

---

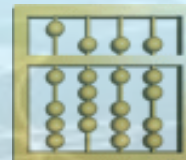
# Digitalisierung

## Informatik im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlichen Herausforderungen und wirtschaftlicher Umsetzung

Manfred Broy

---

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN  
INSTITUT FÜR INFORMATIK



ZENTRUM  
DIGITALISIERUNG.  
BAYERN

---

Warum spricht alle Welt von

*Digitalisierung*

und nicht von

Informatik

oder

Informatisierung



## Analog, stetig, digital, diskret ...

---

- **analoges** Signal: mit stufenlosem und unterbrechungsfreiem Verlauf
- **diskretes, digitales** Signal: Darstellung mit zwei Werten – **true** oder **false**

Digitalisierung hat einen unvergleichlichen Siegeszug angetreten:

- Texte und Daten
- Speicherung und Übertragung von Musik
- Speicherung und Übertragung von Bildern
- ...

alles wird digital repräsentiert, gespeichert, verarbeitet und übertragen – Algorithmen arbeiten digital

# Digital – tertium non datur – zweiwertige Logik

---

- Die klassische Logik ist zweiwertig
  - ◇ Theorie zur Formulierung und zum
  - ◇ Nachweis von Aussagen
- Ursprung: Philosophie
  - ◇ Regeln des Schließens und Argumentieren
  - ◇ Später mathematische Logik
- Enger Bezug zur Informatik
  - ◇ Formalisierung – formale Systeme
  - ◇ Ableitung und Algorithmus
  - ◇ Kategorien

# Digitaler Wandel – wie weit ist er fortgeschritten?

Es wird geschätzt,

- dass es der Menschheit im Jahr 2002 zum ersten Mal möglich war, **mehr Information digital als analog** zu speichern (der Beginn des „Digitalen Zeitalters“)
- dass 2007 bereits **94 % der weltweiten technologischen Informationskapazität digital** war (nach lediglich 3 % im Jahr 1993).

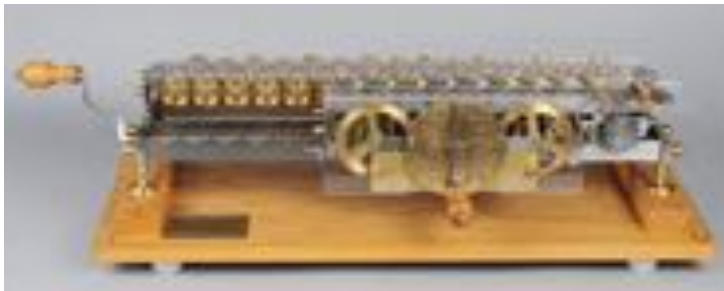
Der digitale Wandel lässt sich nicht an einfach an einem Phänomen festmachen sondern besteht aus einer Fülle von technischen Möglichkeiten und Veränderungen.



# Vom Rechnen mit Zahlen zum Rechnen mit generellen Daten ...

---

- Erste (mechanische) Rechenmaschinen waren auf Zahlen ausgerichtet (und auf die Vorhersage astronomischer Ereignisse - Mechanismus von Antikythera)



- Die moderne Informatik rechnet mit allen Formen von Daten:
  - ◇ Zahlen
  - ◇ Texten
  - ◇ Profilen
  - ◇ Graphen
  - ◇ statischen und bewegten Bildern
  - ◇ ...

## Die wissenschaftliche Sicht ... vor Zuse

---

- Erste urkundlich erwähnte Rechenmaschine 1623 in einem Brief von Wilhelm Schickard an Johannes Kepler
- 1645 führte der Franzose Blaise Pascal seine Rechenmaschine „Pascaline“ vor
- 1673 stellte Gottfried Wilhelm Leibniz eine von ihm entwickelte Staffelwalzen-Maschine der Royal Society in London vor
- Erster Unvollständigkeitssatz - Kurt Gödel: Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. In: Monatshefte für Mathematik und Physik. 38, 1931
- Turing/Church: Unentscheidbarkeit – Berechenbarkeit – Turing-Maschine und  $\lambda$ -Kalkül 1936

# Die Stufen der Informatik

---

- Erste Rechner (oft militärische Anwendungen) vor 1950
- Kommerzielle Anwendungen („Elektronische Datenverarbeitung“, Datenbanken) von 1950-1975 ...
- Technische Anwendungen („Vermittlungssysteme“, „Eingebettete Systeme“) von 1965 ...
- Rechnernetze (Internet, e-mail), 1973 ...
- PC ab 1979 ...
- World Wide Web (Social Media, ) 1989 ...
- Cyber Physical Systems (Smart Mobile Phones, Internet of Things, Big Data, Cloud Platforms) 2007 ...
- Informatikunternehmen dominieren Internet, World Wide Web, Daten 2010 ...



Das Wort wird zur Tat ...

