Bausteine Computergestützter Datenanalyse

Lukas Arnold Simone Arnold Matthias Baitsch Marc Fehr Sebastian Seipel Florian Bagemihl Maik Poetzsch

2025-04-28

Inhaltsverzeichnis

Αı	Anwendungsbaustein Sensordatenanalyse										
V	oraus	setzungen	6								
Le	rnzie	le	8								
1	Einl	eitung	9								
2	Gru	Grundlagen: Merkmale von Datensätzen									
	2.1	Technisches Format	11								
	2.2	Struktur	12								
		2.2.1 Eindimensionale Datensätze	12								
		2.2.2 Eindimensionale Daten einlesen mit Python	13								
		2.2.3 Zweidimensionale Datensätze	15								
		2.2.4 long- und wide-Format	17								
		2.2.5 Übung zweidimensionale Datensätze	23								
		2.2.6 Drei- und mehrdimensionale Datensätze	24								
		2.2.7 Übung dreidimensionale Datensätze	26								
	2.3	Datentyp	28								
		2.3.1 Fehlende Werte	31								
		2.3.2 Fehlende Werte in der Praxis	34								
	2.4	Metadaten	35								
	2.5	Tidy data	36								
3	Die	Module NumPy und Pandas	37								
	3.1	Datentypen	38								
	3.2	Dateien lesen und schreiben	39								
	3.3	NumPy	39								
	3.4	Pandas	39								
	3.5	Datentypen erkennen und festlegen	40								
		3.5.1 NumPy	40								
		3.5.2 Pandas	41								
		3.5.3 Aufgabe Datentypen	45								
	3.6	Umgang mit fehlenden Werten	48								
		3.6.1 NumPy	48								
		3 6 2 Pandas	58								

		3.6.3 Aufgabe fehlende Werte	66
4	Zeit	reihen	69
	4.1	Datum und Zeit in NumPy und Pandas	69
	4.2	NumPy	69
	4.3	Pandas	70
	4.4	NumPy	73
	4.5	Pandas	73
	4.6	Zeitreihen einlesen	75
		4.6.1 NumPy	76
		4.6.2 Pandas	81
	4.7	Zugriff auf Zeitreihen	86
	4.8	Fehlende Werte in Zeitreihen	90
	4.9	Übungen: Zeitreihen einlesen	91
5	Zug	riff auf mehrere lokale Dateien: Modul glob	109
	5.1	Übungen Modul glob	112
	5.2	Jahreszahlen und Spaltennamen auslesen	118
	5.3	DataFrame der Spaltennamen	118
	5.4	Spaltennamen finden	119
6	Mas	skierte Arrays	126
•	6.1	Maskierte Arrays erzeugen	_
	6.2	Übung maskierte Arrays erzeugen	
	6.3	unmasking, soft und hard masks	
	6.4	Operationen mit maskierten Arrays	
	6.5	Übungen Operationen mit maskierten Arrays	
7	Wis	senschaftliche Dateiformate	143
•	7.1	HDF5	_
	,,,	7.1.1 PyTables	
		7.1.2 h5py	
		7.1.3 Übung Zugriff auf H5P-Datasets	
	7.2	netCDF4	
	7.3	Datensatz	153
	7.4	Dimensionen	160
	7.5	globale Attribute	161
	7.6	Attribute einer Variablen	162
		7.6.1 Daten in netCDF4-Dateien schreiben	163
		7.6.2 Übung Zugriff auf netCDF-Datasets	166
8	Das	Wichtigste (vielleicht als Video)	168

9) Lernzielkontrolle				
	9.1	Kompetenzquiz	169		
	9.2	Übungsaufgaben	173		

Anwendungsbaustein Sensordatenanalyse



Bausteine Computergestützter Datenanalyse von Lukas Arnold, Simone Arnold, Florian Bagemihl, Matthias Baitsch, Marc Fehr, Maik Poetzsch und Sebastian Seipel. Anwendungsbaustein Sensordatenanalyse von Maik Poetzsch ist lizensiert unter CC BY 4.0. Das Werk ist abrufbar auf GitHub. Ausgenommen von der Lizenz sind alle Logos Dritter und anders gekennzeichneten Inhalte. 2025

Zitiervorschlag

Arnold, Lukas, Simone Arnold, Matthias Baitsch, Marc Fehr, Maik Poetzsch, und Sebastian Seipel. 2025. "Bausteine Computergestützter Datenanalyse. Anwendungsbaustein Sensordatenanalyse. https://github.com/bausteine-der-datenanalyse/m-einlesen-strukturierter-datensaetzee.

BibTeX-Vorlage

@misc{BCD-a-sensordatenanalyse-2025,

title={Bausteine Computergestützter Datenanalyse. Anwendungsbaustein Sensordatenanalyse}, author={Arnold, Lukas and Arnold, Simone and Baitsch, Matthias and Fehr, Marc and Poetzsch, year={2025},

Voraussetzungen

Die Bearbeitungszeit dieses Bausteins beträgt circa **Platzhalter**. Für die Bearbeitung dieses Bausteins werden folgende Bausteine vorausgesetzt und die genannten Bibliotheken verwendet:

Bausteine:

• Werkzeugbausteine Python, NumPy, Pandas

Module:

- Modul os
- Module NumPy, numpy.ma
- Modul Pandas
 - openpyxl pip install openpyxl
 - xlrd pip install xlrd
 - pytables pip install tables
- Modul h5py pip install h5py
- Modul netCDF4 pip install netCDF4
- Modul Matplotlib
- Modul re (optional)
- Module datetime, time, pytz, zoneinfo (optional)

Im Baustein werden folgende Daten verwendet:

- Zahnwachstum bei Meerschweinchen CSV-Datei
- Strommarktdaten der Bundesnetzagentur hier verfügbar und der Austrian Power Grid AG (APG) hier verfügbar
- Industriestrompreise in den Mitgliedsländern der Internationalen Energieagentur XLS-Datei
- Kursdaten des amerikanischen Aktienindexes S&P500 (XLS-Datei).

- US State Facts and Figures, die in R abgerufen werden können.
- DSB Unfallatlas der statistischen Ämter des Bundes und der Länder
- Europäische Gaspreise von Eurostat XLSX-Datei
- Baugenehmigungen, verfügbar beim Statistischen Bundesamt
- Eisdicke in der Arktis und Antarktis kostenlose Registrierung bei NASA Earth erforderlich
- Blitzdichte kostenlose Registrierung bei NASA Earth erforderlich

Querverweis auf:

- w-Python
- w-NumPy
- w-Pandas
- w-rechtliche Grundlagen Datenmanagement

Lernziele

In diesem Baustein lernen Sie ...

- Datensätze unterschiedlicher Struktur und Formate einzulesen, zu bearbeiten und zu speichern.
- den Unterschied zwischen identifizierenden und gemessenen Variablen kennen sowie Datensätze ins long- und wide-Format zu konvertieren.
- das System tidy data kennen.
- typische Probleme beim Einlesen von Datensätzen und Strategien zu deren Lösung kennen.

1 Einleitung

2016 stellte eine Studie fest, dass ein Fünftel aller wissenschaftlichen Artikel im Bereich der Genetik auf der Grundlage von durch die Tabellenkalkulation Excel verfälschten Daten durchgeführt wurde (Ziemann, Eren und El-Osta 2016). Genbezeichnungen wie "MARCH1" wurden fälschlicherweise in ein Datumsformat umgewandelt. 2021 wurde diese Schätzung des Anteils betroffener Arbeiten sogar auf 30 Prozent angehoben. (heise online)

Am Beginn der computergestützten Datenanalyse steht das Einlesen von Daten aus Dateien. In der Praxis ist das Einlesen von Daten alles andere als trivial. Daten werden in einer Vielzahl von Dateiformaten gespeichert. Deshalb ist es in der Datenanalyse erforderlich, mit verschiedenen Dateiformaten umgehen zu können: mit wenigen Kilobyte großen Textdateien, offenen und proprietären Formaten gängiger Büroanwendungen und mehreren hundert Megabyte großen Dateien in speziell für den Austausch wissenschaftlicher Daten entwickelten Formaten. Programmiersprachen wie Python und R bringen verschiedene Werkzeuge zum Lesen, Bearbeiten und Speichern von verschiedenen Dateiformaten mit. Spezialisierte Pakete ergänzen den Werkzeugkasten.

Die praktischen Herausforderungen der Datenanalyse beschränken sich jedoch nicht nur auf technische Aspekte. Oftmals bereitet der innere Aufbau von Datensätzen die größten Schwierigkeiten. Ein wichtiger Bestandteil des Einlesens strukturierter Datensätze besteht darin, Fehler im Datensatz zu suchen und ggf. zu bereinigen. Dasu und Johnson schreiben:

"Unfortunately, the data set is usually dirty, composed of many tables, and has unknown properties. Before any results can be produced, the data must be cleaned and explored—often a long and difficult task. [...] In our experience, the tasks of exploratory data mining and data cleaning constitute 80% of the effort that determines 80% of the value of the ultimate data mining results." (Dasu und Johnson (2003), S. ix)

Das Einlesen strukturierter Datensätze umfasst somit den gesamten Prozess des technischen Zugriffs auf Dateien, der Organisation, Fehlersuche und -korrektur sowie des Abspeicherns der Daten in einer für die weitere Bearbeitung geeigneten Form.

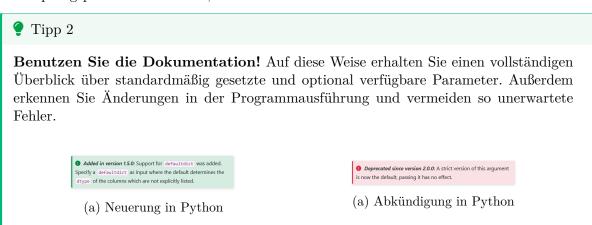
In der praktischen Datenanalyse helfen zwei einfache Tipps beim Einlesen strukturierter Datensätze:

Tipp 1

Schauen Sie sich Ihre Daten an, bevor Sie diese mit Python einlesen! Dafür reicht ein Texteditor oder ein Tabellenkalkulationsprogramm (hier die automatische Erkennung und Umwandlung von Datumsformaten beachten). Ein kurzer Blick genügt, um die verwendeten Zeichentrenner, Tausendertrennzeichen, Datumsformate, die Kodierung fehlender Werte und die Unicode-Kodierung (wie UTF-8) zu identifizieren.

Dies ist aber nicht immer möglich, beispielsweise wenn Ihr Datensatz aus hunderten Spalten und zehntausenden Zeilen besteht. Dieser Baustein vermittelt deshalb die Handwerkszeuge, um Datensätze ausschließlich mit den in Python verfügbaren Mitteln einzulesen.

Es ist nicht erforderlich, die Besonderheiten aller hier vorgestellten Pakete und Funktionen auswendig zu beherrschen. Dafür ist das Themenfeld zu komplex und nicht selten ändert sich das Verhalten von Funktionen mit der Weiterentwicklung der Programmiersprache. Die hier vorgestellten Besonderheiten von Funktionen dienen jedoch als mentale Ankerpunkte, die als Anknüpfungspunkt dienen sollen, wenn Sie in der Praxis auf Probleme stoßen.



2 Grundlagen: Merkmale von Datensätzen

Bevor wir uns mit den praktischen Herausforderungen des Einlesens strukturierter Datensätze beschäftigten, werden zunächst einige Merkmale von Datensätzen behandelt, um ein grundlegendes Verständnis der Begrifflichkeiten zu schaffen und den Umgang der in der Basis von Python enthaltenen Werkzeuge zu vermitteln. Am Ende dieses Kapitels wird mit tidy data ein grundlegendes Konzept zur Organisation von Datensätzen vorgestellt.

Wichtig 1: Datensatz

Ein Datensatz ist eine Sammlung zusammengehöriger Daten. Datensätze enthalten einer oder mehreren Variablen zugeordnete Werte. Jeder Datensatz besitzt ein technisches Format, eine Struktur, mindestens eine Variable und mindestens einen Wert.

2.1 Technisches Format

Das technische Format eines Datensatzes gibt vor, mit welchen Mitteln Daten eingelesen, bearbeitet und gespeichert werden können. Einige Beispiele sind:

- Druckerzeugnis, z. B. Telefonbuch: manuelles Ablesen von Name und Telefonnummer, irreversible Bearbeitung per Stift
- Lochkarte, z. B. Parkschein: Lesegerät erkennt Lochung und gewährt eine Freistunde, irreversible Bearbeitung mit Stanzgerät
- Textdatei, z. B. Einwohnerzahl nach Bundesländern: Kann mit einer Vielzahl von Computerprogrammen wie Texteditor, Tabellenkalkulationsprogramm oder Programmierumgebung eingelesen, bearbeitet und gespeichert werden.
- Hierarchical Data Format HDF5, z. B. räumliche Daten zur Blitzdichte: benötigt spezialisierte Programme oder Pakete

2.2 Struktur

Datensätze speichern Daten in einer definierten n-dimensionalen Struktur.

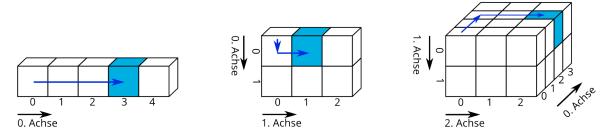


Abbildung 2.1: n-dimensionale Datensätze

slicing von Marc Fehr ist lizensiert unter CC-BY-4.0 und abrufbar auf GitHub. 2024

2.2.1 Eindimensionale Datensätze

Die einfachste Form sind eindimensionale Datensätze, die Werte einer einzigen Variablen zuordnen. Eindimensionale Datensätze mit Werten des gleichen Typs (bspw. Zahlen) werden
Vektor genannt. Eindimensionale Datensätze, die unterschiedliche Datentypen enthalten können, heißen Liste. Eindimensionale Datensätze verfügen lediglich über eine Achse: den Index,
über den Elemente angesprochen werden können.

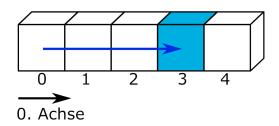


Abbildung 2.2: eindimensionale Datensätze

slicing von Marc Fehr ist lizensiert unter CC-BY-4.0 und abrufbar auf GitHub. Die Grafik wurde auf den gezeigten Teil beschnitten und die obenstehende Beschriftung entfernt. 2024

Beispiele eindimensionaler Datensätze sind ein Einkaufszettel oder die Urliste eines Würfelexperiments. Über den Index kann beispielsweise das Würfelergebnis an der Indexposition 2 ausgegeben werden.

```
print( *( Augen := [6, 2, 1, 2] ) )
print(f"Das Würfelergebnis an Indexposition 2 lautet: {Augen[2]}")
```

6 2 1 2

Das Würfelergebnis an Indexposition 2 lautet: 1

2.2.2 Eindimensionale Daten einlesen mit Python

An dieser Stelle eine kleine Wiederholung aus dem Werkzeugbaustein Python:

Die Pythonbasis greift über Dateiobjekte auf Dateien zu. Die Funktionen und Methoden haben Sie im Querverweis auf w-python kennengelernt. Der Zugriff auf Dateien über die Pythonbasis ist eine verlässliche Rückfalloption und darüber hinaus nützlich, um die Enkodierung einer Datei zu bestimmen.

- Pipp 3: Kleine Wiederholung: Funktionen und Methoden der Pythonbasis
 - Die Funktion os.getcwd() aus dem Modul os gibt das aktuelle Arbeitsverzeichnis aus, mit der Funktion os.cwd(pfad) kann es gewechselt werden.
 - Die Funktion open(dateipfad, mode = 'r') öffnet eine Datei im Lesemodus und gibt ein Dateiobjekt zurück.
 - Informationen zum Dateiobjekt können durch Ausgabe verschiedener Attribute abgerufen werden: dateiobjekt.name, os.path.basename(dateiobjekt.name), dateiobjekt.closed, dateiobjekt.mode, dateiobjekt.encoding
 - Dateiobjekt kann mit Methoden dateiobjekt.read(). dateiobjekt.readline(), dateiobjekt.readlines() oder der Funktion list(dateiobjekt) ausgelesen werden.
 - Die Methode dateiobjekt.close() schließt die Datei und gibt sie somit wieder für andere Programme frei.

Lesen Sie die Datei "python.txt" unter dem dateipfad "skript/01-daten/" ein.

- Bestimmen Sie die Enkodierung der Datei.
- Entfernen Sie die die erste Zeile aus dem Text und geben Sie den Text mit Python aus.
- Wie kann der Text korrekt dargestellt werden?

Tipp 4: Musterlösung python.txt dateipfad = "01-daten/" + "python.txt" dateiobjekt = open(dateipfad, mode = 'r') # Enkodierung der Datei bestimmen print(f"Die Enkodierung der Datei lautet: {dateiobjekt.encoding}") # Text ausgeben text_als_liste = list(dateiobjekt) for i in range(1, len(text_als_liste)): print(text_als_liste[i]) # Datei schließen. dateiobjekt.close() Die Enkodierung der Datei lautet: UTF-8 Python ist eine universell nutzbare, üblicherweise interpretierte, höhere Programmiersprach Python wurde mit dem Ziel größter Einfachheit und Übersichtlichkeit entworfen. Dies wird von Van Rossum legte bei der Entwicklung großen Wert auf eine Standardbibliothek, die überscha Auszug aus https://de.wikipedia.org/wiki/Python_(Programmiersprache), abgerufen am 20.02.20 Enkodierung UTF-8 auswählen.

```
# Mit europäischen Sonderzeichen kompatible Enkodierung UTF-8 wählen
dateiobjekt = open(dateipfad, mode = 'r', encoding = 'utf-8')

# Text ausgeben
text_als_liste = list(dateiobjekt)

for i in range(1, len(text_als_liste)):
    print(text_als_liste[i])

# Datei schließen.
dateiobjekt.close()
```

Python ist eine universell nutzbare, üblicherweise interpretierte, höhere Programmiersprack

Python wurde mit dem Ziel größter Einfachheit und Übersichtlichkeit entworfen. Dies wird von

Van Rossum legte bei der Entwicklung großen Wert auf eine Standardbibliothek, die überscha

Auszug aus https://de.wikipedia.org/wiki/Python_(Programmiersprache), abgerufen am 20.02.20

2.2.3 Zweidimensionale Datensätze

Zweidimensionale Datensätze organisieren Werte in einer aus Zeilen und Spalten bestehenden Matrix oder einem Dataframe. Eine Matrix enthält nur einen Datentyp (bspw. Zahlen), ein Dataframe kann unterschiedliche Datentypen enthalten (bspw. Zahlen und Wahrheitswerte). In Python stellt das Modul Pandas die DataFrame-Struktur bereit. [hier Querverweis auf w-Pandas]

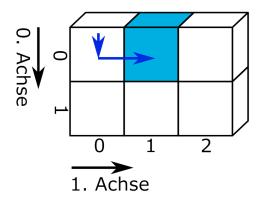


Abbildung 2.3: zweidimensionaler Datensatz

slicing von Marc Fehr ist lizensiert unter CC-BY-4.0 und abrufbar auf GitHub. Die Grafik wurde auf den gezeigten Teil beschnitten und die obenstehende Beschriftung entfernt. 2024

Typischerweise entspricht in zweidimensionalen Datensätzen jede Spalte einer **Variablen** und jede Zeile einer **Beobachtung**. Variablen speichern alle Werte eines Merkmals, zum Beispiel des Würfelergebnisses. Beobachtungen speichern alle Werte, die für eine Beobachtungseinheit gemessen wurden, z. B. für eine Person. (Wickham 2014, S. 3)

```
import pandas as pd
messung1 = pd.DataFrame({'Name': ['Hans', 'Elke', 'Jean', 'Maya'], 'Geburtstag': ['26.02.',
messung1
```

_				
	Name	Geburtstag	Würfelfarbe	Summe Augen
0	Hans	26.02.	rosa	17
1	Elke	14.03.	rosa	12
2	Jean	30.12.	blau	8
3	Maya	07.09.	gelb	23

Über die Angabe der Indizes entlang der 0. (Zeilen) und der 1. Achse (Spalten) kann die Summe der gewürfelten Augen einer Person ausgegeben werden.

```
print(f"Jean würfelte {messung1.iloc[2, 3]} Augen")
```

Jean würfelte 8 Augen

Es ist aber auch möglich, zunächst eine Spalte auszuwählen und dann wie bei einem eindimensionalen Datensatz den Wert an einer Indexposition aufzurufen. Dies wird verkettete Indexierung genannt.

```
print(f"Jean würfelte {messung1['Summe Augen'][2]} Augen")
```

Jean würfelte 8 Augen



A Warning 1: Verkettete Indexierung

Die verkettete Indexierung erzeugt in Pandas abhängig vom Kontext eine Kopie des Objekts oder greift auf den Speicherbereich des Objekts zu. Mit Pandas 3.0 wird die verkettete Indexierung nicht mehr unterstützt, das Anlegen einer Kopie wird zum Standard werden. Weitere Informationen erhalten Sie im zitierten Link.

