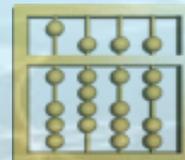

Digitalisierung

Informatik im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlichen Herausforderungen und wirtschaftlicher Umsetzung

Manfred Broy

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
MÜNCHEN
INSTITUT FÜR INFORMATIK

TUM



ZD.B

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,

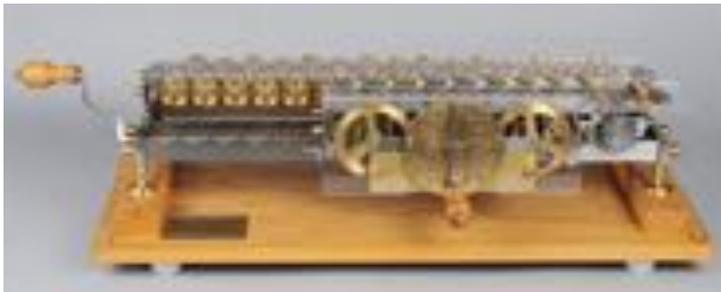
- dass es der Menschheit im Jahr 2002 zum ersten Mal möglich war, **mehr Information digital als analog** zu speichern (der Beginn des „Digitalen Zeitalters“)
- dass 2007 bereits **94 % der weltweiten technologischen Informationskapazität digital** war (nach lediglich 3 % im Jahr 1993).

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 λ -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

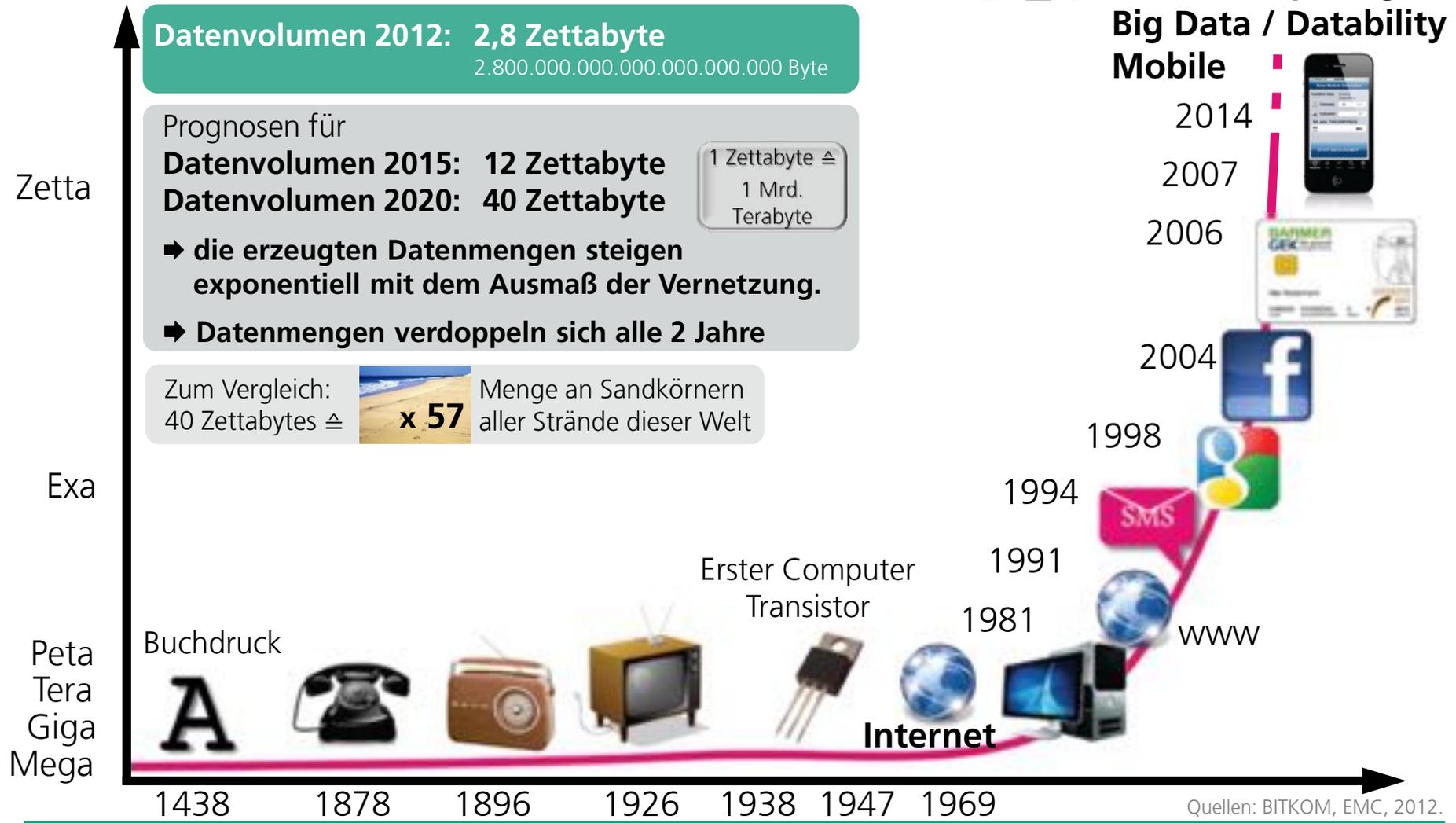
Die Leistungsumfänge von Algorithmen, von Software ...