- durch Software kann ohne Veränderungen im Sinne der Physik und der Mechanik einem System ein neues Verhalten, eine neue Funktion gegeben werden
  - ◇ eingebettete Systeme
  - ◇ Apps im Smart Phone
  - ◇ ...
- Die Diskrepanz zwischen wissenschaftlichem Ergebnis („Formel“) und physischer Realität, d.h. Realisierung („Implementierung“) verschwindet –

Formel = Programm = Physisches Verhalten

Cyberphysische Systeme

## Der entscheidende Unterschied ... Programmierbarkeit

---

- Mechanische Rechenmaschinen arbeiten mit Algorithmen, die mehr oder weniger starr (unveränderbar) durch die Maschinen realisiert werden (Beispiel: klassische arithmetische Operationen)
- Moderne „universelle“ Rechenanlagen sind programmierbar, können im Prinzip mit beliebigen Algorithmen programmiert werden und somit auf die unterschiedlichsten Aufgaben ausgerichtet werden.
  - ◇ Universell heißt, dass die Rechenanlage (im Prinzip) für jede überhaupt durch Berechnung bearbeitbare Aufgabe eingesetzt werden kann
- Damit rückt die Befähigung zur **Programmierung** ins Zentrum der Informatik

## Die Leistungsumfänge von Algorithmen, von Software ...

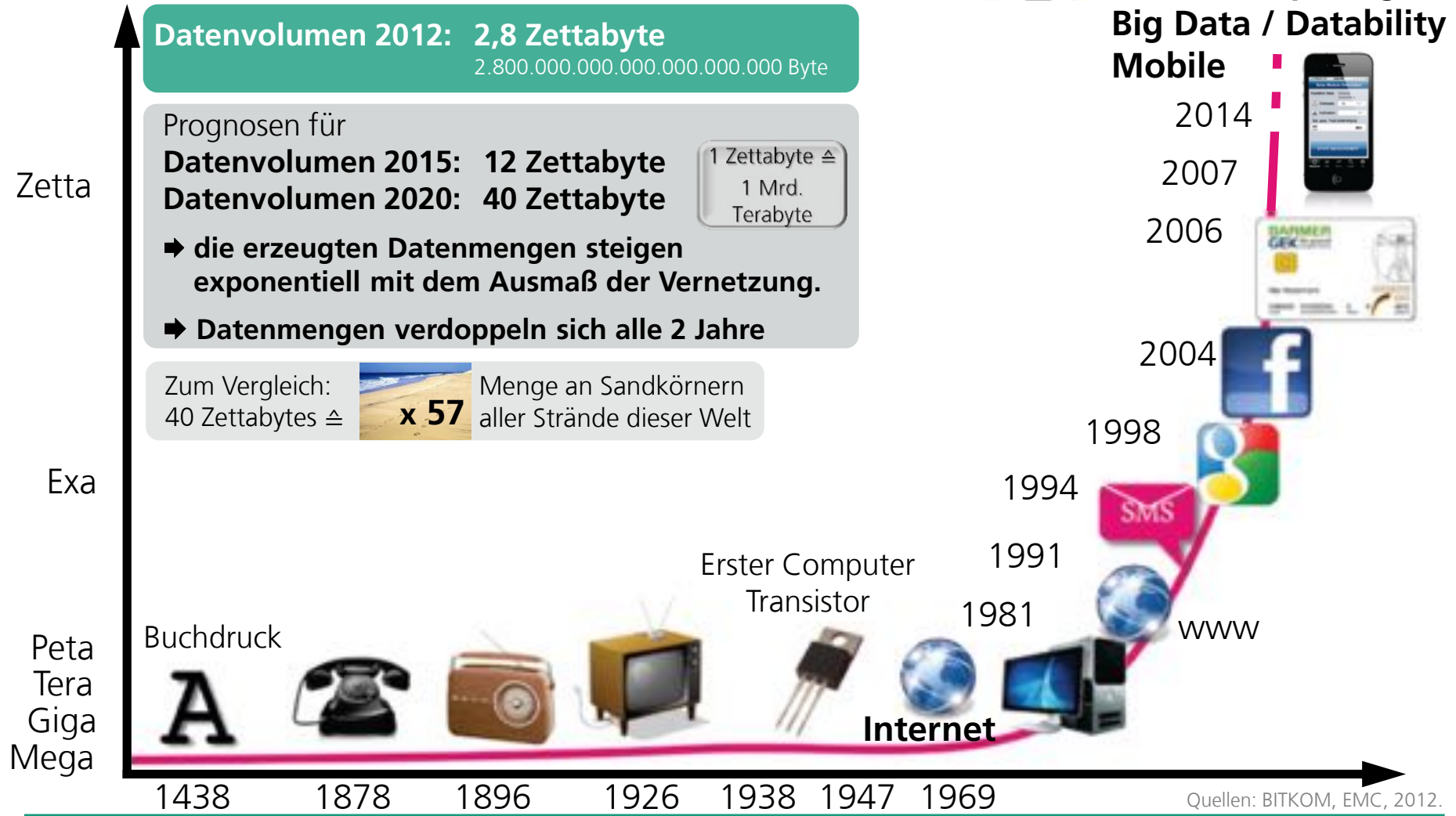
---

- Berechnung des größten gemeinsamen Teilers zweier natürlicher Zahlen (Euklids Algorithmus)
- Algorithmus für das Schachspiel
- Alpha Go
- Software zur Steuerung und Überwachung eines Kernkraftwerks
- Software zur Navigation eines Kfzs
- Software zur Steuerung des Mars Rovers "Curiosity"
- Google Suchmaschine
- Software von IBM Watson
- Software zum autonomen Fahren eines Kfzs
- ...

