

# Wissenschaftliche Softwareentwicklung

## 26. Datenverarbeitung und -Analyse in den Naturwissenschaften

Till Biskup

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
19.02.2024





- 🔑 Daten sind die Grundlage der empirischen Wissenschaften. Sie sollten Jahrzehnte überdauern.
- 🔑 Datenverarbeitung sollte wissenschaftlichen Ansprüchen genügen, insbesondere nachvollziehbar sein.
- 🔑 Datenverarbeitung sollte systematisch erfolgen und jeder einzelne Schritt dokumentiert werden.
- 🔑 Ein System zur Datenverarbeitung muss einfach nutzbar sein und klare Vorteile bieten, um genutzt zu werden.
- 🔑 Ein System zur Datenverarbeitung ist viel umfassender als einzelne Programme zur Datenanalyse.

## Grobgliederung der Vorlesung „Programmierkonzepte“

- 1 Motivation
  - 2 Infrastruktur
  - 3 Sauberer Code
  - 4 Softwarearchitektur
  - 5 **Datenauswertung in den Naturwissenschaften**
- ☛ Bislang ging es um Programmieraspekte und damit hauptsächlich um technische Voraussetzungen.
  - ☛ Jetzt steht die Anwendung im Rahmen der wissenschaftlichen Datenauswertung im Fokus.

Datenverarbeitung, die wissenschaftlichen Kriterien genügt

Gründe für ein System zur Datenverarbeitung

Aspekte eines Systems zur Datenverarbeitung

Nutzeransprüche an ein System zur Datenverarbeitung

# Was ist Wissenschaft?

Eine Wiederholung – und (immer noch) keine formale Antwort



“ *If I have seen further  
it is by standing on y<sup>e</sup> shoulders of giants.*

– Sir Isaac Newton

## Was ist der Kern von Wissenschaft?

- Erkenntnisgewinn
  - Unabhängigkeit vom Betrachter/Experimentator
  - gegründet auf den Erkenntnissen früherer Generationen
  - überprüfbar, nachvollziehbar, ggf. reproduzierbar
- ☛ Wissenschaftler tragen Verantwortung gegenüber jenen, die auf den gewonnenen Erkenntnissen aufbauen.

Sir Isaac Newton: Brief an Robert Hooke, 5. Februar 1676

“ Eine jede Lehre, wenn sie ein **System**,  
d.i. ein nach Prinzipien geordnetes Ganze der Erkenntnis sein soll,  
heißt Wissenschaft

– Immanuel Kant

## Wissenschaft als System

- Voraussetzung: systematisches, diszipliniertes Vorgehen
- ☛ Systematik und Disziplin Frage der persönlichen Einstellung, weniger der Qualität der zur Verfügung stehenden Hilfsmittel
- ☛ Das beste umfassendste Gesamtsystem zur Datenauswertung ist nur so gut wie seine Anwender.

## Empirische Wissenschaften

- Interpretationen ändern sich, Daten sollten Bestand haben.
- Voraussetzung: Daten nach bestem Wissen und Gewissen akkurat aufgenommen (und dokumentiert)
- 👉 Nachvollziehbarkeit und saubere Dokumentation sind wesentliche Aspekte von Wissenschaftlichkeit.

## These

Datenauswertung, die nicht vollständig dokumentiert und nachvollziehbar ist, ist letztlich unwissenschaftlich.

Programmierung 

   
reproduzierbar

   
wiederverwendbar

 Wissenschaft

    
selbst-  
dokumentierend

   
erweiterbar

wissen-  
schaftliche  
Datenanalyse

   
zuverlässig

   
nutzerfreundlich

   
überprüfbar

## Anforderungen aus wissenschaftlicher Sicht



### selbstdokumentierend

- Alle Parameter sollten automatisch mitgeschrieben werden.
- Voraussetzung für vollständige Dokumentation

### zuverlässig

- Auswertungen sind die Grundlage des Erkenntnisgewinns.
- Korrektheit lässt sich u.a. durch (Unit-)Tests sicherstellen.

### überprüfbar

- Wissenschaft lebt vom Vielaugenprinzip.
- Unabhängige Überprüfbarkeit ist essentiell.

### reproduzierbar

- Auswertungen sollten (unabhängig) wiederholbar sein.
- setzt Versionsverwaltung und Versionsnummern voraus

## Anforderungen aus Programmiersicht



### wiederverwendbar

- Ökonomie: nicht das Rad immer wieder neu erfinden
- setzt saubere Dokumentation und lesbaren Code voraus



### selbstdokumentierend

- Code sollte so ausdrucksstark wie möglich sein.
- setzt treffende und gut gewählte Abstraktionen voraus



### nutzerfreundlich

- Voraussetzung für die Nutzung eines Systems
- Robustheit, Nähe zum Nutzer, Flexibilität, Mehrwert



### erweiterbar

- Anforderungen entwickeln sich mit dem Verständnis.
- Neue Funktionalität sollte einfach implementierbar sein.