"Whether a copy or a reference is returned for a setting operation, may depend on the context. This is sometimes called chained assignment and should be avoided. See Returning a View versus Copy."

(Pandas Dokumentation)

2.2.4 long- und wide-Format

Zweidimensionale Datensätze werden zumeist in einer aus Zeilen und Spalten bestehenden Matrix dargestellt. Den zeilenweise eingetragenen Beobachtungen werden Werte für die in den Spalten organisierten Variablen zugeordnet. Diese Art Daten darzustellen, wird wide-Format genannt: Mit jeder zusätzlich gemessenen Variablen wird der Datensatz breiter.

Eine andere Art Daten zu organisieren und über Daten nachzudenken, ist die Darstellung im long-Format. Einige Programme und Pakete erfordern Daten im long-Format oder profitieren zumindest davon beispielsweise bei der Erstellung von Grafiken. Schauen wir uns zunächst noch einmal den Datensatz messung1 im wide-Format an. Welche Beobachtungseinheiten gibt es? Welche Variablen wurden erhoben?

	Name	Geburtstag	Würfelfarbe	Summe Augen
0	Hans	26.02.	rosa	17
1	Elke	14.03.	rosa	12
2	Jean	30.12.	blau	8
3	Maya	07.09.	gelb	23

Vermutlich werden Sie davon ausgehen, dass die Beobachtungseinheiten Hans, Elke, Jean und Maya sind und die Variablen Geburtstag, Würfelfarbe und Summe Augen. Es ist aber auch denkbar, dass die Beobachtungseinheit Person mit 0, 1, 2 und 3 kodiert wurde (dem Zeilenindex des Datensatzes) und die Spalte Name ebenfalls eine der erhobenen Variablen ist. Ebenso könnte es nur zwei Variablen, Würfelfarbe und Summe Augen, geben, während die Spalten Name und Geburtstag die beobachteten Personen kodieren. Stellen Sie sich vor, es gäbe eine zweite Person mit dem Namen Hans. Dann könnten die Würfelergebnisse der Personen mit dem Namen Hans nur über den Geburtstag am 26.02. oder 11.11. korrekt zugeordnet werden.

```
messung1 = pd.DataFrame({'Name': ['Hans', 'Elke', 'Jean', 'Maya', 'Hans'], 'Geburtstag': ['20
messung1
```

	Name	Geburtstag	Würfelfarbe	Summe Augen
0	Hans	26.02.	rosa	12
1	Elke	14.03.	rosa	17
2	Jean	30.12.	blau	8
3	Maya	07.09.	gelb	23
4	Hans	11.11.	rosa	7

Das long-Format macht diese Überlegungen explizit, indem identifizierende Variablen (identification variables, kurz: id vars) und gemessene Variablen (measure variables oder value vars) unterschieden werden. Die Transformation eines Datensatzes aus dem wide-Format ins long-Format wird melting (schmelzen) genannt. Das Modul Pandas bietet die Funktion pd.melt(frame, id_vars = None). Diese erwartet einen DataFrame. Im optionalen Argument id_vars wird angegeben, welche Spalten die identifizierenden Variablen sind.

```
messung1_long = pd.melt(messung1, id_vars = ['Name', 'Geburtstag'])
messung1_long
```

	Name	Geburtstag	variable	value
0	Hans	26.02.	Würfelfarbe	rosa
1	Elke	14.03.	Würfelfarbe	rosa
2	Jean	30.12.	Würfelfarbe	blau
3	Maya	07.09.	Würfelfarbe	gelb
4	Hans	11.11.	Würfelfarbe	rosa
5	Hans	26.02.	Summe Augen	12
6	Elke	14.03.	Summe Augen	17
7	Jean	30.12.	Summe Augen	8
8	Maya	07.09.	Summe Augen	23
9	Hans	11.11.	Summe Augen	7

Im long-Format werden die gemessenen Variablen in der Spalte variable aufgeführt und deren Wert in der Spalte value eingetragen. Mit jeder zusätzlich erhobenen Variablen wird der Datensatz länger.

Wenn Sie die Unterscheidung von identifizierenden und gemessenen Variablen zu Ende denken, kann der Variablenname selbst als eine identifizierende Variable für den Wert in der Spalte value aufgefasst werden. Ein Datensatz kann als eine Struktur verstanden werden, die genau eine gemessene Variable, nämlich value, und eine Anzahl identifizierender Variablen besitzt. Dies kann im long-Format wie folgt dargestellt werden.

```
messung1_all_id = pd.melt(messung1, id_vars = ['Name', 'Geburtstag', 'Würfelfarbe'])
messung1_all_id
```

In dieser Darstellung wird beispielsweise der erste Wert 12 durch Name = Hans, Geburtstag = 26.02., Würfelfarbe = rosa und variable = Summe Augen identifiziert.

	Name	Geburtstag	Würfelfarbe	variable	value
0	Hans	26.02.	rosa	Summe Augen	12
1	Elke	14.03.	rosa	Summe Augen	17
2	Jean	30.12.	blau	Summe Augen	8
3	Maya	07.09.	gelb	Summe Augen	23
4	Hans	11.11.	rosa	Summe Augen	7



Much wow. Such architecture. von Dmitry Kudryavtsev ist verfügbar unter https: //yieldcode.blog/post/bloat-in-software-engineering/. Das Bild wird wahrscheinlich wieder entfernt.

Was passiert, wenn auch die Variable Summe Augen dem Argument id_vars übergeben wird?



? Tipp 5: Antwort

Befehl Der messung1_all_id = pd.melt(messung1, id_vars = ['Name', 'Geburtstag', 'Würfelfarbe', 'Summe Augen']) produziert einen leeren Dataframe, weil keine gemessenen Werte verbleiben.

Auch der umgekehrte Fall ist möglich: Werden beim melting keine id_vars angegeben, werden alle Spalten als gemessene Variablen behandelt.

```
messung1_no_id = pd.melt(messung1)
messung1_no_id
```

	variable	value
0	Name	Hans
1	Name	Elke
2	Name	Jean
3	Name	Maya
4	Name	Hans
5	Geburtstag	26.02.
6	Geburtstag	14.03.
7	Geburtstag	30.12.
8	Geburtstag	07.09.
9	Geburtstag	11.11.
10	Würfelfarbe	rosa
11	Würfelfarbe	rosa
12	Würfelfarbe	blau
13	Würfelfarbe	gelb
14	Würfelfarbe	rosa
15	Summe Augen	12
16	Summe Augen	17
17	Summe Augen	8
18	Summe Augen	23
19	Summe Augen	7

Die Umkehroperation zum melting wird casting (gießen) oder pivoting (schwenken) genannt. Dabei wird ein im long-Format vorliegender Datensatz in das wide-Format konvertiert. Die Pandas Funktion pd.pivot(data, columns, index) nimmt einen melted Data-Frame entgegen und konveriert diesen aus den einzigartigen Werten in columns (= Spaltennamen des Data-Frame im wide-Format) und den einzigartigen Werten in index (= Zeilenindex des Data-Frame im wide-Format). Wird der Funktion keine Spalte für index übergeben, wird der bestehende Index des melted Data-Frame verwendet (der mit 20 Zeilen natürlich viel zu lang ist.) Da das Objekt messung1_no_id keine geeignete Indexspalte besitzt, muss diese vor dem casting erzeugt werden. Dies ist mit der Methode messung1_no_id.groupby('variable').cumcount() möglich, die die Anzahl jeder Ausprägung in der übergebenen Spalte bei 0 beginnend durchzählt. (Ein direktes Ersetzen des Index ist auf diese Weise nicht möglich, da der Index des an pd.pivot(data, columns, index) übergebenen Data-Frames keine Doppelungen enthalten darf.)

```
# pd.pivot() benötigt einen Index oder benutzt den bestehenden Index, des melted_df, der zu :
# Deshalb eine zusätzliche Spalte in messung1_no_id einfügen
## einfach: messung1_no_id['new_index'] = list(range(0, 5)) * 4
## allgemein: messung1_no_id['new_index'] = messung1_no_id.groupby('variable').cumcount()

# Spalte new_index einfügen
messung1_no_id['new_index'] = messung1_no_id.groupby('variable').cumcount()
print (f"Der Datensatz im long-Format mit zusätzlicher Spalte new_index:\n{messung1_no_id}")

# casting
messung1_cast = pd.pivot(messung1_no_id, index = 'new_index', columns = 'variable', values = print(f"\nDer Datensatz im wide-Format:\n{messung1_cast}")
```

Der Datensatz im long-Format mit zusätzlicher Spalte new_index:

	variable	value	new_index
0	Name	Hans	0
1	Name	Elke	1
2	Name	Jean	2
3	Name	Maya	3
4	Name	Hans	4
5	Geburtstag	26.02.	0
6	Geburtstag	14.03.	1
7	Geburtstag	30.12.	2
8	Geburtstag	07.09.	3
9	Geburtstag	11.11.	4
10	Würfelfarbe	rosa	0
11	Würfelfarbe	rosa	1

```
12 Würfelfarbe
                   blau
                                 2
                                 3
13 Würfelfarbe
                   gelb
                                 4
14 Würfelfarbe
                   rosa
15 Summe Augen
                     12
                                 0
16 Summe Augen
                                 1
                     17
17 Summe Augen
                      8
                                 2
18 Summe Augen
                     23
                                 3
19
   Summe Augen
                      7
                                  4
```

Der Datensatz im wide-Format:

variable Geburtstag Name Summe Augen Würfelfarbe new_index 26.02. 12 Hans rosa 1 14.03. Elke 17 rosa 2 30.12. Jean 8 blau 07.09. Maya 3 23 gelb 4 11.11. Hans 7 rosa

Das Ergebnis entspricht noch nicht dem ursprünglichen Datensatz im wide-Format. Um das Ausgangsformat wiederherzustellen, müssen die Spalten in die ursprüngliche Reihenfolge gebracht sowie der Index und dessen Beschriftung zurückgesetzt werden.

```
# Spalten anordnen, Index zurücksetzen
messung1_cast = messung1_cast[['Name', 'Geburtstag', 'Würfelfarbe', 'Summe Augen']]
messung1_cast.reset_index(drop = True, inplace = True)
messung1_cast.rename_axis(None, axis = 1, inplace = True)
print(f"\nDer Datensatz im wide-Format mit zurückgesetztem Index:\n\n{messung1_cast}")
```

Der Datensatz im wide-Format mit zurückgesetztem Index:

Name Geburtstag Würfelfarbe Summe Augen 26.02. 0 Hans 12 rosa 1 Elke 14.03. 17 rosa 30.12. 8 2 Jean blau 3 Maya 07.09. 23 gelb 4 Hans 11.11. 7 rosa

Tipp 6: identifizierende und gemessene Variablen

Auch wenn Sie mit Datensätzen im wide-Format arbeiten, ist die Unterscheidung identifizierender und gemessener Variablen nützlich, um Datensätze zu organisieren. siehe 2.5

2.2.5 Übung zweidimensionale Datensätze

Oben wurde das Objekt messung1_long mit dem Befehl messung1_long = pd.melt(messung1, id_vars = ['Name', 'Geburtstag']) angelegt.

Benutzen Sie die Funktion pd.DataFrame.pivot(), um den Datensatz messung1 wieder ins wide-Format zu transformieren.

	Name	Geburtstag	variable	value
0	Hans	26.02.	Würfelfarbe	rosa
1	Elke	14.03.	Würfelfarbe	rosa
2	Jean	30.12.	Würfelfarbe	blau
3	Maya	07.09.	Würfelfarbe	gelb
4	Hans	11.11.	Würfelfarbe	rosa
5	Hans	26.02.	Summe Augen	12
6	Elke	14.03.	Summe Augen	17
7	Jean	30.12.	Summe Augen	8
8	Maya	07.09.	Summe Augen	23
9	Hans	11.11.	Summe Augen	7

```
# Tipp 7: Musterlösung zweidimensionale Datensätze

# Spalte new_index einfügen
messung1_long['new_index'] = messung1_long.groupby('variable').cumcount()

# casting
messung1_long_cast = pd.pivot(messung1_long, index = 'new_index', columns = 'variable', val'

# Spalten anordnen, Index zurücksetzen
messung1_long_cast = messung1_cast[['Name', 'Geburtstag', 'Würfelfarbe', 'Summe Augen']]
messung1_long_cast.reset_index(drop = True, inplace = True)
messung1_long_cast.rename_axis(None, axis = 1, inplace = True)
messung1_long_cast
```

	Name	Geburtstag	Würfelfarbe	Summe Augen
0	Hans	26.02.	rosa	12
1	Elke	14.03.	rosa	17
2	Jean	30.12.	blau	8
3	Maya	07.09.	gelb	23
4	Hans	11.11.	rosa	7

2.2.6 Drei- und mehrdimensionale Datensätze

Drei- oder mehrdimensionale Datensätze organisieren komplexe Datenstrukturen in sogenannten **Arrays**. Arrays sind n-dimensionale Datenstrukturen und damit zugleich ein Oberbegriff. So ist eine Liste ein eindimensionales Array, eine Matrix ein zweidimensionales Array und eine Excel-Datei mit mehreren Arbeitsblättern für jährlich erhobene Umfragedaten ein 3-dimensionales Array (Arbeitsblätter, Zeilen, Spalten). Abhängig vom verwendeten Modul können Arrays ein oder mehrere Datentypen enthalten.

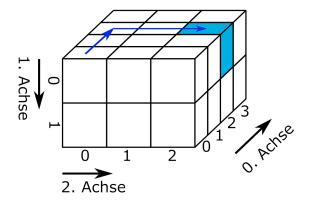


Abbildung 2.4: dreidimensionale Datensätze

slicing von Marc Fehr ist lizensiert unter CC-BY-4.0 und abrufbar auf GitHub. Die Grafik wurde auf den gezeigten Teil beschnitten und die obenstehende Beschriftung entfernt. 2024

Für drei- und mehrdimensionale Datenstrukturen werden häufig spezialisierte Datenformate verwendet, die im Abschnitt Kapitel 7 behandelt werden. Dies hat unter anderem den Grund, dass so leichter verschiedene Datentypen verarbeitet und mit Metadaten (siehe Kapitel 2.4) dokumentiert werden können.

optional: Exkurs JSON https://docs.python.org/3/tutorial/inputoutput.html

Bilddaten einlesen

Digitale Bilder liegen in Form eines dreidimensionalen Datensatzes vor. In Zeilen und Spalten liegen für jeden Pixel Farbwerte (Rot, Grün, Blau) und gegebenenfalls ein Alphawert vor (Rot, Grün, Blau, Alpha). Die Farbwerte liegen entweder im Bereich von 0 bis 1 oder von 0 bis 255 (8-Bit).

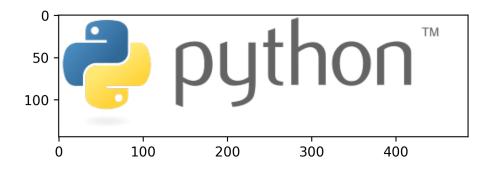
```
# Farbwerte für einen Pixel
[Rotwert, Grünwert, Blauwert]

# Eine Bildzeile mit drei Pixeln
[[Rotwert, Grünwert, Blauwert], [Rotwert, Grünwert, Blauwert], [Rotwert, Grünwert, Blauwert]]

# Ein Bild aus drei Zeilen und Spalten
[[Rotwert, Grünwert, Blauwert], [Rotwert, Grünwert, Blauwert], [Rotwert, Grünwert, Blauwert]]
[[Rotwert, Grünwert, Blauwert], [Rotwert, Grünwert, Blauwert], [Rotwert, Grünwert, Blauwert]]
[[Rotwert, Grünwert, Blauwert], [Rotwert, Grünwert, Blauwert], [Rotwert, Grünwert, Blauwert]]
```

Bilddateien können mit der Funktion plt.imread() aus dem Modul matplotlib.pyplot eingelesen werden.

```
import matplotlib.pyplot as plt
logo = plt.imread(fname = '00-bilder/python-logo-and-wordmark-cc0-tm.png')
plt.imshow(logo)
```



Python Logo von Python Software Foundation steht unter der GPLv3. Die Wort-Bild-Marke ist markenrechtlich geschützt: https://www.python.org/psf/trademarks/. Das Werk ist abrufbar auf wikimedia. 2008

Die Struktur des Datensatzes kann mit dem Attribut .shape abgerufen werden.

```
print(type(logo), "\n")
print(logo.shape)

<class 'numpy.ndarray'>
(144, 486, 4)
```

Die Daten wurden als NumPy.ndarray eingelesen. Das Logo hat 144 Zeilen, 486 Spalten und liegt im RGBA-Farbraum vor. Ein Ausschnitt der Daten sieht so aus:

2.2.7 Übung dreidimensionale Datensätze

Über den Index der dritten Dimension können die Farbkanäle Rot, Grün und Blau ausgewählt und mit der Funktion plt.imshow(cmap = 'Greys_r') einzeln dargestellt werden. Das Argument cmap = 'Greys_r' weist die Funktion an, die invertierte Grauskala benutzen. Dadurch werden hohe Farbwerte hell und niedrige Farbwerte dunkel dargestellt. Stellen Sie die Farbkanäle Rot, Grün und Blau des Pythonlogos einzeln mit der Funktion plt.imshow(cmap = 'Greys_r') dar.