# Digitalisierung und Vernetzung

## Das Wachstum der Datenmengen im Zeitverlauf

Datenvolumen [in byte]



# Beschleuniger des digitalen Wandels in der Wirtschaft

---

- Innovative Funktionalität
  - ◇ Hohe Akzeptanz, schnelle Verbreitung
- Preisdruck durch Rationalisierung von Dienstleistung
  - ◇ Neue Finanzierungsmodelle (Werbung, Daten, ...)
- Neue Wettbewerber durch Vernetzung
- Monopolisierung – Verstärkungseffekte durch Skalierung
- Modulare Wertschöpfungsketten
- Automatisierung durch innovative Software
- Wegfall des Ortsprinzips im Markt
- Neuartige Geschäftsmodelle durch Synergie, Vernetzung und Verknüpfung
- Skalierungseffekte

# Die Elemente des digitalen Wandels

---

- Digitale Technologie – *Technology Push*
  - ◇ Informations- und Kommunikationstechnik
  - ◇ Daten und Software
- Digitale Infrastruktur
  - ◇ Geräte, eingebettete Systeme, Netze, ...
- Digitale Applikationen – *Market Pull*
  - ◇ Diverse Anwendungsfelder (Business, Verkehr, Medizin, Energie, Kommunikation, Unterhaltung, ...)
- Digitale Geschäftsmodelle – *Business Opportunities*
  - ◇ Digitale Wertschöpfungsketten
- Veränderung in den Unternehmen – *Start Ups*
  - ◇ Unternehmensnetzwerke
- Änderung von Bewusstsein und Verhalten des Bürgers



- Informations- und Kommunikationstechnik
  - ◇ Exponentielles Wachstum der Leistungsfähigkeit

- Rechnen und Verarbeiten
- Übertragen
- Speichern
- Visualisieren

- ◇ Miniaturisierung

- ◇ Mobilität durch Energieeffizienz

- Software

- ◇ Flexible Erstellung neuer Anwendungen (Apps, Open Source, ...)
- ◇ Leistungsstarke Hochleistungssoftware (HPC, Big Data, ...)
- ◇ Umfassende Funktionalitäten (Embedded Software ...)
- ◇ Standardsoftware (SAP, Microsoft, ...)
- ◇ Software mit hohem Assistenzwert (Google, ...)



# Was treibt die digitale Revolution ...

---

- Das **Moore'sche Gesetz**:

Die Leistung in der digitalen Hardware wächst exponentiell (Verdoppelung der Leistung alle 1 1/2 Jahre bei gleichem Preis)

In 10 Jahren: Faktor 100

In 20 Jahren: Faktor 10.000



- **Digitale Netze** – Übertragungsleistung wächst exponentiell

- ◇ Münchner Wissenschaftsnetz (MWN) Backbone 1990: 10 Mbit/s, 2015: 100 Gbit/s; Faktor 10.000!

- Die Flexibilität **programmierbarer** Hardware:

Die gleiche Hardware kann durch Programmierung (durch **Software**) für völlig unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden

– **Beispiel Skype**

- Die schier **unbegrenzte Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten**

In nahezu jedem Anwendungsgebiet eröffnen Hardware/Softwaresysteme neue Möglichkeiten