- 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**

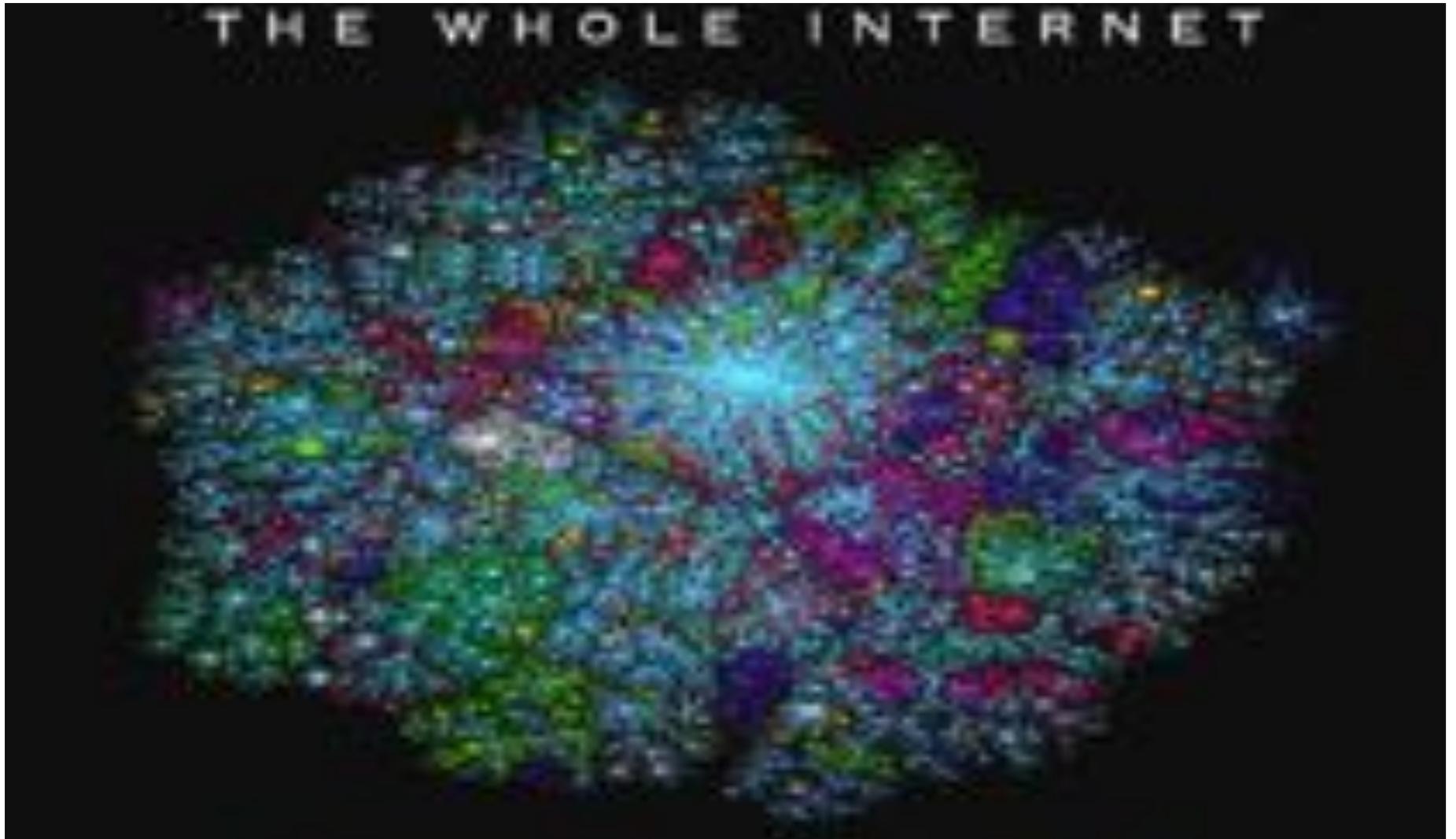
- Die schier **unbegrenzte Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten**