? Tipp 9: Musterlösung dreidimensionale Datensätze

```
kanal = ["Rotkanal", "Grünkanal", "Blaukanal"]

plt.figure(figsize = (9, 6))

for i in range(3):

  plt.subplot(1, 4, i + 1)
  plt.imshow(logo[:,:,i], cmap = 'Greys_r')
  plt.title(label = kanal[i])

plt.colorbar(shrink = 0.15)

plt.tight_layout()
plt.show()
```



Abbildung 2.5: Farbkanäle des Pythonlogos

Möglicherweise wundern Sie sich, warum der Bildhintergrund in jedem Farbkanal schwarz ist. Die Ursache finden Sie im nächsten Tipp.

```
💡 Tipp 9: Erklärung Bildhintergrund
Der Bildhintergrund hat in allen Kanälen, auch im Alphakanal, den Farbwert 0.
Dieser Teil des Bildes ist deshalb vollständig transparent und wird vom Hintergrund
der Internetseite ausgefüllt. Der Bildhintergrund des Logos wirkt deshalb weiß.
# Alphakanal
plt.imshow(logo[ :, :, 3], cmap = 'Greys_r')
plt.title(label = 'Alphakanal')
plt.colorbar(shrink = 0.4)
plt.show()
# Die ersten zwei Zeilen und Spalten des Logos
print(logo[0:2, 0:2, : ])
                              Alphakanal
         50
       100
            0
                    100
                              200
                                        300
                                                  400
                 Abbildung 2.6: Alphakanal des Pythonlogos
[[[0. 0. 0. 0.]
  [0. 0. 0. 0.]]
 [[0. 0. 0. 0.]
  [0. 0. 0. 0.]]]
```

2.3 Datentyp

Der Datentyp gibt an, wie die in einem Datensatz einhaltenen Werte von Python interpretiert werden sollen. Beispielsweise kann der Wert "1" ein Zeichen, eine Ganzzahl, einen Wahrheitswert, den Monat Januar oder die Ausprägung einer kategorialen Variablen repräsentieren.

Python unterstützt als vielseitig einsetzbare Programmiersprache zahlreiche Datentypen, die den Kategorien: numerics, sequences, mappings, classes, instances and exceptions zugeordnet sind. Nähere Informationen dazu finden Sie in der Dokumentation.

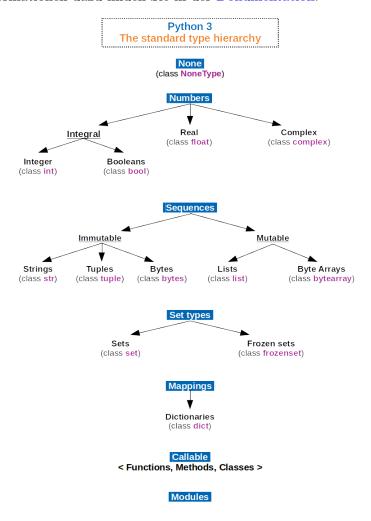


Abbildung 2.7: Datentypen in Python

Python 3. The standard type hierarchy. von abrufbar auf wikimedia. 2018

ist lizensiert unter CC BY SA 4.0 und

Durch Module werden weitere Datentypen hinzugefügt. In der Datenanalyse häufig verwendete Datentypen sind:

• Zahlen: Ganzzahl, Fließkommazahlen

- Wahrheitswerte
- Zeichenketten
- Datums- und Uhrzeitangaben
- Kategorie (aus dem Modul Pandas)

Der Datentyp bestimmt zum einen den zulässigen Wertebereich einer Variablen. Beispielsweise sind 0 und 13 zulässige Ganzzahlen, aber keine gültigen Kodierungen des Monats. Zum anderen definiert der Datentyp, welche Operationen mit den Werten zulässig sind und wie diese von Python ausgeführt werden. Dies betrifft Operatoren und Funktionen. Python enthält Funktionen, um den Datentyp eines Werts zu bestimmen und ggf. umzuwandeln (siehe w-Python).

```
Hinweis 1: Datentypabhängige Operationen und Funktionen
# Der Operator + bewirkt die Addition von Zahlen
print(1 + 13)
# Der Operator + bewirkt auch das Verketten von strings
print(str(1) + str(13))
14
113
Die Sortierfunktion arbeitet abhängig vom Datentyp.
# Liste von Monatskürzeln erstellen
dates = pd.Series([ '07.06.2000', '12.01.2000', '11.02.2000', '04.09.2000', '10.03.2000',
dates = pd.to_datetime(dates, format = '%d.%m.%Y');
print(f"Eine unsortierte Liste von Monatskürzeln:\n{list(dates.dt.strftime('|%b'))}")
print(f"\nDie Liste alphabetisch sortiert:\n{sorted(list(dates.dt.strftime('|%b')))}")
print(f"\nDie Liste als datetime-Objekt sortiert:\n{list(dates.sort values().dt.strftime(')
Eine unsortierte Liste von Monatskürzeln:
['Jun', 'Jan', 'Feb', 'Sep', 'Mar', 'Oct', 'Apr', 'May', 'Jul', 'Aug', 'Nov', 'Dec']
Die Liste alphabetisch sortiert:
['Apr', 'Aug', 'Dec', 'Feb', 'Jan', 'Jul', 'Jun', 'Mar', 'May', 'Nov', 'Oct', 'Sep']
```

```
Die Liste als datetime-Objekt sortiert:
['Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Aug', 'Sep', 'Oct', 'Nov', 'Dec']
```

Tipp 10: Datentyp kontollieren und plausibilisieren

Beim Einlesen von Datensätzen ist es wichtig, die korrekte Erkennung der Datentypen zu kontrollieren bzw. aktiv zu steuern. Weitere Methoden für die formale Prüfung des Datentyps und für die Kontrolle des Wertebereichs werden in Kapitel 3 vorgestellt.

2.3.1 Fehlende Werte

Ein besonderer Datentyp ist der zur Repräsentation fehlender Werte. In Python wird zwischen nicht existenten und nicht definierten Werten unterschieden.

Nullwert None

Der sogenannte Nullwert in Python ist None, das zu den definierten Schlüsselwörtern in Python gehört.

```
print(type(None))
```

```
<class 'NoneType'>
```

None repräsentiert nicht existente Werte und Objekte. Leere (aber existente) Objekte gehören nicht zum Datentyp None.

```
leere_liste = []
leere_liste == None
```

False

None kann Funktionen als Argument übergeben oder von diesen als Rückgabewert ausgegeben werden. Operationen sind mit None jedoch nicht möglich.

```
# Operationen mit None führen zu Fehlermeldungen
try:
   print(None + 1)
except TypeError as error:
   print("Der übergebene Wert führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
   print(None + 1)
```

```
Der übergebene Wert führt zu der Fehlermeldung:
unsupported operand type(s) for +: 'NoneType' and 'int'
```

Eine Ausnahme ist die Umwandlung in eine Zeichenkette.

```
# Eine Ausnahme ist die Umwandlung in strings
a = None
print("\nprint(a) gibt den Nullwert zurück:\n", a, sep = "")
print("\nstr(a) gibt eine Zeichenkette zurück:")
str(a)
```

```
print(a) gibt den Nullwert zurück:
None
str(a) gibt eine Zeichenkette zurück:
'None'
```

NaN

Um mit fehlenden Werten innerhalb eines Datensatzes arbeiten zu können, gibt es den Wert NaN, der zur Klasse der Fließkommazahlen gehört. NaN steht für Not a Number und repräsentiert undefinierte oder nicht darstellbare Werte. Beispielsweise berechnet die Methode pd.diff() die Differenz jedes Werts zu seinem Vorgänger. Da der erste Wert keinen Vorgänger hat, wird NaN erzeugt.

```
my_series = pd.Series([1, 2, 4, 8])
my_series.diff()
```

```
0 NaN
1 1.0
2 2.0
3 4.0
dtype: float64
```

Anders als None ist NaN kein Standardschlüsselwort in Python. Der Wert NaN wird erzeugt mit float('nan') oder float('NaN'), die Groß- und Kleinschreibung spielt keine Rolle. NaN hat also den Datentyp Fließkommazahl. Die Module math und NumPy bieten mit math.nan und np.nan ebenfalls Funktionen, um NaN zu erzeugen.

```
print(type(float('NaN')))
```

```
<class 'float'>
```

Mit dem Wert 'NaN' können Operationen ausgeführt werden. Das Ergebnis ist immer NaN.

```
print(float('NaN') + 1)
```

nan

Einige Funktionen können mit NaN als Platzhalter für fehlende Werte umgehen.

```
# Python-Basis
print("sum():", sum([1, 2, float('NaN'), 4]), "\n")
print("max():", max([1, 2, float('NaN'), 4]), "\n")
print("any():", any([1, 2, float('NaN'), 4]), "\n")

# Pandas
daten_mit_nan = pd.Series([1, 2, float('NaN'), 4])
print(daten_mit_nan + 1)
print("\nSumme des Datensates:", daten_mit_nan.sum())
```

```
sum(): nan
max(): 4
any(): True
0 2.0
```

1 3.0 2 NaN 3 5.0

dtype: float64

Summe des Datensates: 7.0

A Warning 2: Achtung Logik!

Die logische Abfrage fehlender Werte unterscheidet sich für None und NaN.

```
bool_values = [None, float('NaN')]
for element in bool_values:
  bool_value = bool(element)
  print("Wahrheitswert von", element, "ist", bool_value)
```

Wahrheitswert von None ist False Wahrheitswert von nan ist True

Dies gilt auch für die Wertgleichheit.

```
for element in bool_values:
  result = element == element
  print("Wertgleichheit von", element, "ist", result)
```

Wertgleichheit von None ist True Wertgleichheit von nan ist False

2.3.2 Fehlende Werte in der Praxis

None und NaN sind pythonspezifische Repräsentationen für nicht existente oder nicht definierte Werte. In der Praxis werden fehlende Werte in Datensätzen auf unterschiedliche Weise gekennzeichnet.

In Datensätzen übliche Werte sind:

- kein Eintrag, beispielsweise in kommaseparierten Dateien eine leere Zeichenkette ""
- definierte Zeichenfolge: NA in der Programmiersprache R, NULL in der Datenbanksprache SQL, . in der Statistik-Software Stata

• (mehrere) manuell gewählte Zeichen oder Ziffern außerhalb des zulässigen Wertebereichs wie -1, -88, -99 (häufig bei Umfragedaten)

Die Art der Kennzeichnung ist jeweils mit Vor- und Nachteilen verbunden. Eine definierte Zeichenfolge für fehlende Werte hilft dabei, Lücken im Datensatz von Fehlern bei der Datenerfassung zu unterscheiden. Dazu ist eine definierte Zeichenfolge wie "NA" besser als eine leere Zeichenkette geeignet. Manuell gewählte Werte erlauben es, bei der automatischen Auswertung eines Datensatzes abhängig von der Situation ein bestimmtes Verhalten für jede Variable festzulegen (z. B. Unterscheidung von nicht zutreffend, Aussage verweigert, weiß nicht, Interview abgebrochen keine Antwort).

Tipp 11: fehlende Werte

Die Identifizierung und ggf. Bereinigung fehlender Werte ist ein wichtiger Schritt beim Einlesen strukturierter Datensätze. Dabei hilft es, die gängigen Kennzeichnungen für fehlende Werte zu kennen und sich über die Konventionen des jeweiligen Dateiformats bzw. der jeweiligen Disziplin zu informieren. Dennoch ist manchmal ein gewisser Spürsinn unerlässlich. Geeignete Funktionen zur Identifizierung fehlender Werte werden in Kapitel 3 vorgestellt.

2.4 Metadaten

Metadaten sind beschreibende Informationen eines Datensatzes. Metadaten geben beispielsweise an:

- welche Datentypen ein Datensatz enthält,
- verwendete Kodierschemen, Skalen oder mimimal und maximal zulässige Werte,
- die Bedingungen, unter denen die Daten erhoben wurden,
- Herkunft der Daten,
- Beziehungen zwischen Variablen und Datensätzen,
- urheberrechtliche Informationen und Lizenzhinweise.

(vgl. The HDF Group Help Desk)

Spezialisierte Dateiformate wie netCDF oder HDF deklarieren Metadaten explizit in dafür vorgesehenen Feldern. Vielen Dateiformaten fehlt eine solche Funktion. Relevante Metadaten stehen deshalb häufig im Dateinamen, in Spaltenbeschriftungen, in zusätzlichen Tabellenblättern oder in separaten Dokumenten (die nicht immer zur Verfügung stehen).

Im Aufklapper ergänzen: Querverweis auf w-rechtliche Grundlagen Datenmanagement



Tipp 12: Metadaten

Insbesondere vor dem Einlesen komplexer Datensätze sollten Begleitmaterialien, sofern vorhanden, studiert werden.

Hier Querverweis auf w-rechtliche Grundlagen Datenmanagement

2.5 Tidy data

Datensätze werden mit verschiedenen Zielstellungen angelegt, etwa dass eine bequeme Dateneingabe möglich ist. Dies führt aber häufig dazu, dass Datensätze für die skriptbasierte Datenanalyse zunächst aufwändig aufgeräumt werden müssen.

"Tidy datasets are all alike, but every messy dataset is messy in its own way." (Wickham, Çetinkaya-Rundel und Grolemund 2023, Kapitel 5 Data tidying)

Tidy data ist ein System von Hadley Wickham, das dabei hilft, Datensätze in ein aufgeräumtes (tidy) Format zu bringen. Das Aufräumen von Datensätzen ist eine vorbereitende Tätigkeit mit dem Ziel, während der eigentlichen Datenanlyse möglichst wenig Zeit für das Umformen von Datenstrukturen aufwenden zu müssen. Dadurch soll ein größerer Fokus auf den inhaltlichen Aspekt der Datenanalyse ermöglicht werden. (Wickham, Cetinkaya-Rundel und Grolemund 2023, Kapitel 5 Data tidying)

Wichtig 2: tidy data

"Das System tidy data besteht aus drei Regeln:

- 1. Jede Variable ist eine Spalte; jede Spalte ist eine Variabe.
- 2. Jede Beobachtung ist eine Zeile; jede Zeile ist eine Beobachtung.
- 3. Jeder Wert ist eine Zelle; jede Zelle ist ein einzelner Wert." (Wickham, Çetinkaya-Rundel und Grolemund 2023, Kapitel 5 Data tidying, eigene Übersetzung)

Tidy data bezieht sich auf zweidimensionale Datensätze, bietet aber auch darüber hinaus eine Orientierung, um unterschiedlich aufgebaute Datensätze strukturiert einzulesen und für die Datenanalyse vorzubereiten. Tidy data ist kein strikt zu befolgendes Regelwerk. Es ist völlig in Ordnung, eine andere Struktur zu wählen, wenn die Datenanalyse damit leichter durchgeführt werden kann.

3 Die Module NumPy und Pandas

Die Module NumPy und Pandas erlauben ein effizientes Arbeiten mit Datensätzen. Insbesondere das Lesen- und Schreiben von Dateien und die Verwaltung von Datentypen ist erheblich einfacher als mit der Python-Basis. Außerdem sind die vektorisierten Operationen vielfach schneller als Operationen mit Python. Das Modul Pandas basiert auf NumPy. In den folgenden Abschnitten werden beide Module behandelt.

Eine kurze Übersicht der Vor- und Nachteile:

• NumPy: n-dimensionale Array-Struktur mit Unterstützung der am häufigsten verwendeten Datentypen sowie zahlreicher numerischer Formate für spezialisierte wissenschaftliche Berechnungen (siehe Dokumentation). Ein Array kann immer nur einen Datentyp haben und die Größe von Arrays ist unveränderlich. Dafür werden Operationen etwas schneller als in der DataFrame-Struktur von Pandas ausgeführt.

Querverweis auf w-NumPy

- Spaltennamen sind mit einem strukturierten dtype möglich (siehe Dokumentation)
- Pandas: 2-dimensionale DataFrame-Struktur im long- und wide-Format. DataFrames können mehrere Datentypen enthalten und die Größe von DataFrames ist veränderlich. Unterstützung von alphanummerischen Spalten- und Indexbeschriftungen. Direktes Abrufen von Dateien aus dem Internet möglich.

Querverweis auf w-Pandas

 dreidimensionale DataFrames sind mit einem Multiindex möglich -> das widerspricht aber dem Konzept von Tidy Data

Für beide Module haben sich diese Kürzel etabliert:

```
import numpy as np
import pandas as pd

# Deklarieren der Anzahl der Nachkommastellen
pd.set_option("display.precision", 2)
```

Tipp 13: Arbeiten mit NumPy und Pandas

Ob Sie mit NumPy oder mit Pandas arbeiten, hängt von dem vorliegenden Datensatz und persönlichen Präferenzen ab.

Das Paket Pandas erlaubt es, Daten aus verschiedenen Quellen wie CSV-Dateien oder Excel-Tabellen und mit unterschiedlichen Datentypen in einen DataFrame zu laden. Anschließend können diese mit wenigen Befehlen untersucht und umstrukturiert werden. Komplexe Operationen wie das Umformen von Datensätzen, das Gruppieren und Aggregieren von Daten sowie das Filtern und Sortieren sind effizient möglich.

Bis auf wenige Ausnahmen sind Pandas und NumPy zueinander kompatibel. Es spricht nichts dagegen, Ihre Daten mit Pandas vorzubereiten und anschließend mit NumPy auszuwerten.

3.1 Datentypen

NumPy unterstützt folgende Datentypen:

Datentyp NumPy-Array	Datentyp in Python
int_	int
double	float
cdouble	complex
bytes_	bytes
str_{-}	str
bool_	bool
datetime64	datetime.datetime
timedelta 64	${\it date time. time delta}$

Dokumentation NumPy

In den meisten Fällen verwendet das Modul Pandas die NumPy-Datentypen. Pandas führt aber auch einige zusätzliche Datentypen ein. Eine vollständige Liste finden Sie in der Pandas Dokumentation. Die wichtigsten zusätzlichen Datentypen sind:

- Kategorie dtype = 'category'
- Zeitzonenbewusstes Datumsformat dtype = 'datetime64[ns, US/Eastern]'

3.2 Dateien lesen und schreiben

In den Werkzeugbausteinen NumPy und Pandas haben Sie die Funktionen zum Lesen und Schreiben von Dateien kennengelernt.

3.3 NumPy

In NumPy können Dateien mit der Funktion np.loadtxt() gelesen und mit der Funktion np.savetxt() geschrieben werden.

- np.loadtxt(fname = data.txt, delimiter = ";", skiprows= #Reihen)
- np.savetxt(fname = dateipfad, X = daten, header = kommentar, fmt='%5.2f')

3.4 Pandas

In Pandas werden Dateien mit einer Reihe spezialisierter Funktionen gelesen und geschrieben, die einem einheitlichen Schema folgen. Funktionen zum Lesen von Dateien werden in der Form pd.read_csv und Funktionen zum Schreiben in der Form pd.to_csv aufgerufen. Mit Pandas können auch Dateien aus dem Internet abgerufen werden pd.read_csv(URL).

Format Type	Data Description	Reader	Writer
text	CSV	read_csv	to_csv
text	Fixed-Width Text File	$read_fwf$	NA
text	JSON	$read_json$	to_json
text	HTML	$read_html$	to_html
text	LaTeX	Styler.to_latex	NA
text	XML	$read_xml$	to_xml
text	Local clipboard	read_clipboard	to_clipboard
binary	MS Excel	$read_excel$	to_excel
binary	OpenDocument	$read_excel$	NA
binary	HDF5 Format	$read_hdf$	to_hdf
binary	Feather Format	$read_feather$	$to_feather$
binary	Parquet Format	$read_parquet$	to_parquet
binary	ORC Format	${\rm read_orc}$	to_orc
binary	Stata	$read_stata$	to_stata
binary	SAS	$read_sas$	NA
binary	SPSS	$read_spss$	NA
binary	Python Pickle Format	read_pickle	to_pickle

SQL	SQL	$read_sql$	to_sql
----------------------	----------------------	-------------	-----------

(Pandas Dokumentation)

3.5 Datentypen erkennen und festlegen

Der Datentyp bestimmt, wie bereits ausgeführt, den zulässigen Wertebereich einer Variablen, zulässige Operationen und die Ausführung von Operatoren und Funktionen in Python. Die Module NumPy und Pandas bieten eine Reihe von Funktionen, um den Datentyp von Variablen zu kontrollieren und festzulegen.