Informatiksysteme als Teil der Wirklichkeit – erweiterte Wirklichkeit



# Die Folge – dramatische Steigerung unserer technischen Fähigkeiten

---

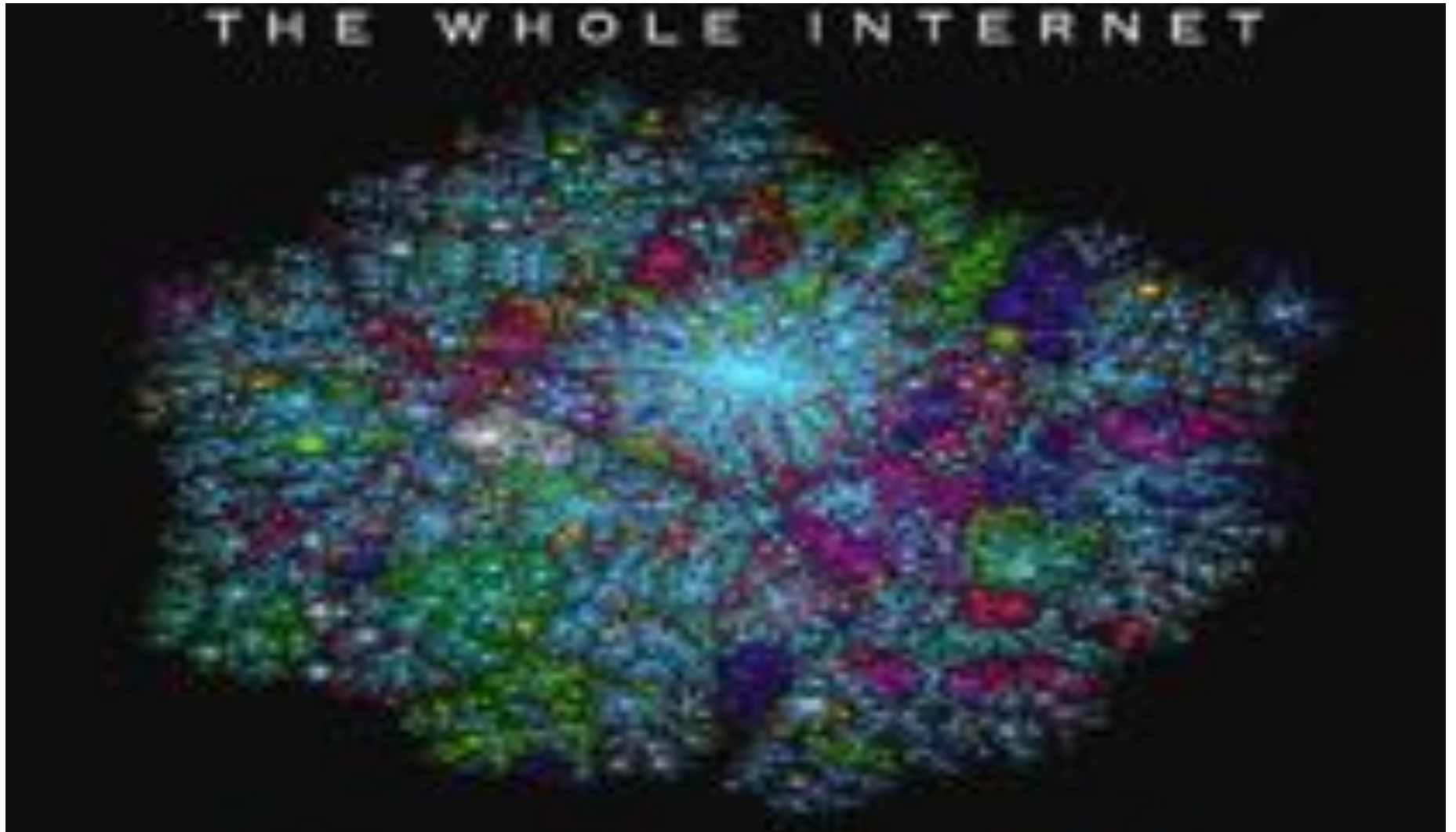
- Kommunikation
  - ◇ Mobiles Telefonieren
- Erzeugen von (bewegten) Bildern
  - ◇ Animation in Filmen
- Steuerung und Automatisierung komplexer Vorgänge
  - ◇ Automatisches Fahren
- Analyse großer Datenbestände
  - ◇ Rasterfahndung
  - ◇ Versicherungsdaten
  - ◇ Wettervorhersage
  - ◇ Generierung von optimierten Behandlungsplänen aus Patientendaten
- ...



## Das Internet ...

---

- ... verbindet Rechner (Connectivity)



## Das World Wide Web erlaubt den weltweiten Zugriff auf

- ein Universum von Daten, Bildern, Diensten, Videos, ...



# World Wide Web

---

- **World Wide Web**: Netz von Informationen und Diensten
- **Web 2.0**: interaktiver und kollaborativer Elemente des www - social media
- **Web 3.0**: Semantische Web
- **Future Internet** - Mobile IP
- **Internet der Dinge und Dienste** – Cyber-Physical Systems (CPS)



# Internet der Dinge: Vom Sensor direkt ins Internet

- Profane Idee: Dinge bekommen Internetadressen und werden mit dem Internet verbunden.
  - ◇ Reichen die Internetadressen aus?
  - ◇ IPv6: 128 bits - mehr als  $10^{30}$  d.h. mehr als  $10^{20}$  IP Adressen pro Kopf der Menschheit
- Etwas differenzierter
  - ◇ Geräte (Ampeln, Handies, Autos, Flugzeuge, Gebäude, ...) mit eingebetteten Softwaresystemen werden direkt ins Internet verbunden
  - ◇ Tauschen wechselseitig Daten aus und nutzen wechselseitig Dienste
- Das Internet wird „**Real World Aware**“