### *Domain-Driven Design*

Ein gutes Modell der komplexen Realität und Fragestellung stellt die Grundlage für den Kern einer Anwendung dar.

- Modell der wissenschaftlichen Datenverarbeitung
  - Abstraktion der Erfahrung aus dem Forscheralltag
- Anwendung um dieses Modell herum entwickeln
  - Wechselspiel von Implementierung und Modellentwicklung
- saubere Architektur
  - sorgt für die Entkopplung der einzelnen Teile
  - ermöglicht Fokussierung und Beherrschbarkeit
  - Fokus von Anfang an auf guten Schnittstellen

Datenverarbeitung, die wissenschaftlichen Kriterien genügt

Gründe für ein System zur Datenverarbeitung

Aspekte eines Systems zur Datenverarbeitung

Nutzeransprüche an ein System zur Datenverarbeitung

### These

Wissenschaftler haben Verantwortung sowohl gegenüber der Wissenschaft als auch gegenüber dem Steuerzahler.

- Daten sind die Grundlage empirischer Wissenschaften.
  - Ausgangspunkt jeglichen Erkenntnisgewinns
  - unabhängig ihrer Herkunft (Messungen, Rechnungen)
  - Datenaufnahme immer nach bestem Wissen und Gewissen
  - Daten ohne zugehörige Informationen sind wertlos.
- Gewinnung von Daten ist in der Regel teuer.
  - unabhängig ihrer Herkunft (Messungen, Rechnungen)
  - Probenherstellung, Aufbauten, Messungen oft kostspielig
  - Rechnungen oft mit erheblichem Zeitbedarf verbunden
  - Personalaufwand häufig auch nicht vernachlässigbar

### These

Ein System zur Datenauswertung ist viel umfassender als einzelne Programme zur Datenanalyse.

- Kriterien für Wissenschaftlichkeit
  - vollständige Dokumentation
  - Zuverlässigkeit
  - Überprüfbarkeit
  - Nachvollziehbarkeit
- lässt sich nur durch systematisches Vorgehen erreichen
  - Frage der persönlichen Einstellung und Arbeitsweise
  - nicht (zwingend) in einer Software-Anwendung abbildbar
  - beginnt mit der Datenaufnahme und endet bei der Reproduzierbarkeit von Abbildungen aus den Rohdaten

### Fünf grundlegende Fragen

**Wer hat was mit wem wann und wie gemacht?**

- Modularität auf allen Ebenen
  - selten eine in sich geschlossene Software-Plattform
- Nachvollziehbarkeit und Selbstdokumentation
  - Rückgriff auf die Rohdaten und Verarbeitungsschritte von einer Abbildung/Datenrepräsentation aus
- Wartbarkeit und Erweiterbarkeit
  - sollte durch andere Personen später weiter nutzbar sein
- 👉 Die konkrete Ausgestaltung des Systems ist flexibel – solange die gestellten Anforderungen erfüllt werden.

Datenverarbeitung, die wissenschaftlichen Kriterien genügt

Gründe für ein System zur Datenverarbeitung

Aspekte eines Systems zur Datenverarbeitung

Nutzeransprüche an ein System zur Datenverarbeitung

- Datenverarbeitung beginnt mit der Datenaufnahme.
  - Daten ohne Zusatzinformationen (Metadaten) sind wertlos.
  - möglichst vollständige Dokumentation der Bedingungen
- Rohdaten sollten sauber und dauerhaft archiviert werden.
  - (*von anderen*) nachvollziehbares Ablagesystem
  - standardisierte, dokumentierte Formate
  - Zielstellung: Archivierung über Jahrzehnte (!)
- Datenverarbeitung erfordert ein systematisches Vorgehen.
  - dokumentiert, nachvollziehbar, überprüfbar, reproduzierbar
  - Reproduzierbarkeit erfordert hinreichende Dokumentation und Archivierung von Daten und verwendeten Routinen.
- Repräsentationen sollten automatisch reproduzierbar sein.
  - Eineindeutigkeit in beide Richtungen gewährleisten.