In nahezu jedem Anwendungsgebiet eröffnen Hardware/Softwaresysteme neue Möglichkeiten

Informatiksysteme als Teil der Wirklichkeit – erweiterte Wirklichkeit

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**“

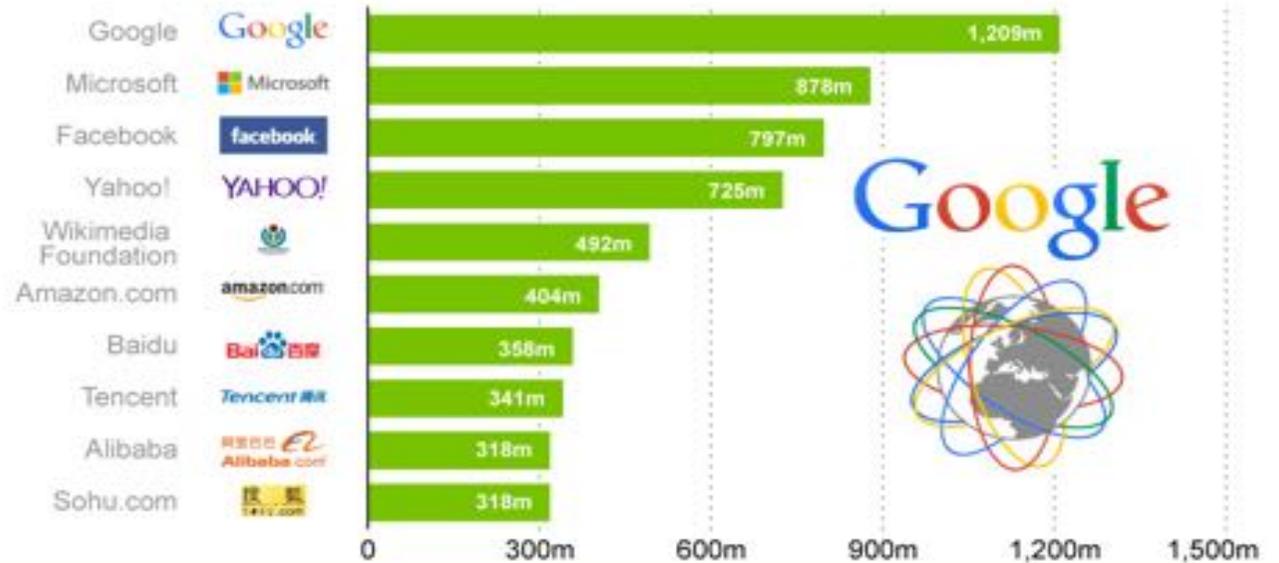


Dominanz: Internet Unternehmen



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
- ...