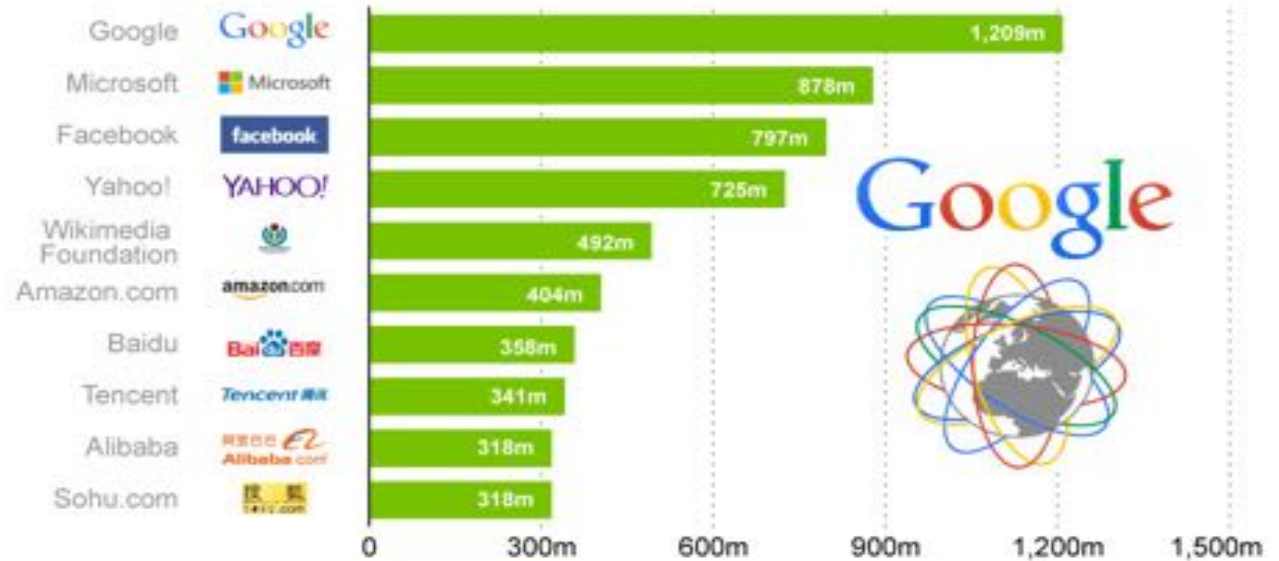


# Dominanz: Internet Unternehmen



## These Companies Control the Internet

Worldwide unique visitors of web properties owned by the following companies in July 2013 (in millions)





# Querschnittstechnik Informations- und Zugriffssicherheit

Security ist die größte Herausforderung und das größte Hemmnis beim Einsatz digitaler Technik:

- Schutz der Daten
- Schutz vor Angriff
- Schutz der kritischen Infrastrukturen
- Schutz der Privatheit
- ...



# Digitale Applikationen – *Market Pull*

Zahlreiche Anwendungsfelder

- Verkehr
- Finanzdienstleistung
- Engineering – Entwicklung
- Produktion
- Medizin
- Kommunikation
- Soziale Netze
- Informationsdienste
- Unterhaltung
- Medien
- Vertrieb
- Energie
- ...



# Digitale Geschäftsmodelle – *Business Opportunities*

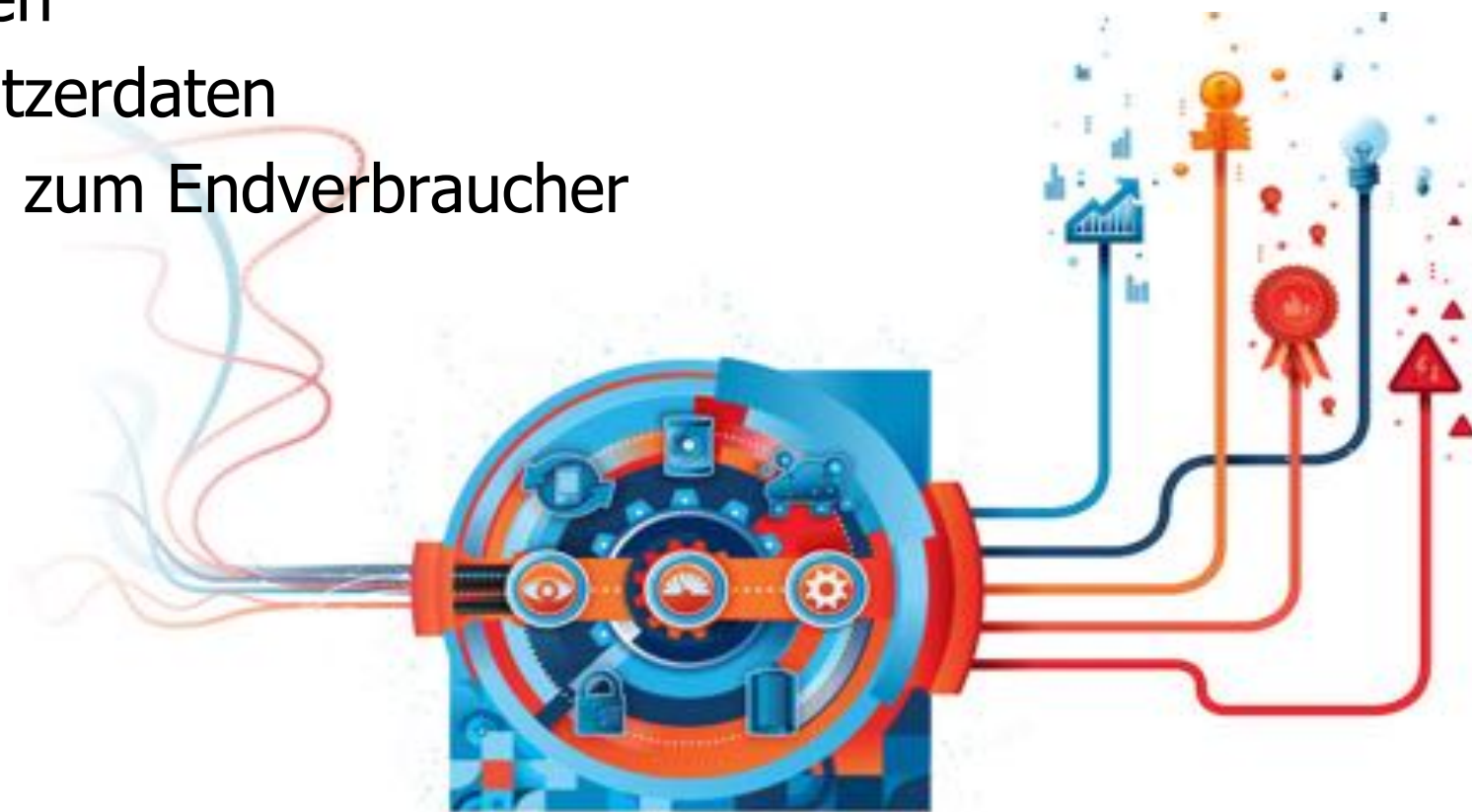
---

- Kostenlose Dienste – Einnahmen durch Datenakquise und Werbung
  - ◇ Das Google/Facebook-Geschäftsmodell
- Sharing Economy
- Start Ups
- Vertrieb über Netze
- Assistenzdienste
- Bewertungsportale
- ...