Hinweis: Der Datentyp datetime wird in Kapitel 4 behandelt.

3.5.1 NumPy

Mit NumPy kann der Datentyp eines Arrays beim Einlesen einer Datei mit dem Argument dtype festgelegt werden np.loadtxt(fname = data.txt, dtype = 'float'). Das Argument dtype akzeptiert die Angabe eines Datentyps, Schlüsselwörter oder Kürzel. Weiter Informationen erhalten Sie in der NumPy Dokumentation.

Datentyp	Schlüsselwort	Kürzel	dtype
Fließkommazahl	float	f8	float64
Ganzzahl	int	i	int32
Wahrheitswert	bool	?	bool
Datum	datetime64	M	datetime64
Zeichenkette	str	U	$\mathrm{U}+\mathrm{Ziffer}\;\mathrm{zur}\;\mathrm{Angabe}\;\mathrm{der}\;\mathrm{ben\"{o}tigten}\;\mathrm{Bytes}$

Der Datentyp eines Arrays kann mit dem Attribut np.dtype bestimmt werden. Der Datentyp eines Objekts kann mit der Methode np.array = np.array.astype() geändert werden.

Folgende Datei ist Ihnen aus dem w-NumPy bekannt.

```
dateipfad = '01-daten/TC01.csv'
daten = np.loadtxt(dateipfad)
```

Prüfen Sie den dtype der Datei und legen Sie eine Kopie des Objekts mit Datentyp Ganzzahl an. Wie kann überprüft werden, ob bei der Umwandlung in Ganzzahlen Nachkommastellen abgeschnitten wurden?

```
    Tipp 14: Musterlösung Datentypumwandlung

# Ausgabe des Datentyps
print(daten.dtype)

# Umwandlung in Ganzzahl
daten_int = daten.astype('int')

# Prüfen auf Datenverlust
prüfsumme = daten - daten_int
print(f"Differenz daten - daten_int: {prüfsumme.sum()}")

float64
Differenz daten - daten_int: 664.0
```

3.5.2 Pandas

Das Modul Pandas ist auf den Umgang mit unterschiedlichen Datentypen spezialisiert. Den Funktionen zum Einlesen von Daten kann mit dem Argument dtype der Datentyp übergeben werden. Für mehrere Spalten ist dies in Form eines Dictionaries in der Form {'Spaltenname': 'dtype'} möglich.

Das Atrribut zur Ausgabe des Datentyps heißt passenderweise pd.DataFrame.dtypes (angefügtes s beachten). Der Datentyp eines Pandas-Datenobjekts kann analog zu NumPy mit pd.Series = pd.Series.astype() geändert werden.

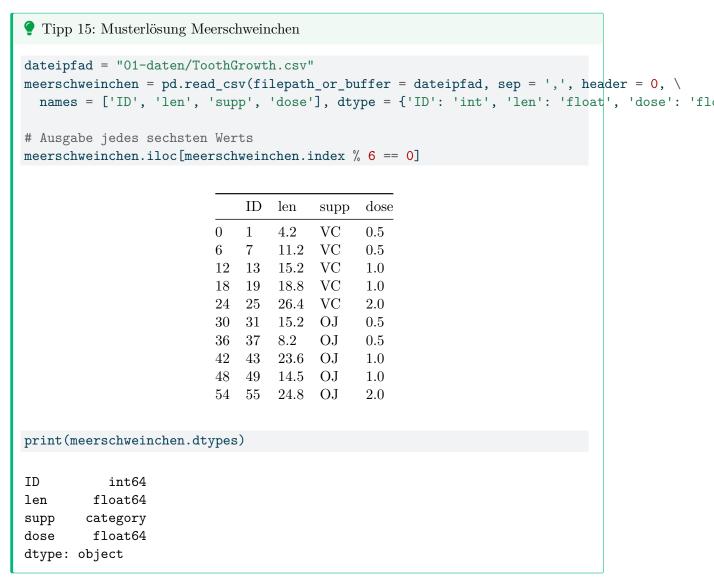
Zahnwachstum bei Meerschweinchen

In einer Gruppe von 60 Meerschweinchen (1. Spalte ohne Beschriftung) wurde die Länge der zahnbildenden Zellen (Odontoblasten) in Micron gemessen (len). Den Tieren wurde zuvor Vitamin C in Form von Ascorbinsäure (VC) oder Orangensaft (VC) verabreicht (supp). Die Meerschweinchen erhielten Dosen von 0.5, 1 oder 2 Milligramm Vitamin C pro Tag (dose). Die Messdaten sind in der Datei ToothGrowth.csv gespeichert (Crampton 1947.)

Crampton, E. W. 1947. "THE GROWTH OF THE ODONTOBLASTS OF THE INCISOR TOOTH AS A CRITERION OF THE VITAMIN C INTAKE OF THE GUINEA PIG". The Journal of Nutrition 33 (5): 491-504. https://doi.org/10.1093/jn/33.5.491

Lesen Sie die Datei wie folgt ein:

- Die Spaltenbeschriftung der 1. Spalte soll mit der Beschriftung 'ID' ersetzt werden (ohne Anführungszeichen).
- Die Spalten len und dose sollen mit geeigneten numerischen Datentypen, die Spalte supp als Kategorie eingelesen werden.



Nützliche Funktionen für die deskriptive Datenanalyse

Pandas bietet einige praktische Funktionen, um den Aufbau eines Datensatzes zu beschreiben.

Das Attribut .columns gibt die Spaltenbeschriftungen als Liste zurück. Ebenfalls ist darüber ein Schreibzugriff möglich.

```
print(meerschweinchen.columns)
meerschweinchen.columns = ['ID', 'Länge', 'Verabreichung', 'Dosis']
print(meerschweinchen.columns)
```

```
Index(['ID', 'len', 'supp', 'dose'], dtype='object')
Index(['ID', 'Länge', 'Verabreichung', 'Dosis'], dtype='object')
```

Die Methode pd.DataFrame.describe() erzeugt eine beschreibende Statistik für einen Data-Frame. Standardmäßig werden alle numerischen Spalten berücksichtigt. Mit dem Argument include können die zu berücksichtigenden Spalten vorgegeben werden. include = all berücksichtigt alle Spalten, was nicht unbedingt sinnvoll ist. Alternativ kann eine Liste zu berücksichtigender Datentypen übergeben werden. Das Argument exclude schließt auf die gleiche Weise Datentypen von der Ausgabe aus.

```
print(meerschweinchen.describe(), "\n")
print(meerschweinchen.describe(include = 'all'), "\n")
print(meerschweinchen.describe(include = ['float']), "\n")
```

	ID	Länge	Dosis
count	60.00	60.00	60.00
mean	30.50	18.81	1.17
std	17.46	7.65	0.63
min	1.00	4.20	0.50
25%	15.75	13.07	0.50
50%	30.50	19.25	1.00
75%	45.25	25.27	2.00
max	60.00	33.90	2.00

	ID	Länge	Verabreichung	Dosis
count	60.00	60.00	60	60.00
unique	NaN	NaN	2	NaN
top	NaN	NaN	OJ	NaN
freq	NaN	NaN	30	NaN
mean	30.50	18.81	NaN	1.17
std	17.46	7.65	NaN	0.63
min	1.00	4.20	NaN	0.50

```
25%
        15.75 13.07
                                 NaN
                                       0.50
50%
        30.50 19.25
                                       1.00
                                 NaN
75%
        45.25 25.27
                                       2.00
                                 {\tt NaN}
        60.00 33.90
                                 {\tt NaN}
                                       2.00
max
       Länge
              Dosis
count
       60.00
               60.00
mean
       18.81
               1.17
std
        7.65
               0.63
        4.20
               0.50
min
25%
       13.07
               0.50
50%
       19.25
               1.00
75%
       25.27
                2.00
       33.90
                2.00
max
```

Die Methode pd.DataFrame.count() zählt alle vorhandenen Werte in jeder Spalte oder mit pd.DataFrame.count(axis = 'columns') in jeder Zeile.

meerschweinchen.count(axis = 'rows') # der Standardwert von axis ist 'rows'

ID 60 Länge 60 Verabreichung 60 Dosis 60

dtype: int64

Die Methode pd.DataFrame.info() erzeugt eine Beschreibung des Datensatzes.

meerschweinchen.info()

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 60 entries, 0 to 59
Data columns (total 4 columns):

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	ID	60 non-null	int64
1	Länge	60 non-null	float64
2	Verabreichung	60 non-null	category
3	Dosis	60 non-null	float64
		(-)	

dtypes: category(1), float64(2), int64(1)

memory usage: 1.7 KB

Die Methode pd.unique() listet alle einzigartigen Werte auf.

```
meerschweinchen['Dosis'].unique()
```

array([0.5, 1., 2.])



? Tipp 16: Nützliche Funktionen

Pandas bietet einige praktische Funktionen, um eine eingelesene Datei zu kontrollieren. Machen Sie sich die Verwendung von pd.dtypes oder pd.DataFrame.info() zur Angewohnheit.

3.5.3 Aufgabe Datentypen

Das britische Energieministerium veröffentlicht Daten zu den Industriestrompreisen in den Mitgliedsändern der Internationalen Energieagentur.

Lesen Sie Tabellenblatt "5.3.1 (excl. taxes)" aus der Excel-Datei 'skript/01daten/table_531.xlsx' mit Pandas ein. Schauen Sie in der Dokumentation der Funktion pd.read_excel nach, wie Sie das korrekte Tabellenblatt auswählen können. Stellen Sie sicher, dass alle Spalten mit einem numerischen Datentyp eingelesen werden.

Department for Energy Security & Net Zero. 2024. Energy Prices International Comparisons. Industrial electricity prices in the IEA. https://www.gov.uk/government/uploads/system/ uploads/attachment data/file/670121/table 531.xls

Tipp 17: Musterlösung 5.3.1 (excl. taxes)

Überspringen der führenden Zeilen mit dem Argument header = 8. Auswahl des Tabellenblatts mit sheet name = "5.3.1 (excl. taxes)" und Kontrolle der erkannten Datentypen mit taxes.dtypes

```
dateipfad = '01-daten/table_531.xlsx'
taxes = pd.read_excel(io = dateipfad, sheet_name = "5.3.1 (excl. taxes)", \
  header = 8)
taxes.dtypes
```

Year int64 float64 Austria

Belgium	float64
Denmark	float64
Finland	float64
France	float64
Germany	float64
Greece	float64
Ireland	float64
Italy	float64
Luxembourg	float64
Netherlands	float64
Portugal	float64
Spain	float64
Sweden	float64
United Kingdom	float64
Australia	float64
Canada	float64
Czech Republic	float64
Hungary	float64
Japan	float64
Korea	float64
New Zealand	float64
Norway	float64
Poland	float64
Slovakia	float64
Switzerland	float64
Republic of Türkiye	object
USA	float64
IEA median	float64
UK relative to IEA median%	float64
UK relative to IEA rank	int64
UK relative to G7 rank	int64
dtype: object	

Werte in Spalte 'Republic of Türkiye' mit pd.unique() ansehen.

taxes['Republic of Türkiye'].unique()

```
array(['...', 2.0436081749999997, 3.3248584439999993, 3.2947581129644483, 3.5628243387317866, 3.998334312, 3.838962582401693, 4.2138469457789975, 3.775503630575527, 3.2804905218375238, 3.783413840344277, 4.139259596071514, 4.196890742949158, 4.658509330911754, 5.552842625063031, 4.316920402166109,
```

```
4.1586205264300675, 4.765321921741988, 4.060617948410105, 3.9191433658651307, 4.223710389549368, 4.481407237836746, 4.629981488840797, 5.2657882806931235, 5.109009847145703, 4.585007793872617, 4.769921255774284, 4.419433670846949, 4.428906151745361, 6.171573537217762, 7.192920543071899, 7.962417550086158, 7.035941949054445, 7.622058781522502, 7.644892388451444, 6.47006818181818, 5.968380462724936, 6.379514692256784, 5.537541821623266, 5.248709303933227, 6.9100519994521274, 6.670900808798327, 5.864171132090749, 13.928251887312259, 11.123594768114717], dtype=object)
```

Zeichenkette '..' entfernen und Datentyp mit Methode pd.astype('float64') ändern.

- Variante 1: als fehlenden Wert beim Einlesen deklarieren.
- Variante 2: Nach dem Einlesen Indexposition bestimmen und Wert ersetzen. Das verkettete Slicing df ["col"] [row_indexer] = value wird mit der Pandas Version 3.0 nicht mehr unterstützt und gibt deshalb eine Fehlermeldung aus. Künftig ist folgende Syntax zu verwenden: df.loc[row_indexer, "col"] = value.

```
# Variante 1: '..' als fehlenden Wert deklarieren
# taxes = pd.read_excel(io = dateipfad, sheet_name = "5.3.1 (excl. taxes)", \
# header = 8, na values = ['..'])
# Variante 2: Index des Werts bestimmen und mit np.nan überschreiben
indexposition = taxes['Republic of Türkiye'] == '..'
taxes.loc[indexposition, 'Republic of Türkiye'] = np.nan
taxes['Republic of Türkiye'] = taxes['Republic of Türkiye'].astype('float64')
taxes.dtypes
Year
                                int64
Austria
                              float64
Belgium
                              float64
Denmark
                              float64
Finland
                              float64
France
                              float64
Germany
                              float64
Greece
                              float64
Ireland
                              float64
Italy
                              float64
```

Luxembourg float64 Netherlands float64 Portugal float64 Spain float64 Sweden float64 United Kingdom float64 Australia float64 Canada float64 Czech Republic float64 float64 Hungary Japan float64 Korea float64 New Zealand float64 Norway float64 Poland float64 Slovakia float64 Switzerland float64 Republic of Türkiye float64 USA float64 IEA median float64 UK relative to IEA median% float64 UK relative to IEA rank int64 UK relative to G7 rank int64 dtype: object

3.6 Umgang mit fehlenden Werten

Eine unerwartet als string oder object eingelesene Spalte weist häufig auf fehlende Werte hin, die durch Sonderzeichen gekennzeichnet sind. Die Module NumPy und Pandas bieten Funktionen, um fehlende Werte bereits beim Einlesen zu erkennen und umzuwandeln.

Hinweis: Maskierte NumPy-Arrays werden in Kapitel 6 behandelt.

3.6.1 NumPy

Die NumPy-Funktion np.loadtxt() wird verwendet, um vollständige Datensätze einzulesen. Fehlende Werte im Datensatz können problematisch sein, da diese entweder zu Fehlermeldungen bezüglich des Datentyps führen oder übersprungen werden, sodass das NumPy-Array kürzer als der eingelesene Datensatz ist. Da NumPy-Arrays immer nur einen Datentyp und

eine feste Länge haben, kann das bei der Durchführung von Operationen mit mehreren Arrays zu Fehlern führen.

Folgende Datei ist Ihnen aus dem w-NumPy bekannt.

```
dateipfad = '01-daten/TC01.csv'
daten_ohne_fehlende_werte = np.loadtxt(dateipfad)

print("Daten:", daten_ohne_fehlende_werte)
print("Struktur:", daten_ohne_fehlende_werte.shape, "dtype:", daten_ohne_fehlende_werte.dtype
```

Daten: [20.1 20.1 20.1 ... 24.3 24.2 24.2]

Struktur: (1513,) dtype: float64

Angenommen, Sie haben eine zweite Messung durchgeführt und möchten die Differenz beider Datensätze berechnen. In der zweiten Messung haben Sensorfehler zu fehlenden Werten geführt, die mit -- markiert sind. Die Funktion np.loadtxt() kann jedoch mit fehlenden Werten nicht umgehen und gibt eine Fehlermeldung zurück.

```
dateipfad = '01-daten/TC01_double_hyphen.csv'

try:
    daten_double_hypen = np.loadtxt(dateipfad)
except ValueError as error:
    print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
    print("Daten mit fehlenden Werten '--':", daten_double_hypen, "dtype:", daten_double_hypen
```

Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung: could not convert string '--' to float64 at row 1, column 1.

Die Funktion np.genfromtxt()

Um Datensätze mit fehlenden Werten einzulesen, wird die Funktion np.genfromtxt(fname, delimiter = None, missing_values = None, filling_values = None) verwendet. Dieses durchläuft den Datensatz fname in zwei Schleifen, weshalb die Funktion langsamer als np.loadtxt() ist. Die erste Schleife teilt den Datensatz zeilenweise am optional übergebenen Trennzeichen delimiter in eine Zeichenkette auf. Die zweite Schleife konvertiert jede Zeichenkette in den passenden Datentyp. Mit den optionalen Argumenten missing_values und filling_values können der Funktion Zeichenfolgen übergeben werden, mit der fehlende Werte markiert sind bzw. ersetzt werden sollen. (NumPy Dokumentation)

```
dateipfad = '01-daten/TC01_double_hyphen.csv'
daten_double_hypen = np.genfromtxt(dateipfad, missing_values = '--', filling_values = np.nan
print("\nDaten mit fehlenden Werten '--':", daten_double_hypen)
print("Struktur:", daten_double_hypen.shape, "dtype:", daten_double_hypen.dtype)
```

```
Daten mit fehlenden Werten '--': [20.1 nan 20.1 ... 24.3 24.2 24.2] Struktur: (1513,) dtype: float64
```

Durch die Umwandlung fehlender Werte in nan, sind Operationen mit gleichlangen NumPy-Arrays möglich.

```
daten_differenz = daten_ohne_fehlende_werte - daten_double_hypen
print(daten_differenz)
```

```
[ 0. nan 0. ... 0. 0. 0.]
```

Die Funktion np.genfromtxt() kann beliebige Zeichenketten als fehlenden Wert verarbeiten. Lediglich leere Zellen können problematisch sein, da deren Inhalt '\n' als Zeilentrenner verarbeitet wird.

i Hinweis 3: Leere Zellen mit np.genfromtxt()

Struktur: (1511,) dtype: float64

Enthält eine Datei leere Zellen, können diese nicht eingelesen werden, da diese automatisch übersprungen werden.

```
# Datei ohne Markierung fehlender Werte
dateipfad = '01-daten/TC01_empty_lines.csv'
daten_empty_lines = np.genfromtxt(dateipfad, missing_values = '', filling_values = np.nan)
print("\nDaten mit fehlenden Werten '':", daten_empty_lines)
print("Struktur:", daten_empty_lines.shape, "dtype:", daten_empty_lines.dtype)
Daten mit fehlenden Werten '': [20.1 20.1 20.1 ... 24.3 24.2 24.2]
```