- eindeutige Kennzeichnung aller Proben
  - einfachste Variante: durchnummerieren
  - in der Synthese guter Standard (meist mit Namenskürzel)
- vollständiger Satz von Metadaten zu einer Messung
  - vollständige Beschreibung der Messapparatur
  - *formalisierte* Dokumentation aller wichtigen Messparameter
- vollständiger Parametersatz jedes Verarbeitungsschritts
  - muss (automatische) Reproduzierbarkeit gewährleisten
  - *vollständige* Historie zu jedem Datensatz
- systematische Ablage von Daten und Ergebnissen
  - Rohdaten, abgeleitete Daten, Metadaten, Repräsentationen
  - modulare, erweiterbare Verzeichnisstruktur
  - Konventionen für Dateinamen mit konsistenter Verwendung

- **Datenformate: Beständigkeit und Plattformunabhängigkeit**
  - Ziel: Archivierung und Lesbarkeit über Jahrzehnte
  - Beispiele für offene, (selbst-)dokumentierende Formate
- **Datenaufnahme: Metadaten**
  - Das verfügbare Wissen ist während der Messung maximal.
  - Ziel: formalisiertes, möglichst vollständiges Laborbuch
- **Datenverarbeitung und -Analyse: selbstdokumentierend**
  - vollständiger Parametersatz zu jedem Verarbeitungsschritt
  - System zur automatischen Generierung einer Historie
- **Datenpräsentation: Abbildungs- und Berichterstellung**
  - automatisierte Abbildungserstellung aus Datensätzen
  - Bericht: Dokumentation der Verarbeitung und Auswertung und Präsentation der Charakteristika eines Datensatzes

Datenverarbeitung, die wissenschaftlichen Kriterien genügt

Gründe für ein System zur Datenverarbeitung

Aspekte eines Systems zur Datenverarbeitung

**Nutzeransprüche an ein System zur Datenverarbeitung**

- Ansprüche stellen den Anwender in den Fokus.
  - Kriterien der Wissenschaftlichkeit wurden schon behandelt.

### zwei Ansprüche aus Sicht der Anwender

- hinreichend einfach nutzbar
  - möglichst niedrige Eintrittsschwelle
  - gute Dokumentation inkl. praxisnaher Beispiele
  - intuitive Bedienung dank guter Abstraktionen
  - flexibel erweiterbar und auf Bedürfnisse anpassbar
- offensichtliche Vorteile bei Verwendung des Systems
  - anderweitig nur mit erheblichem Aufwand erreichbar
  - korreliert mit (externen, durchgesetzten) Anforderungen: je höher die Anforderungen, desto größer der Nutzen

- zwei Arten von Komplexität (nach Fred Brooks)
    - unvermeidliche Komplexität (*essential complexity*)
    - vermeidbare Komplexität (*accidental complexity*)
  - Wissenschaftliche Datenverarbeitung ist inhärent komplex.
    - Entsprechendes Hintergrundwissen ist eine Voraussetzung.
    - Viele Anforderungen sind unvorhersehbar.
    - Flexibilität ist wesentlich für die Nutzbarkeit.
  - Das System ist für den Nutzer da – *nicht* umgekehrt.
    - Nutzerbedürfnisse möglichst genau analysieren
    - wichtig: treffende Abstraktionen (*Domain-Driven Design*)
    - Prinzip der „geringsten Überraschung“ (*least surprise*)
- ☛ Nur ein möglichst einfach nutzbares System, das offensichtliche Vorteile bietet, wird auch genutzt werden.

- Ein System, das alle Kriterien erfüllt, ist komplex.
  - lässt sich nicht „schnell mal nebenher“ entwickeln
  - Viele Einzelaspekte sind einfach umsetzbar.
  - Entscheidend ist das Bewusstsein für einzelne Aspekte und die Existenz einfacher, bewährter Lösungen.
- „Köder“: Automatisierung und Vereinfachung von Abläufen
  - appelliert an die menschliche Faulheit
  - Automatisierung sorgt für Konsistenz.
- Entscheidend sind die (extern) gestellten Anforderungen.
  - Nur wenn Wissenschaftlichkeit real eingefordert wird, ergibt sich ein Vorteil aus der Verwendung des Systems.
- ☛ Nur eine konsequente Nutzung liefert reale Vorteile.  
Entsprechend prominent sollten sie beworben werden.



- 🔑 Daten sind die Grundlage der empirischen Wissenschaften. Sie sollten Jahrzehnte überdauern.
- 🔑 Datenverarbeitung sollte wissenschaftlichen Ansprüchen genügen, insbesondere nachvollziehbar sein.
- 🔑 Datenverarbeitung sollte systematisch erfolgen und jeder einzelne Schritt dokumentiert werden.
- 🔑 Ein System zur Datenverarbeitung muss einfach nutzbar sein und klare Vorteile bieten, um genutzt zu werden.
- 🔑 Ein System zur Datenverarbeitung ist viel umfassender als einzelne Programme zur Datenanalyse.