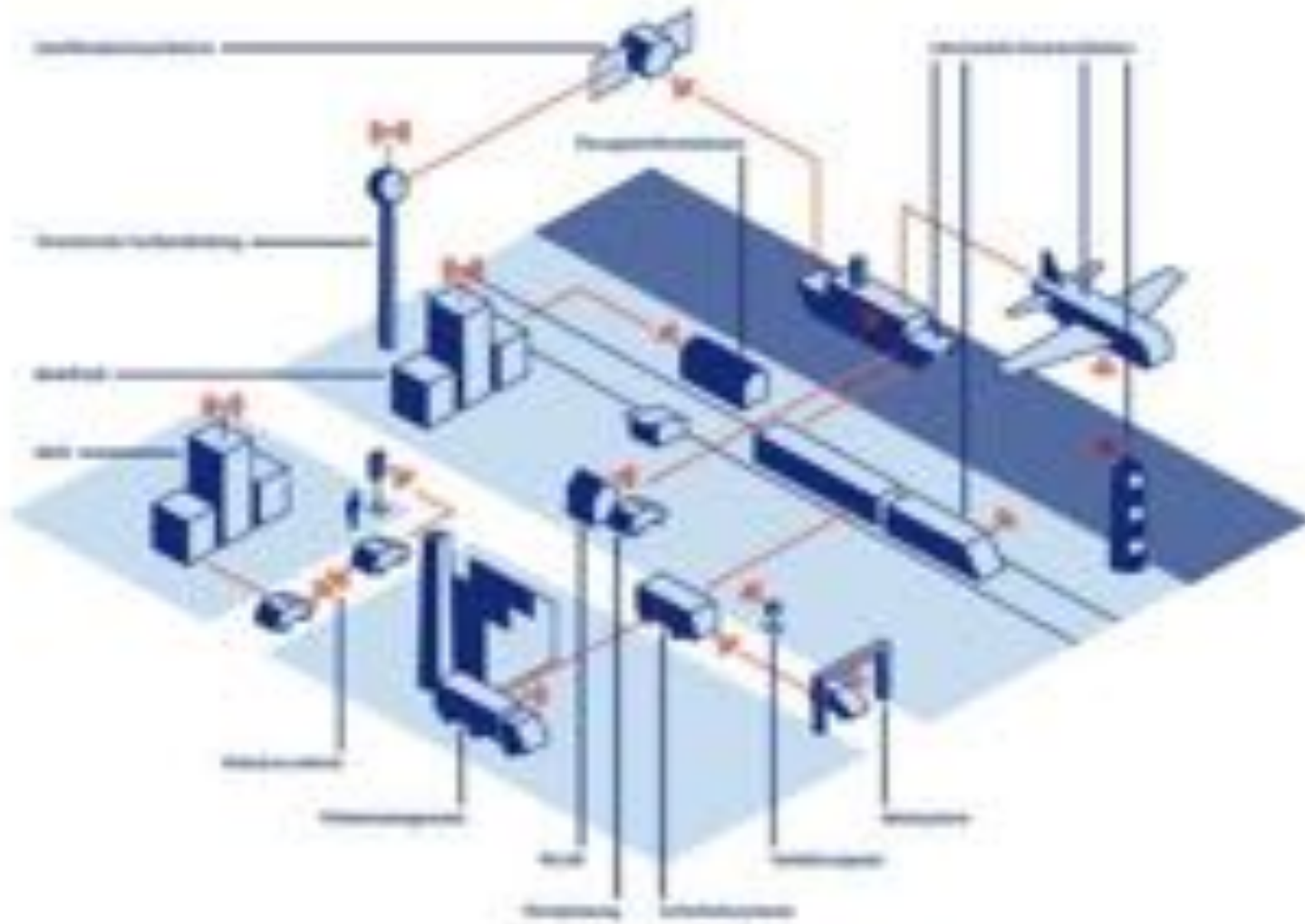
# Digitale Wertschöpfungsketten - Firmennetzwerke

- Vernetzte Dienste
  - ◇ B2B
  - ◇ B2C
- Dienstplattformen
- Nutzung von Nutzerdaten
- Direkter Zugang zum Endverbraucher
- ...

