmsteuerung. Wegen fertigungstechnischer Probleme realisiert er nur einen kleinen Teil der Maschine.
→ Idee eines Rechenautomaten mit Programmsteuerung.
- Ada *Lovelace* war eine britische Mathematikerin, die mit Charles Babbage zusammenarbeitete.
- 1886: Der amerikanische Bergwerkingenieur Hermann *Hollerith* entwickelt eine elektromagnetische Sortier- und Zählmaschine zur Auswertung von Lochkarten. Bei der Volkszählung 1890 in den USA bewährt sich diese Maschine hervorragend.
→ Lochkarte als Datenträger.

Streifzug durch die Geschichte V – Konrad Zuse

- 1941: Konrad Zuse baut einen elektromagnetischen Dualcode-Rechner (Z3) mit Daten und Programm auf einem 8-Kanal-Lochstreifen.
 - Erster funktionsfähiger programmgesteuerter Rechenautomat.
 - 0. Generation: Erster Rechner der das Dualsystem verwendet.



Abbildung: Nachbau eines Zuse-Rechners im Technischen Museum in Berlin. Quelle: ComputerGeek, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

- Weitere Informationen sind u. a. unter der URL <https://www.zib.de/> zu finden.
- Plankalkül

Streifzug durch die Geschichte VI – Zuses Sicht eines Rechnersystems

- Grundschemata der von Zuse erdachten Rechenmaschine
- R – Rechenwerk, P – Programmwerk, Sp – Speicherwerk

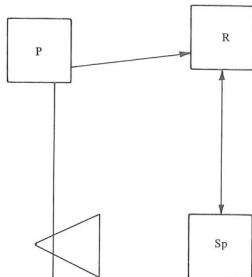


Abbildung: Quelle: [Cza79, S. 24]

Streifzug durch die Geschichte VII

Übersicht über die Zuse Rechner bis zu Z3

- Z1 (1937): Der Z1 war eine mechanische Rechenmaschine, bestehend aus
 - ▶ Ein-Ausgabewerk
 - ▶ Rechenwerk
 - ▶ Speicherwerk
 - ▶ Programmwerk, welches Programme von gelochten Filmstreifen ablas.
- Z2 (1939): Da sich die mechanischen Schaltglieder der Z1 im Betrieb verklemmen, Aufbau mit Relais (ca. 200), Taktfrequenz 10 Hz.
- Z3 (1941): erster funktionsfähiger *Digitalrechner* weltweit.

Streifzug durch die Geschichte VIII

John von Neumann, Eckert, Mauchly, Aiken

- 1944: Der Mathematiker John *von Neumann* konzipiert einen Rechenautomaten mit einem Programm, das erst in den Speicher geladen und dann ausgeführt wird.
Anmerkung: Man spricht bei diesen Rechnern auch von speicherprogrammierbaren Rechnern.
- 1945: John P. *Eckert* und John W. *Mauchly* stellen den ersten Röhrenrechner (ENIAC) fertig. Dieser Rechner war aus über 17000 Röhren aufgebaut und hatte eine Leistungsaufnahme von ca. 150 kW.
Anmerkung: Bei einer Lebensdauer von ca. 1000 Stunden pro Röhre kann im Mittel alle 3,3 Minuten ein Fehler auftreten.
→ 1. Generation: Erster Rechner mit Elektronenröhren
- Howard Hathaway Aiken, Mark I, 1943 und 1944, Informationsspeicherung im Dezimalsystem.

Streifzug durch die Geschichte IX

ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer)

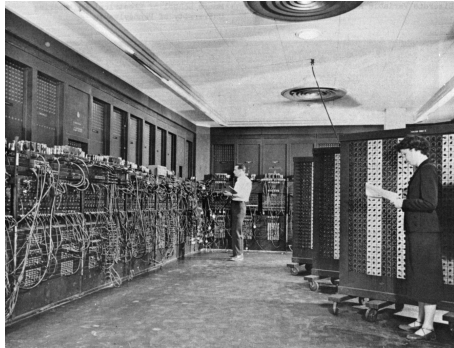


Abbildung: Bild der US-Armee (<https://de.wikipedia.org/wiki/ENIAC>)

Anwendung von ENIAC: Automatische Berechnung von Tabellen für die U.S. Army.