Das Array ist zwei Elemente kürzer. Die Subtraktion von einem längeren NumPy-Array scheitert mit einer Fehlermeldung.

```
try:
    result = daten_ohne_fehlende_werte - daten_empty_lines
except ValueError as error:
    print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
    print(result)
Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:
  operands could not be broadcast together with shapes (1513,) (1511,)
In diesem Fall muss auf die Stringbearbeitung aus der Python-Basis zurückgegriffen wer-
den. Die bearbeitete Liste kann wie gewohnt mit np.genfromtxt() eingelesen werden.
# Einlesen über Datenobjekt
datenobjekt_empty_lines = open(dateipfad, 'r', encoding = 'utf-8')
daten_empty_lines = datenobjekt_empty_lines.readlines()
datenobjekt_empty_lines.close()
print("Das ausgelesene Datenobjekt (Ausschnitt):\n", daten_empty_lines[0:10])
# Stringbearbeitung mit replace('\n', '')
for i in range(len(daten_empty_lines)):
    if daten_empty_lines[i] == '\n':
         daten_empty_lines[i] = 'platzhalter'
    else:
         daten_empty_lines[i] = daten_empty_lines[i].replace('\n', '')
print("\nNach der Stringbearbeitung (Ausschnitt):\n", daten_empty_lines[0:10])
# Einlesen mit np.genfromtxt
daten_empty_lines = np.genfromtxt(daten_empty_lines, missing_values = 'platzhalter', fillines
print("\nDaten mit fehlenden Werten '':", daten_empty_lines)
print("Struktur:", daten_empty_lines.shape, "dtype:", daten_empty_lines.dtype)
Das ausgelesene Datenobjekt (Ausschnitt):
  ['# Temperatur in C\n', '20.1\n', '\n', '20.1\n', '20.1\n', '20.1\n', '\n', '20.1\n', '\n', '20.1\n', '20.
Nach der Stringbearbeitung (Ausschnitt):
  ['# Temperatur in C', '20.1', 'platzhalter', '20.1', '20.1', '20.1', 'platzhalter', '20.1
Daten mit fehlenden Werten '': [20.1 nan 20.1 ... 24.3 24.2 24.2]
```

```
Struktur: (1513,) dtype: float64
```

Besonders bei Dateien mit mehreren Spalten führen leere Zellen schnell zu Fehlern. Hier ist es erforderlich, den Zeichentrenner mit dem Argument delimiter zu spezifizieren. Aus der Dokumentation:

"When spaces are used as delimiters, or when no delimiter has been given as input, there should not be any missing data between two fields." (NumPy Dokumentation)

```
Hinweis 3: Leere Zellen in mehreren Spalten mit np.genfromtxt()
Ohne Spezifikation des Arguments delimiter wird nur eine Spalte eingelesen, die aus-
schließlich np.nan enthält.
# ohne Spezifikation von delimiter
dateipfad = '01-daten/TC01_missing_values_multi_column.csv'
daten_empty_lines2 = np.genfromtxt(dateipfad, missing_values = '', filling_values = np.nan
print("Struktur:", daten_empty_lines2.shape, "dtype:", daten_empty_lines2.dtype)
print("Die ersten drei Zeilen:\n", daten_empty_lines2[0:3])
Struktur: (1513, 1) dtype: float64
Die ersten drei Zeilen:
 [[nan]
 [nan]
 [nan]]
Wird das Argument delimiter = ',' übergeben, wird die Datei korrekt eingelesen.
# mit Spezifikation von delimiter
daten_empty_lines2 = np.genfromtxt(dateipfad, delimiter = ',', missing_values = '', filling
print("Struktur:", daten_empty_lines2.shape, "dtype:", daten_empty_lines2.dtype)
print("\nDaten mit fehlenden Werten '':\n", daten_empty_lines2)
Struktur: (1513, 2) dtype: float64
Daten mit fehlenden Werten '':
 [[20.1 20.1]
 [ nan nan]
 [20.1 20.1]
 [24.3 24.3]
```

```
[24.2 24.2]
[24.2 24.2]]
```

Fehlende Werte in NumPy erzeugen, prüfen, finden, ersetzen, löschen

Das Modul NumPy bietet Funktionen, um mit fehlenden Werten zu arbeiten.

- np.nan erzeugt einen fehlenden Wert.
- np.isnan() prüft auf einen fehlenden Wert und gibt einen Wahrheitswert bzw. ein NumPy-Array mit dtype bool zurück.
- np.nonzero(np.isnan(array)) gibt ein Tuple zurück, das ein Array mit den Indexpositionen der Elemente mit dem Wert 'nan' enthält. Auf das Array kann mit np.nonzero(np.isnan(array))[0] zugegriffen werden. Je nach Situation kann die Umwandlung in eine Liste nützlich sein np.nonzero(np.isnan(array))[0].tolist(). Eine ähnliche Funktion ist np.argwhere(np.isnan(array)), deren Ausgabe aber nicht für das Slicing mehrdimensionaler Arrays geeignet ist (siehe folgendes Beispiel).

Hinweis 4: Die Funktion np.argwhere()

Eine andere Funktion, um die Indexposition eines Werts zu bestimmen, ist die Funktion np.argwhere(). Der Aufruf der Funktion np.argwhere(np.isnan(array)) gibt ein NumPy-Array mit den Indexposition Elemente mit dem Wert nan zurück.

Das mit np.argwhere() erzeugte Array ist aber nicht geeignet, um Arraybereiche auszuwählen.

```
try:
  array[np.argwhere(np.isnan(array))]
except IndexError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
  print(array[np.argwhere(np.isnan(array))])
Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:
 index 2 is out of bounds for axis 0 with size 2
Zum Vergleich mit np.nonzero()
  array[np.nonzero(np.isnan(array))]
except IndexError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
  print(array[np.nonzero(np.isnan(array))])
[nan nan nan]
  A Warning 3: Die Funktion np.arghwhere()
    Die Auswahl von Array-Bereichen mit np.argwhere() funktioniert für eindimen-
    sionale Arrays.
    array = np.array([1, np.nan, np.nan, 4, 5])
    try:
      array[np.argwhere(np.isnan(array))]
    except IndexError as error:
      print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
    else:
      print(array[np.argwhere(np.isnan(array))])
    [[nan]
      [nan]]
```

• nan_to_num(x = array, nan = 0.0) ersetzt im Array x nan durch den Wert 0.0 oder durch den im Argument nan übergebenen Wert. (Hinweis: nan_to_num() ersetzt standardmäßig auch np.inf durch große positive sowie -np.inf durch große negative Zah-

len.)

Die Ersetzung eines bestimmten Werts ist auch mit einem logischen Vektor möglich (siehe folgendes Beispiel).

Hinweis 5: Wertzuweisung mit logischem Vektor

Die Ersetzung eines bestimmten Werts ist auch durch die Auswahl bestimmter Array-Bereiche durch einen logischen Vektor möglich.

```
a = np.array([1, 2, 3, np.nan, 5, 6, np.nan])
b = np.isnan(a)
print(b)
a[b] = 0
print(a)
```

```
[False False False True False False True] [1. 2. 3. 0. 5. 6. 0.]
```

Dabei können mehrere Bedingungen mit der Funktion np.logical_or(x1, x2) als logisches ODER kombiniert werden.

```
a = np.array([1, 2, 3, np.nan, 5, 6, np.nan])
bedingung1 = np.isnan(a)

bedingung2 = a >= 5

bedingung = np.logical_or(bedingung1, bedingung2)
a[bedingung] = 0

print(a)
```

```
[1. 2. 3. 0. 0. 0. 0.]
```

Auch ein logisches UND ist möglich (aber in Verbindung mit np.nan nicht sinnvoll). Der Operator * bewirkt das gleiche wie der logische Operator and oder die Funktion np.logical_and(x1, x2).

```
a = np.array([1, 2, 3, np.nan, 5, 6, np.nan])
bedingung1 = a < 4
bedingung2 = a >= 1
bedingung = bedingung1 * bedingung2
a[bedingung] = 0
print(a)

[ 0.  0.  0. nan  5.  6. nan]
```

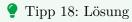
• np.delete(arr = array, obj) gibt ein neues (kürzeres) Array ohne die im Parameter obj spezifizierten Array-Bereiche zurück. Alle Elemente mit dem Wert nan werden so gelöscht: np.delete(array, obj = np.nonzero(np.isnan(array)))

NumPy wandelt None nicht automatisch in nan um. NumPy kann den Datentyp des Objekts deshalb nicht bestimmen und gibt dtype=object aus:

```
np_array_with_none = np.array([1, 2, None, 4])
print(np_array_with_none, np_array_with_none.dtype)
```

[1 2 None 4] object

Aufgabe: Wie kann im Array np_array_with_none None durch np.nan ersetzt werden?



Eine logische Abfrage von None ist möglich. Auf diese Weise kann ein logisches Array erzeugt werden, das zur Auswahl der Indexpositionen verwendet wird, deren Werte ersetzt werden sollen.

```
np_array_with_none = np.array([1, 2, None, 4])
print(np_array_with_none)

np_array_with_nan = np_array_with_none.copy()

print(f"\nArray mit logischer Abfrage von None:\n{np_array_with_none == None}")
np_array_with_nan[np_array_with_none == None] = np.nan
print(f"\nArray mit None ersetzt durch nan:\n{np_array_with_nan, np_array_with_nan.dtype}"]
[1 2 None 4]

Array mit logischer Abfrage von None:
[False False True False]

Array mit None ersetzt durch nan:
(array([1, 2, nan, 4], dtype=object), dtype('0'))
```

Operationen mit fehlenden Werten

Operationen mit nan ergeben immer nan. Deshalb gibt es in NumPy viele Funktionen, die nan automatisch ignorieren bzw. durch einen geeigneten Wert ersetzen. Diese sind bereits am Funktionsnamen erkennbar. Beispielsweise liefern np.nansum() und np.nancumsum() die Summe bzw. die kumulierte Summe eines Arrays. In der kumulierten Summe werden nan durch das laufende Ergebnis ersetzt. Eine vollständige Liste der NumPy-Funktionen finden Sie in der Dokumentation.

```
print(f"Array mit nan:\n{np_array_with_nan}\n")
print(f"Summe des Arrays:\n{np.sum(np_array_with_nan)}\n")
print(f"nan-Summe des Arrays:\n{np.nansum(np_array_with_nan)}\n")
print(f"kumulierte Summe des Arrays:\n{np.cumsum(np_array_with_nan)}\n")
print(f"kumulierte nan-Summe des Arrays:\n{np.nancumsum(np_array_with_nan)}\n")
Array mit nan:
[1 2 nan 4]
```

```
Summe des Arrays:
nan
nan-Summe des Arrays:
7
kumulierte Summe des Arrays:
[1 3 nan nan]
kumulierte nan-Summe des Arrays:
[1 3 3 7]
```

3.6.2 Pandas

Die Pandas-Funktionen zum Lesen von Dateien können mit fehlenden Werten umgehen. Standardmäßig werden folgende Werte als fehlende Werte erkannt:

```
['-1.#IND', '1.#QNAN', '1.#IND', '-1.#QNAN', '#N/A N/A', '#N/A', 'N/A', 'n/a', 'NA', '<NA>', '#NA', 'NULL', 'null', 'NaN', '-NaN', 'nan', '-nan', 'None', '']
```

Weitere Werte können mit dem Argument na_values = [] als fehlende Werte definiert werden. Mit dem Argument keep_default_na = False kann festgelegt werden, dass ausschließlich die in na_values = [] übergebenen Werte als fehlende Werte interpretiert werden sollen. Standardmäßig werden mit dem Argument na_filter = True auch leere Zellen als NA eingelesen. Vollständig leere Zeilen werden jedoch standardmäßig übersprungen. Dies kann mit dem Argument skip_blank_lines = False geändert werden. (Pandas Dokumentation)

```
dateipfad = '01-daten/TC01_double_hyphen.csv'

try:
    daten_double_hypen = pd.read_csv(dateipfad, na_values = ['--'])
except ValueError as error:
    print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
    print("Daten mit fehlenden Werten '--':\n", daten_double_hypen, daten_double_hypen.shape)
```

```
Daten mit fehlenden Werten '--':

# Temperatur in C

0 20.1

1 NaN

2 20.1
```

```
3
                     20.1
4
                     20.1
                      . . .
. . .
1508
                     24.3
                     24.3
1509
1510
                     24.3
1511
                     24.2
1512
                     24.2
[1513 rows x 1 columns] (1513, 1)
```

Mit dem Argument skip_blank_lines = False werden leere Zeilen ebenfalls eingelesen.

```
dateipfad = '01-daten/TC01_empty_lines.csv'

try:
    daten_empty_lines = pd.read_csv(dateipfad, skip_blank_lines = False)
except ValueError as error:
    print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
    print("Daten mit fehlenden Werten '':\n", daten_empty_lines, daten_empty_lines.shape)
```

Daten mit fehlenden Werten '':

```
# Temperatur in C
0
                     20.1
1
                      NaN
2
                     20.1
3
                     20.1
                     20.1
4
. . .
                      . . .
                     24.3
1508
1509
                     24.3
1510
                     24.3
1511
                     24.2
                     24.2
1512
```

[1513 rows x 1 columns] (1513, 1)

Pandas verwendet abhängig vom Datentyp verschiedene Werte zur Kennzeichnung fehlender Werte.

- numpy.nan für NumPy-Datentypen. Hierbei wird der Datentyp automatisch in np.float64 oder object konvertiert.
- pd.NA für Zeichenketten und Ganzzahlen. Der Datentyp bleibt erhalten.

Einlesen der Datei TC01_empty_lines.csv als string:

```
dateipfad = '01-daten/TC01_empty_lines.csv'

try:
    daten_empty_lines = pd.read_csv(dateipfad, skip_blank_lines = False, dtype = 'string')
except ValueError as error:
    print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
    print("Daten mit fehlenden Werten '':\n", daten_empty_lines, daten_empty_lines.shape)
```

Daten mit fehlenden Werten '':

	#	Temperatur in C
0		20.1
1		<na></na>
2		20.1
3		20.1
4		20.1
1508		24.3
1509		24.3
1510		24.3
1511		24.2
1512		24.2

[1513 rows x 1 columns] (1513, 1)

NA kann zwar auch als fehlender Wert für Gleitkommazahlen und andere NumPy Datentypen verwendet werden. Allerdings wird dafür ein Pandas-Datentyp benötigt (siehe das folgende Beispiel).

i Hinweis 6: pd.Series mit np.nan und pd.NA

Eine pd.Series mit np.nan wird automatisch in dtype: float64 umgewandelt:

```
try:
  test = pd.Series([1, 2, np.nan])
except TypeError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
  print(test)
     1.0
     2.0
1
     NaN
dtype: float64
Eine pd.Series mit pd.NA wird als dtype: object eingelesen:
try:
 test = pd.Series([1, 2, pd.NA])
except TypeError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
  print(test)
        1
1
        2
     < NA >
dtype: object
Der dtype kann für eine Series mit pd.NA festgelegt werden:
  test = pd.Series([1, 2, pd.NA], dtype = 'Int32')
except TypeError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
  print(test)
0
        1
        2
1
     <NA>
dtype: Int32
Abhängig vom Datentyp kommt es auf den korrekten dtype (NumPy oder Pandas) an,
erkennbar an der Groß- und Kleinschreibung. pd. NA mit Numpy-Fließkommazahl:
```

```
try:
  test = pd.Series([1, 2, pd.NA], dtype = 'float64')
except TypeError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
  print(test)
Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:
 float() argument must be a string or a real number, not 'NAType'
pd.NA mit Pandas-Fließkommazahl:
  test = pd.Series([1, 2, pd.NA], dtype = 'Float64')
except TypeError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
  print(test)
      1.0
      2.0
1
     <NA>
dtype: Float64
np.nan mit Numpy-Fließkommazahl:
  test = pd.Series([1, 2, np.nan], dtype = 'float64')
except TypeError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
  print(test)
     1.0
     2.0
1
     NaN
dtype: float64
np.nan mit Pandas-Fließkommazahl:
```

```
try:
    test = pd.Series([1, 2, np.nan], dtype = 'Float64')
except TypeError as error:
    print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
    print(test)

0    1.0
1    2.0
2    <NA>
dtype: Float64
```

⚠ Warning 4: Achtung Logik!

Die logische Abfrage fehlender Werte unterscheidet sich für None, np.nan und pd.NA.

```
bool_values = [None, float('nan'), pd.NA]
for element in bool_values:
  try:
    bool_value = bool(element)
  except TypeError as error:
      print(error)
  else:
    print("Wahrheitswert von", element, "ist", bool_value)
Wahrheitswert von None ist False
Wahrheitswert von nan ist True
boolean value of NA is ambiguous
Dies gilt auch für die Wertgleichheit.
bool_values = [None, float('nan'), pd.NA]
for element in bool_values:
  try:
    result = element == element
```

```
except TypeError as error:
    print(error)
else:
    print("Wertgleichheit von", element, "ist", result)

Wertgleichheit von None ist True
```

(Pandas Dokumentation)

Wertgleichheit von nan ist False Wertgleichheit von <NA> ist <NA>

Fehlende Werte in Pandas erzeugen, prüfen, finden, ersetzen, löschen

Das Modul Pandas wandelt None automatisch in nan um. Das Modul Pandas bietet wie das Modul NumPy verschiedene Funktionen, um mit fehlenden Werten zu arbeiten.

- pd.NA erzeugt einen fehlenden Wert (Groß- und Kleinschreibung beachten: pd.na funktioniert nicht)
- Die Funktionen pd.isnull() und pd.isna() prüfen auf einen fehlenden Wert und geben einen Wahrheitswert bzw. ein NumPy-Array mit dtype bool zurück. Die Funktionen pd.notna() und pd.notnull() prüfen den umgekehrten Fall.
- Die Funktion np.nonzero(pd.isna()) verwendet die NumPy-Funktion np.nonzero() und gibt ein Array mit den Indexpositionen der Elemente mit fehlenden Werten zurück (die Pandas-Funktion pd.nonzero() wird nicht mehr unterstützt).
- pd.Series.fillna(value = 0) ersetzt fehlende Werte mit dem im Argument value übergebenen Wert. Die Methoden pd.ffill() und pd.bfill() ersetzen fehlende Werte mit dem letzten bzw. dem nächsten gültigen Wert. Die Methode pd.Series.interpolate() ersetzt fehlende Werte durch Interpolation, wofür ein Datentyp definiert sein muss (dtype = object funktioniert nicht). Standardmäßig wird linear interpoliert, es stehen aber verschiedene Methoden zur Verfügung (siehe Pandas Dokumentation)
- Die Methode pd.Series.dropna() gibt eine neue (kürzere) Series ohne fehlende Wert zurück.

Operationen mit fehlenden Werten

Operationen mit pd.NA ergeben in der Regel pd.NA. Es gibt jedoch einige Ausnahmen:

```
print(pd.NA ** 0)
print(1 ** pd.NA)
```

1

Die Methode pd.Series.sum() behandelt pd.NA als 0, die Methode pd.Series.prod() als 1.

```
print(pd.Series([pd.NA]).sum())
print(pd.Series([pd.NA]).prod())
```

0

1

Reduzierende Methoden wie pd.Series.min() oder pd.Series.mean() sowie zusammenfassende Methoden wie pd.Series.cumsum() oder pd.Series.cumprod() überspringen pd.NA.

```
print(pd.Series([pd.NA]).min())
print(pd.Series([pd.NA]).mean())
print(pd.Series([pd.NA]).cumsum())
print(pd.Series([pd.NA]).cumprod())
```

nan
nan
0 NaN
dtype: object
0 NaN
dtype: object

Das Verhalten von Methoden wie pd.Series.sum() und von Methoden wie pd.Series.min() hat für Datenreihen einen vergleichbaren Effekt, produziert für einzelne Werte jedoch unterschiedliche Ergebnisse.