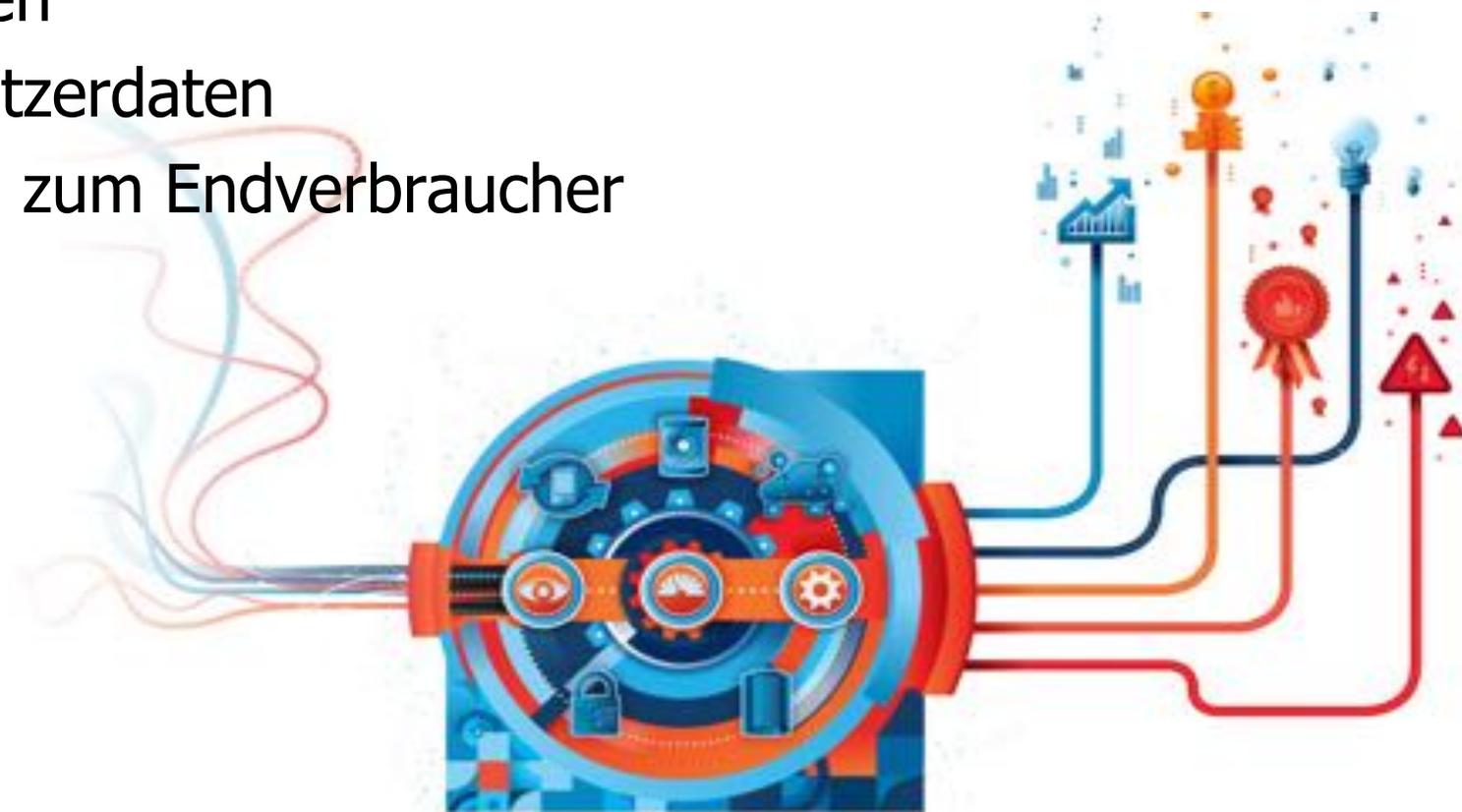
Digitale Geschäftsmodelle – *Business Opportunities*