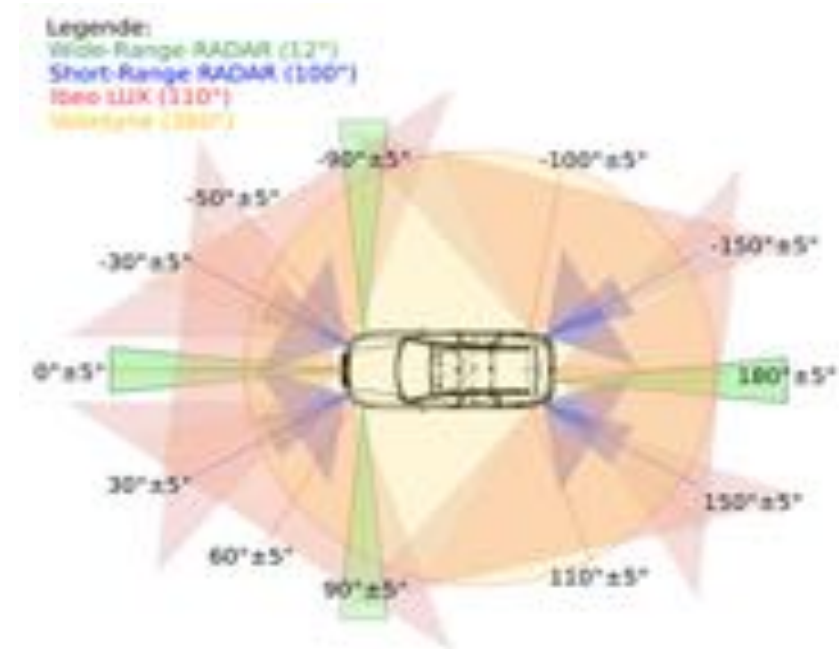


# Vernetzte Industrie – Industrie 4.0

---



# Individualverkehr der Zukunft



# Botschaften

---



- Der digitale Wandel ist international!
    - ◇ Nur international sichtbare Zentren können im digitalen Wettbewerb mithalten!
  - Digitale Medien ändern unsere Sicht auf die Welt!
  - Das Internet ist das zentrale Medium
    - ◇ Extreme Schwäche dazu in B/D/E.
  - Die international stärksten Firmen digitaler Technologie!
    - ◇ Unsere erfolgreichen Unternehmen sind gefährdet!
  - US Firmen so erfolgreich in den digitalen Technologie, da
    - ◇ Risikobereitschaft,
    - ◇ unternehmerischer Spirit und
    - ◇ Technologiekompetenz
- eine unschlagbare Synergie ergeben

## Digital – näher am Menschen

---

- Digitale Technik, Medien, Daten und Dienste liegen näher am Menschen als jede andere Technologie.
  - ◇ Eng Verbunden mit zentralen menschlichen Denk- und Handlungsmustern (Kommunikation, soziale Bindungen, persönliche Daten, Vorlieben, Begriffe, ...)
  - ◇ Hohe Attraktivität
- Internet-Unternehmen haben einen unmittelbaren Zugang zum Kunden wie sonst niemand!
- Human Centric Engineering ist der Erfolgsfaktor!
- Ziel: Menschenwürdig gestalten



## Die ökonomische Wucht der Informatik ...

---

- Die wirtschaftliche Bedeutung der Informatik überlagert zu oft ihre wissenschaftliche Bedeutung
  - ◇ Früher Weltkonzern: IBM
  - ◇ Intel
- Die Revolution frisst ihre Kinder
  - ◇ DEC
  - ◇ ...
- Die neuen Internetgiganten
  - ◇ Microsoft
  - ◇ Apple
  - ◇ Google
  - ◇ Amazon
  - ◇ Facebook



## Das Wechselspiel verstehen ...

---

- Wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung
- Veränderung der Welt und unserer Sicht auf die Welt
- Wissenschaftlicher Kern erschließen
  - ◇ Die Rolle von Information in der Welt ...
- Die Grenzen zwischen Disziplinen lösen sich auf ... genauer, Disziplinen, die nicht konsequent interdisziplinärer arbeiten, werden im wissenschaftlichen Wettbewerb zurückfallen
- Die Rolle der Informatik in Bildung und Kultur

## Die ethische Herausforderung ...

---

- Was, wenn Maschinen „Entscheidungen treffen“?
    - ◇ Autonomie
    - ◇ Künstliche Intelligenz
- Wer trägt die Verantwortung?
- Wieviel Daten darf wer über wen erheben, speichern, auswerten?
  - Wem gehören die Daten?
    - ◇ Informationelle Selbstbestimmung!
  - Wie transparent müssen Systeme für ihre Nutzer sein?

# Die Treiber der Digitalisierung

---

- **Exponentielle Leistungssteigerung** bei radikalem Kostenverfall
- Eingebettete Systeme überall und deren **Vernetzung**
- **Internet** und **World Wide Web** – Social Media
- Mobile Dienste – **Smart Phone** und **Cloud Plattformen**
- Dominanz von Software – **Software is Eating the World**
- Big & Smart Data – **Data Analytics**
- **Human Centric Engineering** – Customer Experience
- Automatisierung und **Autonomie** – **Robotics** und HAF
- **Digital Business Processes** – B2B & B2C
- **Digital Innovation Eco Systems**
- ...