3.6.3 Aufgabe fehlende Werte

Der Deutsche Wetterdienst misst deutschlandweit verschiedene Wetterdaten. In der Datei 'produkt_st_stunde_20230831_20240630_01303.txt' sind stündliche Stationsmessungen der Solarstrahlung in Essen-Bredeney gespeichert.

Deutscher Wetterdienst. 2024. Stündliche Stationsmessung der Solarstrahlung (global/diffus) und der atmosphärischen Gegenstrahlung für Deutschland. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/hourly/solar/stundenwerte_ST_01303_row.zip Die Spalten MESS_DATUM, MESS_DATUM_WOZ und eor wurden entfernt.

Bestimmen Sie die Kodierung fehlender Werte und ersetzen Sie diese durch np.nan bzw. pd.NA. Wie viele Werte wurden ersetzt?

```
Tipp 19: Musterlösung fehlende Werte
Mit der Methode df.info() ist erkennbar, dass der Datensatz vollständig ist.
dateipfad = "01-daten/produkt_st_stunde_20230831_20240630_01303.txt"
solar = pd.read_csv(dateipfad, sep = ";")
solar.info()
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 7296 entries, 0 to 7295
Data columns (total 7 columns):
 #
    Column
                 Non-Null Count Dtype
    ----
                 _____
    STATIONS_ID 7296 non-null int64
 1
    QN_592
                 7296 non-null int64
 2
   ATMO_LBERG
                 7296 non-null float64
    FD_LBERG
                 7296 non-null float64
    FG_LBERG
                 7296 non-null float64
    SD_LBERG
                 7296 non-null int64
    ZENIT
                 7296 non-null
                                 float64
dtypes: float64(4), int64(3)
memory usage: 399.1 KB
Mit der Methode df.describe() wird die deskriptive Statistik für numerische Spalten
erstellt.
solar.describe()
```

	STATIONS_ID	QN_592	ATMO_LBERG	FD_LBERG	FG_LBERG	SD_LBERG	ZENI
count	7296.0	7296.0	7296.00	7296.00	7296.00	7296.00	7296.0
mean	1303.0	1.0	111.80	-31.23	-16.46	9.00	92.65
std	0.0	0.0	89.42	222.34	229.74	18.66	30.02
\min	1303.0	1.0	-999.00	-999.00	-999.00	0.00	28.56
25%	1303.0	1.0	112.00	0.00	0.00	0.00	70.61
50%	1303.0	1.0	121.00	0.00	0.00	0.00	92.40
75%	1303.0	1.0	127.25	25.00	33.00	3.00	115.9'
\max	1303.0	1.0	150.00	182.00	348.00	60.00	151.44

Drei Spalten weisen als minimalen Wert -999 auf, der inhaltlich nicht sinnvoll ist. Wie oft kommt der Wert -999 in den Spalten vor?

```
counting_df = solar[['ATMO_LBERG', 'FD_LBERG', 'FG_LBERG']] == -999
print(counting_df.sum())
print("Summe:\t\t ", counting_df.sum().sum())
```

ATMO_LBERG 46
FD_LBERG 359
FG_LBERG 353

dtype: int64

Summe: 758

4 Zeitreihen

4.1 Datum und Zeit in NumPy und Pandas

Die Module NumPy und Pandas nutzen den Datentyp datetime64, um Datums- und Zeitinformationen zu verarbeiten.

4.2 NumPy

datetime64-Objekte werden mit der Funktion np.datetime64() angelegt, der Datentyp wird in der Ausgabe von Python auch durch den Buchstaben M repräsentiert. datetime64-Objekte können auf zwei Arten angelegt werden:

• Eine Zeichenkette nach ISO 8601 als Repräsentation eines Datums in der festgelegten Reihenfolge Jahr, Monat, Tag, Stunde, Minute, Sekunde, Millisekunde im Format YYYY-MM-DD 12:00:00.000. Als Zeichentrenner zwischen Datum und Uhrzeit sind ein Leerzeichen oder der Buchstabe T zulässig. Der Datentyp und die kleinste verwendete Einheit werden im Attribut dtype gespeichert.

```
print(np.datetime64('2024'), np.datetime64('2024').dtype)
print(np.datetime64('2024-10-31'), np.datetime64('2024-10-31').dtype)
print(np.datetime64('2024-10-31T12:24:59.999'), np.datetime64('2024-10-31T12:24:59.999').dtype)
```

```
2024 datetime64[Y]
2024-10-31 datetime64[D]
2024-10-31T12:24:59.999 datetime64[ms]
```

• Als Zahl relativ zur Epoche und unter Angabe einer Zeiteinheit. Die verfügbaren Zeiteinheiten sind years ('Y'), months ('M'), weeks ('W'), days ('D') sowie hours ('h'), minutes ('m'), seconds ('s'), milliseconds ('ms') und weitere sekundenbasierte Einheiten bis zur Attosekunde (siehe NumPy Dokumentation).

```
print(np.datetime64(10 * 1000, 'D'), np.datetime64(10 * 1000, 'D').dtype)
print(np.datetime64(1000 * 1000, 'h'), np.datetime64(1000 * 1000, 'h').dtype)
print(np.datetime64(1000 * 1000 * 1000, 's'), np.datetime64(1000 * 1000 * 1000, 's').dtype)
```

```
1997-05-19 datetime64[D]
2084-01-29T16 datetime64[h]
2001-09-09T01:46:40 datetime64[s]
```

Außerdem können Datetime-Formate anderer Module in np.datetime64() umgewandelt werden.

Beim Anlegen eines Arrays, kann die Zeiteinheit gewählt werden.

```
my_array = np.array(['2007-07-13', '2006-01-13', '2010-08-13'], dtype = 'datetime64[s]')
print(my_array, my_array.dtype)
```

```
['2007-07-13T00:00:00' '2006-01-13T00:00:00' '2010-08-13T00:00:00'] datetime64[s]
```

Der Datentyp datetime64 ist mit den meisten NumPy-Funktionen kompatibel.

(NumPy Dokumentation)

4.3 Pandas

In Pandas werden datetime64-Objekte mit den Funktionen pd.to_datetime() oder pd.date_range() angelegt.

Hinweis: Eine weitere Möglichkeit ist die Funktion pd. Timestamp(), die umfangreichere Möglichkeiten zur Erzeugung eines Zeitpunkts bietet, aber kein string-parsing unterstützt.

pd.to_datetime() erzeugt Werte des Datentyps datetime64[ns] (mit pd.to_datetime() erzeugte Skalare (Einzelwerte) werden als Timestamp (Zeitpunkt) ausgegeben, die kein Attribut dtype haben). Die Funktion pd.to_datetime() akzeptiert als Eingabewerte:

- datetime-Objekte anderer Module.
- Zahlen und eine Zeiteinheit pd.to_datetime(1, unit = None) (Standard sind Nanosekunden). Das Argument unit nimmt die Werte 'ns', 'ms', 's', 'm', 'h', 'D', 'W', 'M', 'Y' für Nanosekunde, Millisekunde, Sekunde, Minute, Stunde, Tag, Woche, Monat bzw. Jahr entgegen. Erzeugt wird ein Zeitpunkt relativ zur Epoche.

```
print(pd.to_datetime(1000, unit = 'D'))
print(pd.to_datetime(1000 * 1000, unit = 'h'))
print(pd.to_datetime(1000 * 1000 * 1000, unit = 's'))

1972-09-27 00:00:00
2084-01-29 16:00:00
2001-09-09 01:46:40
```

 Zeichenketten, die ein Datum oder ein Datum mit Uhrzeit ausdrücken, formatiert nach ISO 8601.

```
print(pd.to_datetime('2017'))
print(pd.to_datetime('2017-01-01T00'))
print(pd.to_datetime('2017-01-01 00:00:00'))

2017-01-01 00:00:00
2017-01-01 00:00:00
2017-01-01 00:00:00
```

• Anders formatierte Zeichenketten mit dem Argument format = "%d/%m/%Y" (siehe Dokumentation strftime zur string-Formatierung).

```
print(pd.to_datetime('Monday, 12. August `24', format = "%A, %d. %B `%y"))
print(pd.to_datetime('Monday, 12. August 2024, 12:15 Uhr CET', format = "%A, %d. %B %Y, %H:%B
```

2024-08-12 00:00:00 2024-08-12 12:15:00+02:00

• Dictionary oder DataFrame.

```
print(pd.to_datetime({'year':[2020, 2024], 'month': [1, 11], 'day': [1, 21]}), "\n")
print(pd.to_datetime(pd.DataFrame({'year':[2020, 2024], 'month': [1, 11], 'day': [1, 21]})))
```

```
0 2020-01-01
1 2024-11-21
dtype: datetime64[ns]
0 2020-01-01
1 2024-11-21
dtype: datetime64[ns]
```

Die Funktion pd.date_range() erzeugt ein Array vom Typ DatetimeIndex mit dtype datetime64. Genau drei der folgenden vier Argumente sind für die Erzeugung erforderlich:

- start: Beginn der Reihe.
- end: Ende der Reihe (inklusiv)
- freq: Schrittweite (bspw. Jahr, Tag, Geschäftstag, Stunde oder Vielfache wie '6h' siehe Liste verfügbarer strings)
- periods: Anzahl der zu erzeugenden Werte.

```
print(pd.date_range(start = '2017', end = '2024', periods = 3), "\n")
print(pd.date_range(start = '2017', end = '2024', freq = 'Y'), "\n")
print(pd.date_range(end = '2024', freq = 'h', periods = 3))

DatetimeIndex(['2017-01-01', '2020-07-02', '2024-01-01'], dtype='datetime64[ns]', freq=None)
DatetimeIndex(['2017-12-31', '2018-12-31', '2019-12-31', '2020-12-31', '2021-12-31', '2022-12-31'], dtype='datetime64[ns]', freq='YE-DEC')

DatetimeIndex(['2023-12-31 22:00:00', '2023-12-31 23:00:00', '2024-01-01 00:00:00'], dtype='datetime64[ns]', freq='h')
```

Hinweis: Die Funktion pd. date_range() wird künftig das Kürzel 'Y' nicht mehr unterstützen. Stattdessen können die Kürzel 'YS' (Jahresbeginn) oder 'YE' (Jahresende) verwendet werden. Ebenso wird das Kürzel 'M' künftig durch 'MS' (Monatsstart), 'ME' (Monatsende) ersetzt.

Zeitdifferenzen werden über einen eigenen Datentyp dargestellt (siehe folgendes Beispiel).

i Zeitdifferenzen in NumPy und Pandas

4.4 NumPy

Zeitdifferenzen werden mit dem Datentyp timedelta64 abgebildet. Dieser wird wie datetime64 durch Angabe einer Ganzzahl und einer Zeiteinheit angelegt.

```
np.timedelta64(1, 'D')

np.timedelta64(1, 'D')

Objekte der Typen datetime64 und timedelta64 ermöglichen es, Operationen mit Datum und Zeit durchzuführen (weitere Beispiele in der NumPy-Dokumentation).

print(np.datetime64('today') - np.datetime64('2000-01-01', 'D'))
print(np.datetime64('now') - np.datetime64('2000-01-01', 'h'))

print("\n\nEine einfache Zeitverschiebung:", np.datetime64('now') - np.timedelta64(1, 'h'))

print("Wie viele Tage hat die Woche?", np.timedelta64(1,'W') / np.timedelta64(1,'D'))

9249 days
799175373 seconds
```

4.5 Pandas

Zeitdifferenzen können zum einen wie in NumPy durch Angabe einer Ganzzahl und einer Zeiteinheit angelegt werden. Außerdem ist die Übergabe mit Argumenten möglich (zulässige Argumente sind: weeks, days, hours, minutes, seconds, milliseconds, microseconds, nanoseconds).

Eine einfache Zeitverschiebung: 2025-04-28T16:09:33

```
pd.Timedelta(1, 'D')
pd.Timedelta(days = 1, hours = 1)
```

Timedelta('1 days 01:00:00')

Wie viele Tage hat die Woche? 7.0

Wichtig: Anders als in NumPy werden Zeitdifferenzen in Monaten und Jahren nicht mehr von Pandas unterstützt.

```
try:
  print( pd.Timedelta(1, 'Y'))
except ValueError as error:
  print(error)
else:
  print( pd.Timedelta(1, 'Y'))
Units 'M', 'Y', and 'y' are no longer supported, as they do not represent unambiguous time
Zum anderen können Zeitdifferenzen mit einer Zeichenkette erzeugt werden.
print(pd.Timedelta('10sec'))
print(pd.Timedelta('10min'))
print(pd.Timedelta('10hours'))
print(pd.Timedelta('10days'))
print(pd.Timedelta('10w'))
0 days 00:00:10
0 days 00:10:00
0 days 10:00:00
10 days 00:00:00
70 days 00:00:00
Mit Hilfe einer Zeitdifferenz können Zeitreihen leicht verschoben werden.
pd.date_range(start = '2024-01-01T00:00', end = '2024-01-01T02:00', freq = '15min') + pd.T
DatetimeIndex(['2024-01-01 00:30:00', '2024-01-01 00:45:00',
                '2024-01-01 01:00:00', '2024-01-01 01:15:00',
                '2024-01-01 01:30:00', '2024-01-01 01:45:00',
                '2024-01-01 02:00:00', '2024-01-01 02:15:00',
                '2024-01-01 02:30:00'],
              dtype='datetime64[ns]', freq='15min')
```

Wie alt sind Sie in Tagen? Wie alt in Sekunden? Rechnen Sie mit NumPy oder Pandas.

💡 Tipp 20: Tipp Pandas und Musterlösung Alter Für eine elegante Lösung in Pandas schauen Sie sich die verfügbaren Methoden und Attribute von Timedelta-Objekten an. dir(pd.Timedelta(0)) Tipp 21: Musterlösung Ersetzen sie in der Lösung die Zeichenkette 'YYYY-MM-DD' bzw., wenn Sie die Uhrzeit Ihrer Geburt kennen, die Zeichenkette 'YYYY-MM-DDTHH:MM' durch ihren Geburtstag. NumPy In NumPy können die Schlüsselwörter np.datetime64('today') und np.datetime64('now') verwendet werden. Die Ausgabe ist in Tagen bzw. in Sekunden aufgelöst. print(np.datetime64('today') - np.datetime64('YYYY-MM-DD', 'D')) print(np.datetime64('now') - np.datetime64('YYYY-MM-DDTHH:MM', 's')) **Pandas** In Pandas werden die Schlüsselwörter pd.to_datetime('today') und pd.to_datetime('now') in Nanosekunden aufgelöst. (pd.to_datetime('today') - pd.to_datetime('YYYY-MM-DD')).days (pd.to_datetime('now') - pd.to_datetime('YYYY-MM-DDTHH:MM')).total_seconds()

4.6 Zeitreihen einlesen

Insbesondere das Modul Pandas bietet effiziente Möglichkeiten, um Datumsformate korrekt einzulesen. Im Folgenden wird das Einlesen von Zeitreihen mit NumPy und Pandas anhand von Strommarktdaten demonstriert. In Kapitel ?? stehen verschiedene Übungsaufgaben zur Verfügung.

Die Bundesnetzagentur veröffentlicht verschiedene Strommarktdaten, darunter die Großhandelspreise. Die Strommarktdaten der Bundesnetzagentur müssen manuell auf

https://www.smard.de/ heruntergeladen werden. In diesem Skript werden Daten für das Jahr 2023 benutzt.

Daten	Dateiname
Großhandelspreise 2023 Großhandelspreise 2023 (Englisch)	Gro_handelspreise_202301010000_202401010000_Stunde.csv Day-ahead_prices_202301010000_202401010000_Hour.csv



4.6.1 NumPy

Der Versuch, die Datei mit np.loadtxt() einzulesen, führt zu verschiedenen Fehlermeldungen (Datentyp ist nicht numerisch, Spaltenzahl kann nicht ermittelt werden). Diesen wird durch Spezifizierung des Datentyps dtype = str und der Beschränkung auf die erste Zeile max_rows = 1 begegnet.

```
dateipfad = "01-daten/Gro_handelspreise_202301010000_202401010000_Stunde.csv"
preise = np.loadtxt(fname = dateipfad, dtype = 'str', max_rows = 1)
preise
```

```
array(['\ufeffDatum', 'von;Datum', 'bis;Deutschland/Luxemburg', '[€/MWh]', 'Originalauflösungen; ', 'Anrainer', 'DE/LU', '[€/MWh]',
```

```
'Originalauflösungen; Belgien', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Dänemark', '1', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Dänemark', '2', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen;Frankreich', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Niederlande', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Norwegen', '2', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Österreich', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen;Polen', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Schweden', '4', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Schweiz', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Tschechien', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen;DE/AT/LU', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen; Italien', '(Nord)', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen;Slowenien', '[€/MWh]',
 'Originalauflösungen;Ungarn', '[€/MWh]', 'Originalauflösungen'],
dtype='<U31')
```

Auf diese Weise kann die erste Zeile eingelesen und das Semikolon als Zeichentrenner identifiziert werden. Außerdem sind Fehler mit der Zeichenkodierung auffällig. Deshalb werden der Zeichentrenner mit delimiter = ';' und die Kodierung der Datei mit encoding = 'UTF-8' übergeben.

dateipfad = "01-daten/Gro handelspreise 202301010000 202401010000 Stunde.csv"

```
preise = np.loadtxt(fname = dateipfad, dtype = 'str', max_rows = 1, delimiter = ';', encoding
preise
array(['\ufeffDatum von', 'Datum bis',
       'Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen',
       ' Anrainer DE/LU [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Belgien [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Dänemark 1 [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Dänemark 2 [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Frankreich [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Niederlande [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Norwegen 2 [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Österreich [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Polen [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Schweden 4 [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Schweiz [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Tschechien [€/MWh] Originalauflösungen',
       'DE/AT/LU [€/MWh] Originalauflösungen',
       'Italien (Nord) [€/MWh] Originalauflösungen',
```

```
'Slowenien [€/MWh] Originalauflösungen',
'Ungarn [€/MWh] Originalauflösungen'], dtype='<U49')
```

Es verbleibt die Zeichenkette "\ufeff" am Beginn des Arrays. Diese kennzeichnet die Byte-Reihenfolge der Datei. Diese kann mit der Übergabe der Kodierung encoding = 'UTF-8-sig' übersprungen werden (Mark Tolonen auf stackoverflow.com, Python Dokumentation). Auf diese Weise wird die erste Zeile korrekt eingelesen, sodass die Anzahl der einzulesenden Zeilen mit max_rows = 2 erweitert werden kann, um die Datentypen zu identifizieren.

```
preise = np.loadtxt(fname = dateipfad, dtype = 'str', max_rows = 2, delimiter = ';', encoding
preise
array([['Datum von', 'Datum bis',
        'Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen',
        ' Anrainer DE/LU [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Belgien [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Dänemark 1 [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Dänemark 2 [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Frankreich [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Niederlande [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Norwegen 2 [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Österreich [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Polen [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Schweden 4 [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Schweiz [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Tschechien [€/MWh] Originalauflösungen',
        'DE/AT/LU [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Italien (Nord) [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Slowenien [€/MWh] Originalauflösungen',
        'Ungarn [€/MWh] Originalauflösungen'],
       ['01.01.2023 00:00', '01.01.2023 01:00', '-5,17', '13,85',
        '-4,39', '2,01', '2,01', '0,00', '-3,61', '119,32', '12,06',
        '18,09', '2,01', '0,03', '4,84', '-', '195,90', '13,31', '19,76']],
      dtype='<U49')
```

Die ersten beiden Spalten enthalten Datums- und Zeitinformationen, die folgenden numerische Werte, wobei eine Spalte mit '-' kodierte fehlende Werte enthält. Als Dezimaltrennzeichen wird das Komma verwendet. Da NumPy-Arrays immer nur einen Datentyp enthalten können, muss der Datensatz entsprechend aufgeteilt werden. Für die viertletzte Spalte ist zu prüfen, ob diese ausschließlich fehlende Werte enthält.