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

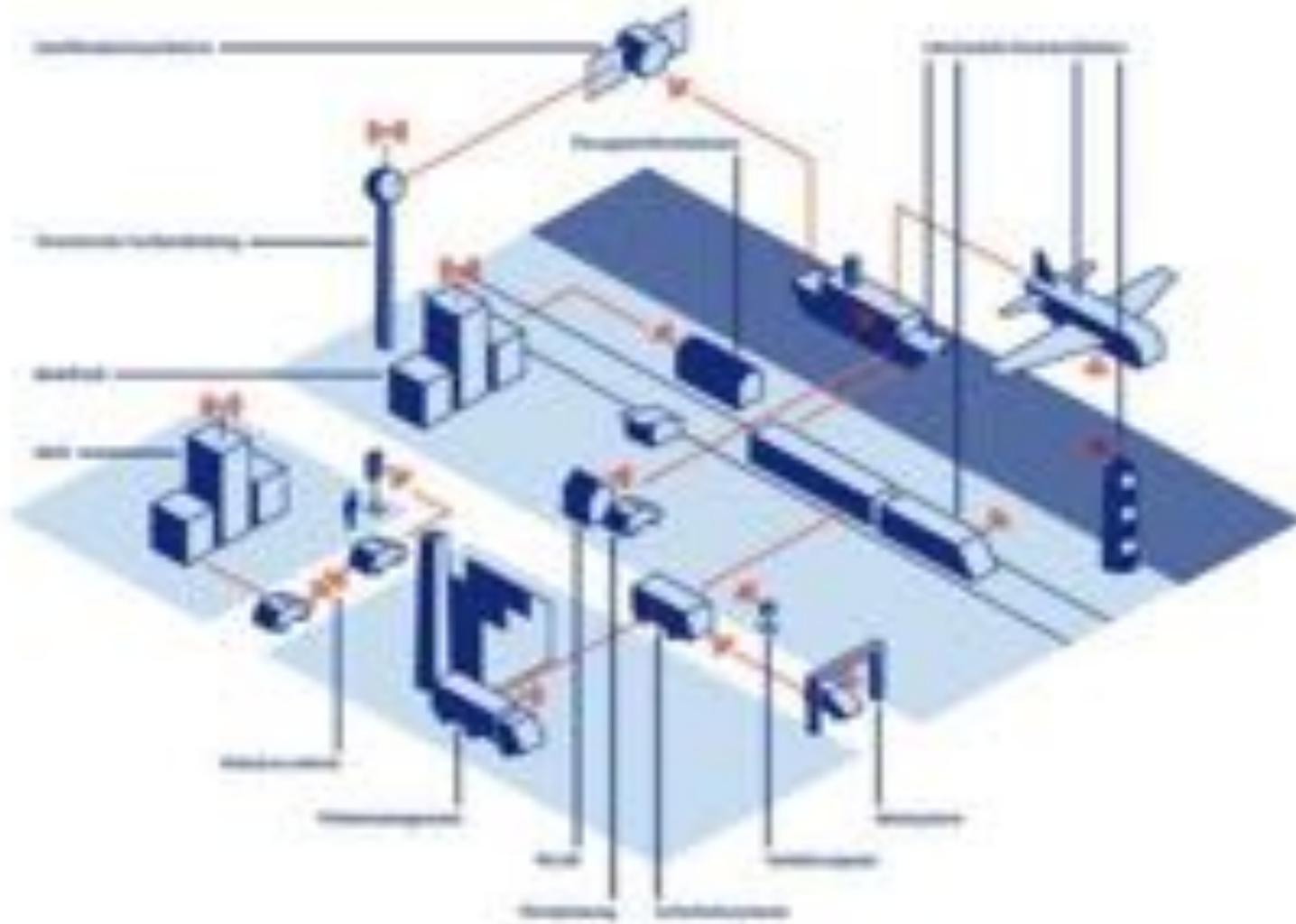


Digitale Wertschöpfungsketten - Firmennetzwerke

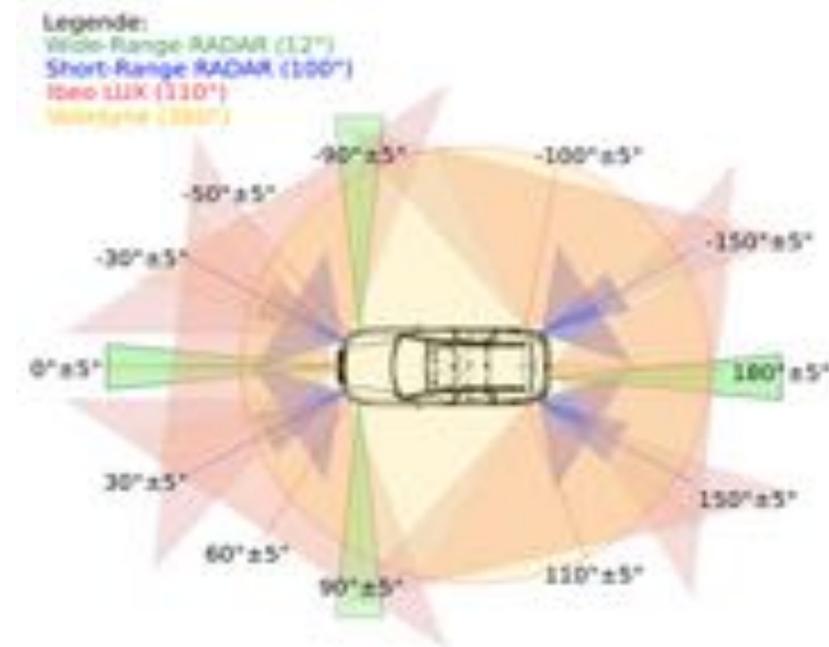
- Vernetzte Dienste
 - ◇ B2B
 - ◇ B2C
- Dienstplattformen
- Nutzung von Nutzerdaten
- Direkter Zugang zum Endverbraucher
- ...



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