# Merkmale der Digitalisierung

---

- Leistungszuwachs („**Moore's law**“)
- Hohe Geschwindigkeit („**Die fast**“)
- Skalieren („**Minimal transaction costs**“, „**The winner takes all**“)
- Verfügbarkeit („**Always on, ...**“)
- Ortsunabhängigkeit („**Everywhere, ...**“)
- Disruptiver Wandel („**Survival of the creative**“)
- Paradigmenwechsel („**Software is eating the world**“)
- Zugang zu Ressourcen wichtiger als Besitz („**Sharing economy**“)
- Neue Geschäftsmodelle („**Digital business models**“)
- Neuartige Kooperationsformen („**Digital ecosystems**“)
- Vernetzung („**Platform companies**“)
- Gratis Ökonomie („**Zero marginal costs**“)

# Licht und Schatten

- Enorm leistungsfähige Technologie
  - ◇ Innovationstreiber
  - ◇ Neuartige Funktionalität
  - ◇ Attraktiv
- Hohes Potential für praktische alle Anwendungsgebiete
- Hohes wirtschaftliches Potenzial
- Einsparung von Ressourcen
- Flexible Arbeitsorganisation
- Vermeidung von Unfällen
- Verbessert Lebensumstände
  - ◇ Digitale Gesundheit
  - ◇ ...
- Steigert die Möglichkeiten der Menschen
  - ◇ soziale Interaktion
  - ◇ Meinungsäußerung
  - ◇ Wissensversorgung
  - ◇ Automatisierung/Komfort
- ...
- Risiko für konventionelle Unternehmen
- Gefahr von Cyber-Angriffen
  - ◇ Privatheit gefährdet
- Verstärkungseffekt
  - ◇ Digitale Spaltung
- Kunden werden analysierbar und stärker manipulierbar
  - ◇ Überwachung
- Schafft neue Formen unkontrollierbarer Kommunikation
  - ◇ Mobbing
  - ◇ Verbreitung von Fehlinformation
- Stellenabbau
- Monopolisierung
- Entwicklung nahezu ausschließlich Ökonomiegetrieben
- ...

## ... Konsequenzen für die Informatik

---

- vom Software zum Systems Engineering
- vom klassischen Algorithmus zum interaktiven Prozess
- von der abstrakten, diskreten, digitale Modellierung (zweiwertige Logik) zu
  - ◇ Modellierung interaktiven Verhaltens
  - ◇ Probabilistischen Modellen
  - ◇ Diskreter und kontinuierlicher Zeit
  - ◇ Kontinuierlichem Input/Output (Regelungstechnik)
- Informatik als Teil unserer Wirklichkeit
  - ◇ Wirkung von Informatiksystemen in komplexen Umgebungen
  - ◇ Modellierung des operationellen Kontextes

... Modellbildung mit Mitteln der Informatik – ausführbare Modelle:

- Datenmodelle
- Zustandsmodelle
- Systemmodelle
- Metamodelle
- Simulationsmodelle
- Nutzermodelle
- Qualitätsmodelle
- Prozessmodelle
- Geschäftsmodelle
- Marktmodelle
- ...

## ... Konsequenzen für den Informatiker

Die Aufgabe des Informatikers wandelt sich von

- der Gestaltung von Programmen auf stand-alone Rechenanlagen und
- der Lösung überschaubare Probleme durch Programmierung

zu

- der Entwicklung/Evolution riesiger Software-Systeme
- vernetzt
  - ◇ mit der physikalischen Wirklichkeit
  - ◇ mit Daten und Diensten in Netzen
- in enger Interaktion mit Nutzern

zum

- Gestalter der digitalen Zukunftswelten
- mit
- strategischen Führungsaufgaben in den Unternehmen.





## ... und die Rolle des Informatikers

vom Spezialisten

- für Algorithmen und Daten
- für Programme und Software

zum

- Domänenexperten und
- Partner für die Systemgestaltung

und zum

- Gestalter neuer Businessmodellen
- Strategen
- Firmengründer
- Unternehmer.



# Die neuen Aufgaben der Informatik ...

---

- Problemlösung
  - ◇ Entscheiden, welche Problemstellungen mit welchen Mitteln der Informatik gelöst werden können (Cloud, KI, ML, Big Data, Simulation, ...)
- Finden und Gestaltung von Geschäftsmodellen
  - ◇ Wie lässt sich Geschäft innovativ gestalten durch Informatik
- Strategische Unternehmensführung
  - ◇ Wie können Unternehmen langfristig am Markt mit Informatik erfolgreich sein
  - ◇ Wie verändert sich der Markt durch die Digitalisierung
  - ◇ Welche Rolle spielt die Informatik im Unternehmen
    - Vom CIO zum Strategen

# Fazit

---

- Die Möglichkeiten und Herausforderungen der vernetzten Systeme sind nahezu unbegrenzt
  - ◇ Ortsunabhängigkeit und Mobilität
  - ◇ Vernetzung – Konnektivität
  - ◇ Einbindung an Prozesse der Realität – Physikalität
  - ◇ Semantische Interpretation – Context Awareness - Situativität
  - ◇ Big Data – Data Mining
  - ◇ Distributed Control – Selbstorganisation – Autonomie
  - ◇ Dienstorientierung - Interoperabilität
  - ◇ ...
- Industrie 4.0 steht für die nächste Welle der industriellen Revolution – die Welle hat uns bereits erreicht
- Informatik neuer Prägung zielt auf die erforderlichen Konzepte, um das zu bewältigen.
- Dies erfordert auch eine **wissenschaftstheoretische Auseinandersetzung** mit unserem Fach Informatik



Everyone here has the sense  
that right now is  
one of those moments  
when we are influencing the future.

Steve Jobs