Streifzug durch die Geschichte X

Rechnergenerationen im elektronischen Zeitalter

- Die fünf Rechnergenerationen im Überblick:

Generation	Zeitdauer (ca.)	Technologie	Operationen/sec
1	1945 – 1954	Vakuumröhren	40.000
2	1955 – 1964	Transistor	200.000
3	1965 – 1971	Small und medium scale integration (SSI, MSI)	1.000.000
4	1972 – 1977	Large scale integration (LSI)	10.000.000
5	1978 – ????	Very large scale integration (VLSI)	100.000.000

- Die Abgrenzung zwischen der vierten und fünften Generation ist schwierig. Die Anzahl der Operationen/sec an der verwendeten Technologie festzumachen ist eine starke Vereinfachung.

Streifzug durch die Geschichte XI

Rechner im elektronischen Zeitalter

- ab 1954 – Entwicklung der Programmiersprache Fortran
- 1955 – erster Transistorrechner
- 1957 – Entwicklung der Magnetplattenspeicher, Erste Betriebssysteme für Großrechner
- 1968 – Erster Taschenrechner
- 1971 – Erster Mikroprozessor (Intel 4004)
- 1981 – Erster IBM PC⁴, Beginn des PC-Zeitalters
- Und heute: Smartphones, Laptops, Digitalkameras, Internet

⁴Personal Computer

Moore'sches Gesetz (1965) – Exponentielles Wachstum

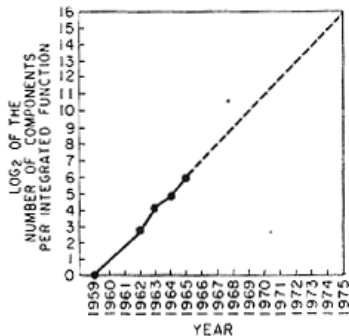


Abbildung: Quelle: Cramming more components onto integrated circuits, by G. Moore

Gordon Moore, Mitgründer der Firma Intel und Urheber des Moore'schen Gesetzes

Ethik in der Informatik



Ethik in der Informatik

- Ethik in der Informatik – Was ist das?
 - ▶ Die Ethik ist ein Teilbereich der Philosophie, der sich mit der Bewertung menschlichen Handelns befasst.
 - ▶ Verbindung zur Informatik: s. Streifzug durch die Geschichte – Anwendung von Rechnersystemen für kriegerisches Handeln.
 - ▶ In vielen Forschungsfeldern gibt es die sogenannte **Dual-Use** (Doppelterwendungsfähigkeit) Problematik. Damit meint man die prinzipielle Verwendbarkeit von z. B. Rechnersystemen zu **zivilen** als auch zu **militärischen** Zwecken.
- Die Auswirkungen der „Informatik“ bzw. deren Produkte auf die Gesellschaft, das menschliche Handeln, ... ist umfassend.
 - ▶ Kritik/mahnende Stimmen gibt es von Anbeginn
 - ▶ z. B. Joseph Weizenbaum („Das Internet ist ein riesiger Misthaufen“)
 - ▶ Weizenbaum-Institut – Forschung für die vernetzte Gesellschaft
 - ▶ Autonome Systeme (Roboter), Einsatz von künstlicher Intelligenz (Wie verhindert man Diskriminierung? Deepfakes, LLMs, ...)
- Die Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) will mit Leitlinien bewirken, dass berufsethische oder moralische Konflikte Gegenstand gemeinsamen Nachdenkens und Handelns werden.

Zusammenfassung und Ausblick



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Rechnerorganisation, eine Einführung
- Streifzug durch die Geschichte
- Ethik in der Informatik

Ausblick

- Einführung in die maschinennahe Programmierung

- Ich habe mir die grundlegenden Begriffe eingeprägt und kann z. B. die Frage nach den Komponenten eines Rechnersystems beantworten ✓
- Ich habe den historischen Überblick nachvollzogen und bin in der Lage, Nichtinformatikern die Milestones zu nennen und zu erklären ✓
- Über die Auswirkungen der Informatik und deren Entwicklungen für die Gesellschaft werde ich in Zukunft häufiger nachdenken ✓
- ...