Zunächst wird der Datensatz vollständig als string eingelesen, die Spaltenbeschriftungen werden mit skiprows = 1 übersprungen.

```
preise = np.loadtxt(fname = dateipfad, dtype = 'str', delimiter = ';', encoding = 'UTF-8-sig
```

Anschließend werden im ersten Schritt die Datumsspalten isoliert. NumPy unterstützt keine String-Formatierung, die Zeitstempel müssen deshalb manuell von '01.01.2023 00:00' in die Formatierung nach ISO 8601 'YYYY-MM-DDThh:mm' konvertiert werden.

```
# Datumsspalten isolieren
preise_date = preise[ : , 0:2]
# Zeichenkette manuell ins Format ISO 8601 bringen
## Spalte 0
### neues Array anlegen
preise_datumvon = np.array([], dtype = 'datetime64')
for element in preise_date[ : , 0]:
  # string umstellen
  neues_element = element[6:10] + '-' + \
  element[3:5] + '-' + \
  element[0:2] + 'T' + \
  element[11:13] + ':' + \
  element[14:]
  # in datetime64 konvertieren
  neues_element = np.datetime64(neues_element)
  # anhängen
  preise_datumvon = np.append(preise_datumvon, neues_element)
## Spalte 1
### neues Array anlegen
preise_datumbis = np.array([], dtype = 'datetime64')
for element in preise_date[ : , 1]:
  # string umstellen
  neues_element = element[6:10] + '-' + \
  element[3:5] + '-' + \
  element[0:2] + 'T' + \
  element[11:13] + ':' + \
  element[14:]
```

```
# in datetime64 konvertieren
neues_element = np.datetime64(neues_element)

# anhängen
preise_datumbis = np.append(preise_datumbis, neues_element)

# die letzten 4 Elemente angucken
print(preise_datumvon[-4:], preise_datumvon.dtype)
print(preise_datumbis[-4:], preise_datumbis.dtype)

['2023-12-31T20:00' '2023-12-31T21:00' '2023-12-31T22:00'
'2023-12-31T21:00' '2023-12-31T22:00' '2023-12-31T23:00'
'2024-01-01T00:00'] datetime64[m]
```

Im zweiten Schritt wird geprüft, ob die viertletzte Spalte ausschließlich fehlende Werte enthält. Die Position der Spalte ist zwar bekannt, wird aber dennoch mit der Funktion np.argwhere() ermittelt. Mit der Funktion len(np.unique()) werden die einzigartigen Werte abgezählt.

```
# numerische Spalten isolieren
preise_numeric = preise[ : , 2:]

# Position der Spalte mit fehlendem Wert '-' in der nullten Zeile finden
position = np.argwhere(preise_numeric[0, : ] == '-')
print("Spaltenindex:", position)

# prüfen, welche Werte in der Spalte vorkommen
print("Anzahl einzigartiger Werte:", len(np.unique(preise_numeric[:, position])))

Spaltenindex: [[13]]
Anzahl einzigartiger Werte: 1
```

Da die viertletzte Spalte ausschließlich das Zeichen '-' enthält, kann die Spalte entfernt werden. Anschließend kann der Datentyp als Fließkommazahl deklariert werden. Dazu ist es erforderlich, mit np.char.replace(preise_numeric, ',', '.') das Dezimaltrennzeichen Komma durch den Punkt zu ersetzen. Die Spaltennamen müssen separat gespeichert werden.

```
# Spalte mit fehlenden Werten entfernen
preise_numeric = np.delete(arr = preise_numeric, obj = position, axis = 1) # axis 1 = column
```

```
# Dezimaltrennzeichen ersetzen
preise_numeric = np.char.replace(preise_numeric, ',', '.')
preise_numeric = preise_numeric.astype('float64')
# Spaltennamen speichern
preise_numeric_colnames = np.loadtxt(fname = dateipfad, dtype = 'str', delimiter = ';', encountered.
preise_numeric_colnames = preise_numeric_colnames[2:] # Datumsspalten entfernen
preise_numeric_colnames = np.delete(arr = preise_numeric_colnames, obj = position)
print(preise numeric colnames, "\n")
print(preise_numeric[0:2, :], preise_numeric.dtype)
['Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen'
 ' Anrainer DE/LU [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Belgien [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Dänemark 1 [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Dänemark 2 [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Frankreich [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Niederlande [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Norwegen 2 [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Österreich [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Polen [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Schweden 4 [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Schweiz [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Tschechien [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Italien (Nord) [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Slowenien [€/MWh] Originalauflösungen'
 'Ungarn [€/MWh] Originalauflösungen']
[[-5.1700e+00 1.3850e+01 -4.3900e+00 2.0100e+00 2.0100e+00 0.0000e+00
  -3.6100e+00 1.1932e+02 1.2060e+01 1.8090e+01 2.0100e+00 3.0000e-02
   4.8400e+00 1.9590e+02 1.3310e+01 1.9760e+01]
 [-1.0700e+00 9.7900e+00 -1.7500e+00 1.3800e+00 1.3800e+00 -1.0000e-01
  -1.4600e+00 1.0883e+02 -1.0000e-01 5.7500e+00 1.3800e+00 -7.2500e+00
  -3.5000e-01 1.9109e+02 -7.0000e-02 1.9000e-01]] float64
```

4.6.2 Pandas

Zunächst wird die Datei der Großhandelspreise mit der Funktion pd.read_csv() eingelesen und der Erfolg durch Aufruf der Funktionen pd.info() kontrolliert.

```
dateipfad = "01-daten/Gro_handelspreise_202301010000_202401010000_Stunde.csv"
preise = pd.read_csv(filepath_or_buffer = dateipfad)
print(preise.info())
```

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
MultiIndex: 8760 entries, ('01.01.2023 00:00;01.01.2023 01:00;-5', '17;13', '85;-4', '39;2',
Data columns (total 1 columns):
    # Column
--- -----
    0 Datum von;Datum bis;Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen; Anrainer DE/LU [
dtypes: int64(1)
memory usage: 4.3+ MB
None
```

Es wird nur eine Spalte erkannt, da im Datensatz das Semikolon als Zeichentrenner verwendet wird, das nun mit dem Argument sep = ';' übergeben wird (Standardwert ist das Komma). Durch Aufruf der Funktionen pd.info() und pd.head() wird der Erfolg kontrolliert.

```
dateipfad = "01-daten/Gro_handelspreise_202301010000_202401010000_Stunde.csv"
preise = pd.read_csv(filepath_or_buffer = dateipfad, sep = ';')
print(preise.info())
preise.head()
```

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 8760 entries, 0 to 8759
Data columns (total 19 columns):

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Datum von	8760 non-null	object
1	Datum bis	8760 non-null	object
2	Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
3	Anrainer DE/LU [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
4	Belgien [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
5	Dänemark 1 [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
6	Dänemark 2 [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
7	Frankreich [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
8	Niederlande [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
9	Norwegen 2 [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
10	Österreich [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
11	Polen [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object
12	Schweden 4 [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	object

13	Schweiz [€/MWh] Originalauflösungen	8760	non-null	object
14	Tschechien [€/MWh] Originalauflösungen	8760	non-null	object
15	DE/AT/LU [€/MWh] Originalauflösungen	8760	non-null	object
16	Italien (Nord) [€/MWh] Originalauflösungen	8760	non-null	object
17	Slowenien [€/MWh] Originalauflösungen	8760	non-null	object
18	Ungarn [€/MWh] Originalauflösungen	8760	non-null	object

dtypes: object(19)
memory usage: 1.3+ MB

None

	Datum von	Datum bis	Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen	Anrainer
0	01.01.2023 00:00	01.01.2023 01:00	-5,17	13,85
1	01.01.2023 01:00	01.01.2023 02:00	-1,07	9,79
2	$01.01.2023\ 02:00$	$01.01.2023 \ 03:00$	-1,47	8,91
3	$01.01.2023 \ 03:00$	$01.01.2023\ 04:00$	-5,08	6,58
4	01.01.2023 04:00	$01.01.2023\ 05:00$	-4,49	5,42

In der Ausgabe ist am Datentyp object erkennbar, dass für keine Spalte der Datentyp erkannt wurde. In der Darstellung der ersten Zeilen des Datensatzes ist das Komma als Dezimaltrennzeichen zu sehen, der Standardwert der Funktion pd.read_csv() ist aber der Punkt. Nach Übergabe des Dezimaltrennzeichens sollten die numerischen Spalten korrekt erkannt werden.

```
preise = pd.read_csv(filepath_or_buffer = dateipfad, sep = ';', decimal = ',')
print(preise.info())
```

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 8760 entries, 0 to 8759
Data columns (total 19 columns):

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Datum von	8760 non-null	object
1	Datum bis	8760 non-null	object
2	Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	float64
3	Anrainer DE/LU [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	float64
4	Belgien [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	float64
5	Dänemark 1 [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	float64
6	Dänemark 2 [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	float64
7	Frankreich [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	float64
8	Niederlande [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	float64

```
Norwegen 2 [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                       float64
9
10 Österreich [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
11 Polen [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
12
   Schweden 4 [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
13 Schweiz [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
   Tschechien [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
15 DE/AT/LU [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      object
16 Italien (Nord) [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                       float64
   Slowenien [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
18 Ungarn [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                       float64
```

dtypes: float64(16), object(3)

memory usage: 1.3+ MB

None

Der Datentyp der Spalte DE/AT/LU [€/MWh] Originalauflösungen wird nicht als float64 erkannt. In der Ausgabe ist zu sehen, dass wenigstens in den ersten Zeilen fehlende Werte durch '-' markiert sind. Mittels der Methode .describe() kann überprüft werden, ob die Spalte überhaupt numerische Werte enthält.

preise['DE/AT/LU [€/MWh] Originalauflösungen'].describe()

count 8760 unique 1 top - freq 8760

Name: DE/AT/LU [€/MWh] Originalauflösungen, dtype: object

Da dies nicht der Fall ist, kann die Spalte entfernt werden. Anschließend können die ersten beiden Spalten mit der Funktion pd.to_datetime() in ein Datumsformat konvertiert werden. Eine Zelle enthält Zeichenketten im Schema '01.01.2023 00:00'. Mit Hilfe der strftime-Dokumentation kann der Funktion das Datumsformat übergeben werden.

```
preise.drop(labels = 'DE/AT/LU [€/MWh] Originalauflösungen', axis = 'columns', inplace = True
## Datumsspalten konvertieren
preise['Datum von'] = pd.to_datetime(preise['Datum von'], format = "%d.%m.%Y %H:%M")
preise['Datum bis'] = pd.to_datetime(preise['Datum bis'], format = "%d.%m.%Y %H:%M")
print(preise.info())
```

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 8760 entries, 0 to 8759

```
Data columns (total 18 columns):
#
     Column
                                                       Non-Null Count Dtype
0
    Datum von
                                                                      datetime64[ns]
                                                       8760 non-null
 1
    Datum bis
                                                       8760 non-null
                                                                      datetime64[ns]
    Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen 8760 non-null
                                                                      float64
 3
      Anrainer DE/LU [€/MWh] Originalauflösungen
                                                      8760 non-null
                                                                      float64
    Belgien [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
 4
                                                                      float64
 5
    Dänemark 1 [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null float64
    Dänemark 2 [€/MWh] Originalauflösungen
6
                                                       8760 non-null
                                                                     float64
7
    Frankreich [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                     float64
 8
    Niederlande [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
9
     Norwegen 2 [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
 10 Österreich [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
 11 Polen [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
 12 Schweden 4 [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                     float64
 13 Schweiz [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
 14 Tschechien [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                     float64
 15 Italien (Nord) [€/MWh] Originalauflösungen
                                                      8760 non-null
                                                                      float64
 16 Slowenien [€/MWh] Originalauflösungen
                                                      8760 non-null
                                                                      float64
 17 Ungarn [€/MWh] Originalauflösungen
                                                       8760 non-null
                                                                      float64
dtypes: datetime64[ns](2), float64(16)
memory usage: 1.2 MB
None
```

Wenn der innere Aufbau einer Datei bekannt ist, können die notwendigen Parameter auch direkt beim Einlesen mit pd.read_csv übergeben werden (Argumente usecols, parse_dates und date_format).

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 8760 entries, 0 to 8759
Data columns (total 18 columns):

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Datum von	8760 non-null	datetime64[ns]
1	Datum bis	8760 non-null	datetime64[ns]
2	Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen	8760 non-null	float64

```
3
      Anrainer DE/LU [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                       float64
    Belgien [€/MWh] Originalauflösungen
 4
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
    Dänemark 1 [€/MWh] Originalauflösungen
 5
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
    Dänemark 2 [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
 6
7
    Frankreich [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
8
    Niederlande [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
 9
    Norwegen 2 [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                       float64
 10 Österreich [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
 11 Polen [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                      float64
 12 Schweden 4 [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
 13 Schweiz [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
 14 Tschechien [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
 15 Italien (Nord) [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
 16 Slowenien [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
 17 Ungarn [€/MWh] Originalauflösungen
                                                        8760 non-null
                                                                        float64
dtypes: datetime64[ns](2), float64(16)
memory usage: 1.2 MB
None
```

4.7 Zugriff auf Zeitreihen

Pandas bietet zahlreiche Attribute und Methoden, um Informationen aus datetime64-Objekten auszulesen. NumPy unterstützt vergleichbare Funktionen derzeit nicht nativ. Eine Übersicht aller verfügbaren Attribute und Methoden liefert dir (pd.to_datetime(0)).

```
# Attribute
print("Jahr:", pd.to_datetime(0).year)
print("Monat:", pd.to_datetime(0).month)
print("Tag:", pd.to_datetime(0).day)
print("Stunde:", pd.to_datetime(0).hour)
print("Minute:", pd.to_datetime(0).minute)
print("Sekunde:", pd.to_datetime(0).second)
print("Tag des Jahres:", pd.to_datetime(0).dayofyear)
print("Wochentag:", pd.to_datetime(0).dayofweek)
print("Tage im Monat:", pd.to_datetime(0).days_in_month)
print("Schaltjahr:", pd.to_datetime(0).is_leap_year)

# Methoden
print("\nDatum:", pd.to_datetime(0).date())
print("Zeit:", pd.to_datetime(0).time())
```

```
print("Wochentag (0-6):", pd.to_datetime(0).weekday())
print("Monatsname:", pd.to_datetime(0).month_name())
```

Jahr: 1970 Monat: 1 Tag: 1 Stunde: 0 Minute: 0 Sekunde: 0

Tag des Jahres: 1 Wochentag: 3

Tage im Monat: 31 Schaltjahr: False

Datum: 1970-01-01 Zeit: 00:00:00 Wochentag (0-6): 3 Monatsname: January

Für pd.Series erfolgt der Zugriff über den .dt-Operator (siehe .dt accessor). Der Zugriff auf verschiedene Informationen über ein Attribut (ohne Klammern) oder über eine Methode (mit Klammern) unterscheidet sich jedoch teilweise (siehe folgendes Beispiel).

Der dt-Operator

```
# Attribute
print("Datum:", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.date) # Unterschied
print("Zeit:", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.time) # Unterschied
print("Jahr", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.year)
print("Monat", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.month)
print("Tag", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.day)
print("Stunde", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.hour)
print("Minute", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.minute)
print("Sekunde", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.second)
print("\nTag des Jahres", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.dayofyear)
print("Wochentag:", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.dayofweek)
print("Wochentag:", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.weekday) # Unterschied
print("Tage im Monat:", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.days_in_month)
print("Schaltjahr:", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.is_leap_year)
# Methoden
print("\nName des Monats:", pd.Series(pd.to_datetime(0)).dt.month_name())
Datum: 0
         1970-01-01
dtype: object
Zeit: 0
           00:00:00
dtype: object
Jahr 0 1970
dtype: int32
Monat 0
dtype: int32
Tag 0
dtype: int32
Stunde 0
dtype: int32
Minute 0
dtype: int32
Sekunde 0
dtype: int32
Tag des Jahres 0
dtype: int32
Wochentag: 0
dtype: int32
```

```
Wochentag: 0 3
dtype: int32
Tage im Monat: 0 31
dtype: int32
Schaltjahr: 0 False
dtype: bool

Name des Monats: 0 January
dtype: object
```

Die im vorherigen Abschnitt eingelesenen Großhandelspreise für Strom 2023 sollen auf die Unterschiede an Werktagen und am Wochenende untersucht werden. Vergleichen Sie den durchschnittlichen Strompreis im Gebiet Deutschland/Luxemburg an Werktagen (Montag - Freitag) mit dem durchschnittlichen Strompreis am Wochenende.

```
Tipp 22: Musterlösung Strompreisvergleich
## Zugriff mit .dt für pd.Series
# Werktage und Wochenende unterscheiden
werktags = preise['Datum von'].dt.weekday.isin(list(range(0, 5)))
wochenende = preise['Datum von'].dt.weekday.isin(list(range(5, 7)))
print(werktags.head())
print(wochenende.head())
# Preise vergleichen
preis_werktags = preise.loc[werktags, 'Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösungen']
preis_wochenende = preise.loc[wochenende, 'Deutschland/Luxemburg [€/MWh] Originalauflösunge
print(f"\nDurchschnittspreis werktags: {preis_werktags:.2f} [€/MWh]\nDurchschnittspreis am
     False
1
     False
2
    False
3
    False
    False
Name: Datum von, dtype: bool
     True
1
     True
2
     True
3
     True
     True
```

Name: Datum von, dtype: bool

Durchschnittspreis werktags: 103.18 [€/MWh]
Durchschnittspreis am Wochenende: 75.34 [€/MWh]

4.8 Fehlende Werte in Zeitreihen

NumPy und Pandas unterstützen NaT für np.datetime64, np.timedelta64

• NumPy: https://numpy.org/doc/stable/reference/arrays.datetime.html NAT, in any combination of lowercase/uppercase letters, for a "Not A Time"

• Pandas: https://pandas.pydata.org/docs/user_guide/missing_data.html

⚠ Warning 6: Achtung Logik!

Die logische Abfrage fehlender Werte unterscheidet sich für None, np.nan und pd.NA und pd.NaT.

```
bool_values = [None, float('nan'), pd.NA, pd.NaT]
for element in bool_values:
  try:
    bool_value = bool(element)
  except TypeError as error:
      print(error)
  else:
    print("Wahrheitswert von", element, "ist", bool_value)
Wahrheitswert von None ist False
Wahrheitswert von nan ist True
boolean value of NA is ambiguous
Wahrheitswert von NaT ist True
Dies gilt auch für die Wertgleichheit.
for element in bool_values:
    result = element == element
  except TypeError as error:
```

```
try:
    result = element == element
except TypeError as error:
    print(error)
else:
    print("Wertgleichheit von", element, "ist", result)
```

Wertgleichheit von None ist True Wertgleichheit von nan ist False Wertgleichheit von <NA> ist <NA> Wertgleichheit von NaT ist False

4.9 Übungen: Zeitreihen einlesen

Die folgenden Übungen trainieren die Anwendung der in diesem Kapitel vorgestellten Werkzeuge und können mit NumPy oder mit Pandas gelöst werden.

"everybody I know has war stories about cleaning up lousy datasets" Nicholas J. Cox

Cox, Nicholas J. 2004: Exploratory Data Mining and Data Cleaning. Book Review 9. In: Journal of Statistical Software 2004, Volume 11. https://www.jstatsoft.org/article/view/v011b09/30

Leicht: Englisches Datumsformat einlesen

Aufgabe: Lesen Sie die Datei Dateipfad: '01-daten/Day-ahead_prices_202301010000_2024010100 so ein, dass die Datentypen korrekt erkannt werden. (Hinweise zur Datei siehe Hinweis 5, siehe Dokumentation strftime zur string-Formatierung)

```
Tipp 23: Musterlösung Strompreise
import pandas as pd
dateipfad = "01-daten/Day-ahead_prices_202301010000_202401010000_Hour.csv"
data = pd.read_csv(dateipfad, sep=";") # Semikolon als Trennzeichen muss angegeben werden
data.info() # -> man sieht, dass Spalten 0 "Start date" und 1 "End date" als Dtype "object"
print("\n")
print(data.iloc[0:10, 0:2], "\n") # anzeigen von ein paar Zeilen, um zu schauen wie die ers
# Ausgabe lautet:
# Start date: Jan 1, 2023 12:00 AM
# End date Jan 1, 2023 1:00 AM
# also bieten sich zwei Varianten an:
# 1. Variante: beim Einlesen schon Datumsformat angeben:
data = pd.read_csv(dateipfad, sep=";", parse_dates=[0,1], date_format="%b %d, %Y %I:%M %p
# 2. Variante: Die beiden Spalten zu Anfang, die dtype object haben, seperat ändern nachder
data["Start date"] = pd.to_datetime(data["Start date"], format="%b %d, %Y %I:%M %p")
data["End date"] = pd.to_datetime(data["End date"], format="%b %d, %Y %I:%M | %p")
print(data.iloc[0:10, 0:2], "\n")
data.info()
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 8760 entries, 0 to 8759
Data columns (total 19 columns):
     Column
                                                       Non-Null Count Dtype
```

l		
O Start date	8760 non-null	object
1 End date	8760 non-null	object
2 Germany/Luxembourg [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
3 DE/LU neighbours [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
4 Belgium [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
5 Denmark 1 [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
6 Denmark 2 [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
7 France [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
8 Netherlands [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
9 Norway 2 [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
10 Austria [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
11 Poland [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
12 Sweden 4 [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
13 Switzerland [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
14 Czech Republic [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
15 DE/AT/LU [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	object
16 Northern Italy [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
17 Slovenia [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
18 Hungary [€/MWh] Original resolutions	8760 non-null	float64
dtypes: float64(16), object(3)		
memory usage: 1.3+ MB		
Chart data End data		
Start date		
1 Jan 1, 2023 1:00 AM Jan 1, 2023 1:00 AM		
2 Jan 1, 2023 2:00 AM Jan 1, 2023 2:00 AM		
3 Jan 1, 2023 3:00 AM Jan 1, 2023 3:00 AM		
4 Jan 1, 2023 4:00 AM Jan 1, 2023 4:00 AM		
5 Jan 1, 2023 5:00 AM Jan 1, 2023 5:00 AM		
6 Jan 1, 2023 6:00 AM Jan 1, 2023 7:00 AM		
7 Jan 1, 2023 7:00 AM Jan 1, 2023 7:00 AM		
8 Jan 1, 2023 8:00 AM Jan 1, 2023 9:00 AM		
9 Jan 1, 2023 9:00 AM Jan 1, 2023 10:00 AM		
3 Jan 1, 2020 3.00 km Jan 1, 2020 10.00 km		
Start date End date		
0 2023-01-01 00:00:00 2023-01-01 01:00:00		
1 2023-01-01 01:00:00 2023-01-01 02:00:00		
2 2023-01-01 02:00:00 2023-01-01 03:00:00		
3 2023-01-01 03:00:00 2023-01-01 04:00:00		
4 2023-01-01 04:00:00 2023-01-01 05:00:00		

```
5 2023-01-01 05:00:00 2023-01-01 06:00:00
6 2023-01-01 06:00:00 2023-01-01 07:00:00
7 2023-01-01 07:00:00 2023-01-01 08:00:00
8 2023-01-01 08:00:00 2023-01-01 09:00:00
9 2023-01-01 09:00:00 2023-01-01 10:00:00
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 8760 entries, 0 to 8759
Data columns (total 19 columns):
     Column
                                                      Non-Null Count
                                                                      Dtype
     _____
     Start date
                                                      8760 non-null
                                                                       datetime64[ns]
 0
                                                      8760 non-null
                                                                       datetime64[ns]
 1
     End date
 2
                                                                       float64
     Germany/Luxembourg [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
 3
      DE/LU neighbours [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                      float64
    Belgium [€/MWh] Original resolutions
                                                                      float64
                                                      8760 non-null
 5
     Denmark 1 [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       float64
 6
    Denmark 2 [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                      float64
    France [€/MWh] Original resolutions
 7
                                                      8760 non-null
                                                                      float64
 8
    Netherlands [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                      float64
 9
     Norway 2 [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       float64
 10 Austria [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       float64
 11 Poland [€/MWh] Original resolutions
                                                                       float64
                                                      8760 non-null
 12 Sweden 4 [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       float64
 13 Switzerland [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       float64
 14 Czech Republic [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                      float64
 15 DE/AT/LU [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       object
 16 Northern Italy [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       float64
 17 Slovenia [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       float64
 18 Hungary [€/MWh] Original resolutions
                                                      8760 non-null
                                                                       float64
dtypes: datetime64[ns](2), float64(16), object(1)
memory usage: 1.3+ MB
```

Musterlösung von Marc Sönnecken. Zur Verbesserung der Lesbarkeit wurde die Ausgabe mit print(data.head(10)) ersetzt durch print(data.iloc[0:10, 0:2], "\n"). Um sich einen Überblick über einen Datensatz zu verschaffen, ist die Methode .head() jedoch besser geeignet

Mittel: Strommarktdaten Österreich

Die Austrian Power Grid AG (APG) veröffentlicht Strommarktdaten unter https://markttransparenz.apg.at/. Unter dem Link können Erzeugungsdaten für das Jahr 2023 heruntergeladen werden.



Diesem Skript ist folgende Datei angefügt.

Daten	Dateiname
Realisierte Stromerzeugung 2023	AGPT_2022-12-31T23_00_00Z_2023-12- 31T23_00_00Z_15M_de_2024-06- 10T09_32_38Z.csv

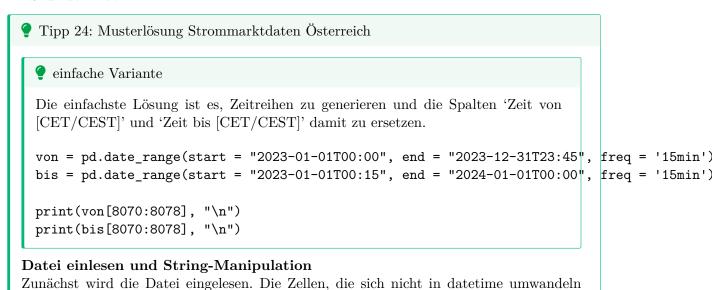
In dem Datensatz wird durch die Umstellung von Sommer- auf Winterzeit am letzten Sonntag im Oktober die Stunde 2 Uhr morgens doppelt eingetragen (dafür fehlt eine Stunde bei der Umstellung von Winter- auf Sommerzeit am letzten Sonntag im März). Die doppelte Stunde

wird im Datensatz mit 2A bzw. 2B gekennzeichnet. (Mitteilung Austrian Power Grid AG vom 13.08.2024)

	Α	В	С	D
1	Zeit von [CET/CEST]	Zeit bis [CET/CEST]	Wind [MW]	Solar [MW] Biom
28899	29.10.2023 01:15:00	29.10.2023 01:30:00	396	0
28900	29.10.2023 01:30:00	29.10.2023 01:45:00	360	0
28901	29.10.2023 01:45:00	29.10.2023 2A:00:00	308	0
28902	29.10.2023 2A:00:00	29.10.2023 2A:15:00	300	0
28903	29.10.2023 2A:15:00	29.10.2023 2A:30:00	296	0
28904	29.10.2023 2A:30:00	29.10.2023 2A:45:00	288	0
28905	29.10.2023 2A:45:00	29.10.2023 2B:00:00	272	0
28906	29.10.2023 2B:00:00	29.10.2023 2B:15:00	264	0
28907	29.10.2023 2B:15:00	29.10.2023 2B:30:00	260	0
28908	29.10.2023 2B:30:00	29.10.2023 2B:45:00	252	0
28909	29.10.2023 2B:45:00	29.10.2023 03:00:00	240	0
28910	29.10.2023 03:00:00	29.10.2023 03:15:00	244	0

Abbildung 4.5: Zeitumstellung im österreichischen Datensatz

Lesen Sie die Datei so ein, dass die Spalten mit Datums- und Zeitinformationen als datetime erkannt werden. Lösen Sie die Zeitumstellung so auf, dass jeder Tag 24 Stunden hat.



lassen, können mit Python ausgegeben werden.

```
# Datei einlesen
erzeugung_austria = pd.read_csv(filepath_or_buffer = "01-daten/AGPT_2022-12-31T23_00_00Z_20
                                sep = ";", decimal = ",", thousands = ".")
# Zellen mit fehlerhaften datetime strings identifizieren
print("Spalte 'Zeit von [CET/CEST]'")
i = 0
position_element = []
for element in erzeugung_austria['Zeit von [CET/CEST]']:
    pd.to_datetime(element, format = "%d.%m.%Y %H:%M:%S")
  except:
    print(element)
    position_element.append(i)
print("\nDie Zellen haben den Zeilenindex: ", position_element, "\n")
print("Spalte 'Zeit bis [CET/CEST]'")
i = 0
position_element = []
for element in erzeugung_austria['Zeit bis [CET/CEST]']:
    pd.to_datetime(element, format = "%d.%m.%Y %H:%M:%S")
  except:
    print(element)
    position_element.append(i)
print("\nDie Zellen haben den Zeilenindex: ", position element, "\n")
Spalte 'Zeit von [CET/CEST]'
29.10.2023 2A:00:00
29.10.2023 2A:15:00
29.10.2023 2A:30:00
29.10.2023 2A:45:00
29.10.2023 2B:00:00
29.10.2023 2B:15:00
29.10.2023 2B:30:00
29.10.2023 2B:45:00
Die Zellen haben den Zeilenindex: [28900, 28901, 28902, 28903, 28904, 28905, 28906, 28907]
```

```
Spalte 'Zeit bis [CET/CEST]'
29.10.2023 2A:00:00
29.10.2023 2A:15:00
29.10.2023 2A:30:00
29.10.2023 2A:45:00
29.10.2023 2B:00:00
29.10.2023 2B:15:00
29.10.2023 2B:30:00
29.10.2023 2B:45:00
Die Zellen haben den Zeilenindex: [28899, 28900, 28901, 28902, 28903, 28904, 28905, 28906]
Damit die Datumsspalten korrekt eingelesen werden können, werden die Zeichenfolgen
"2A" und "2B" mit der Methode str.replace() durch "02" ersetzt. Dadurch wird eine
Dublette im Datensatz erzeugt.
# string replace & als Datum einlesen
## Spalte Zeit von [CET/CEST]
erzeugung_austria['Zeit von [CET/CEST]'] = erzeugung_austria['Zeit von [CET/CEST]'].str.rej
erzeugung_austria['Zeit von [CET/CEST]'] = erzeugung_austria['Zeit von [CET/CEST]'].str.re
erzeugung_austria['Zeit von [CET/CEST]'] = pd.to_datetime(erzeugung_austria['Zeit von [CET,
## Spalte Zeit bis [CET/CEST]
erzeugung_austria['Zeit bis [CET/CEST]'] = erzeugung_austria['Zeit bis [CET/CEST]'].str.re
erzeugung austria['Zeit bis [CET/CEST]'] = erzeugung austria['Zeit bis [CET/CEST]'].str.re
erzeugung austria['Zeit bis [CET/CEST]'] = pd.to_datetime(erzeugung austria['Zeit bis [CET,
print(erzeugung_austria.info())
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 35040 entries, 0 to 35039
Data columns (total 15 columns):
     Column
                                    Non-Null Count Dtype
   ----
    Zeit von [CET/CEST]
                                    35040 non-null datetime64[ns]
                                    35040 non-null datetime64[ns]
 1 Zeit bis [CET/CEST]
                                    35040 non-null float64
 2 Wind [MW]
                                    35040 non-null float64
    Solar [MW]
    Biomasse [MW]
                                    35040 non-null float64
                                    35040 non-null float64
     Gas [MW]
```

```
Kohle [MW]
                                  35040 non-null float64
6
   Öl [MW]
7
                                  35040 non-null
                                                  float64
   Geothermie [MW]
                                  35040 non-null
                                                  float64
   Pumpspeicher [MW]
                                  35040 non-null float64
   Lauf- und Schwellwasser [MW]
                                  35040 non-null
                                                  float64
11
   Speicher [MW]
                                  35040 non-null float64
   Sonstige Erneuerbare [MW]
                                  35040 non-null float64
13
   Müll [MW]
                                  35040 non-null
                                                  float64
   Andere [MW]
                                  35040 non-null float64
```

dtypes: datetime64[ns](2), float64(13)

memory usage: 4.0 MB

None

Indexpositionen der doppelten und der fehlenden Stunde bestimmen

Im nächsten Schritt werden die Indexposition der doppelten und der fehlenden Stunde bestimmt. Dazu wird ein neues Objekt angelegt, das auf den Speicherbereich der Datumsspalten zugreift (was nicht zwingend erforderlich ist). Die Position der doppelten Stunde wird mit der Methode pd.Series.duplicated() bestimmt, die einen logischen Vektor zurückgibt. Dieser wird zum Slicing und der Ausgabe der Indexposition verwendet. Durch die Subtraktion von 4 wird der Index der ersten Stunde ausgegeben (der Datensatz ist auf Viertelstundenbasis).

 $doppelte\ Stunde$

```
# neues Objekt anlegen
austria_dates = erzeugung_austria[['Zeit von [CET/CEST]', 'Zeit bis [CET/CEST]']].copy()
# Indexposition der doppelten Stunde bestimmen
## Zeit von
position doppelte_stunde_von = austria_dates['Zeit von [CET/CEST]'][austria_dates['Zeit von
print(f"Die doppelte Stunde (Zeit von):\n{austria_dates.loc[position_doppelte_stunde_von,
f"\nDie nächste Stunde lautet:\n{austria_dates.loc[position_doppelte_stunde_von + 4, 'Zeit
f"\n\nBeide Stunden sind identisch.")
### Ende der Verschiebung in Spalte Zeit von
ende_verschiebung_von = position_doppelte_stunde_von[-1]
print(f"\nDie Zeitverschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition in der Sp
## Zeit bis
position_doppelte_stunde_bis = austria_dates['Zeit bis [CET/CEST]'][austria_dates['Zeit bis
print(f"\n\nDie doppelte Stunde (Zeit bis):\n{austria_dates.loc[position_doppelte_stunde_b:
f"\nDie nächste Stunde lautet:\n{austria_dates.loc[position_doppelte_stunde_bis + 4, 'Zeit
f"\n\nBeide Stunden sind identisch.")
### Ende der Verschiebung in Spalte Zeit bis
ende_verschiebung_bis = position_doppelte_stunde_bis[-1]
print(f"\nDie Zeitverschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: {ende_verschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition in der Spalte In
Die doppelte Stunde (Zeit von):
28900 2023-10-29 02:00:00
28901 2023-10-29 02:15:00
28902 2023-10-29 02:30:00
28903 2023-10-29 02:45:00
Name: Zeit von [CET/CEST], dtype: datetime64[ns]
steht an Indexposition
   Index([28900, 28901, 28902, 28903], dtype='int64')
Die nächste Stunde lautet:
28904
                      2023-10-29 02:00:00
28905 2023-10-29 02:15:00
28906 2023-10-29 02:30:00
28907 2023-10-29 02:45:00
Name: Zeit von [CET/CEST], dtype: datetime64[ns]
```

```
Beide Stunden sind identisch.
Die Zeitverschiebung in der Spalte Zeit von endet bei Indexposition: 28903
Die doppelte Stunde (Zeit bis):
28899
        2023-10-29 02:00:00
28900
        2023-10-29 02:15:00
28901 2023-10-29 02:30:00
28902
        2023-10-29 02:45:00
Name: Zeit bis [CET/CEST], dtype: datetime64[ns]
steht an Indexposition
 Index([28899, 28900, 28901, 28902], dtype='int64')
Die nächste Stunde lautet:
28903
      2023-10-29 02:00:00
28904
        2023-10-29 02:15:00
28905
        2023-10-29 02:30:00
28906 2023-10-29 02:45:00
Name: Zeit bis [CET/CEST], dtype: datetime64[ns]
Beide Stunden sind identisch.
Die Zeitverschiebung in der Spalte Zeit bis endet bei Indexposition: 28902
fehlende Stunde
Die Sommerzeit beginnt am letzen Sonntag im März. Die Stunde liegt nicht in range(0,
24). Diese Bedingung kann in vier Schritten kontrolliert werden:
   • Monat März: march = pd.Series[pd.Series.dt.month == 3]
   • Sonntage im März: sundays = march[march.dt.dayofweek == 6]
   • letzter Sonntag im März: Die letzten 23*4 Einträge sind der letzte Sonntag des
     Monats (23 weil eine Stunde fehlt).
     last_sunday = sundays[-23*4:]
```

```
# Indexposition der fehlenden Stunde bestimmen
## Zeit von
### Monat März
maske_märz_von = austria_dates['Zeit von [CET/CEST]'].dt.month == 3
austria_dates_march_von = austria_dates.loc[maske_märz_von, 'Zeit von [CET/CEST]']
print(f"Der Monat März (Zeit von):\n{austria dates_march_von.head}\n");
### letzter Sonntag
maske_sonntag_von = (austria_dates_march_von.dt.dayofweek == 6)
letzter_sonntag_von = (austria_dates_march_von[maske_sonntag_von]) [-23*4 :]
print(f"Der letzte Sonntag im März:\n{letzter_sonntag_von}\n")
### fehlende Stunde
print(letzter_sonntag_von.dt.hour)
fehlende_stunde_von = np.argwhere(np.invert(pd.Series(range(0,24)).isin(letzter_sonntag_von
print(f"\nEs fehlt die Stunde:\n{fehlende_stunde_von}\n")
print(letzter_sonntag_von[letzter_sonntag_von.dt.hour == (fehlende_stunde_von - 1)], letzte
### Beginn der Verschiebung in Spalte Zeit von
beginn_verschiebung_von = letzter_sonntag_von[letzter_sonntag_von.dt.hour == (fehlende_stu
print(f"\nDie Zeitverschiebung in der Spalte Zeit von beginnt bei Indexposition: {beginn_ve
## Zeit bis
### Monat März
maske_märz_bis = austria_dates['Zeit bis [CET/CEST]'].dt.month == 3
austria_dates_march_bis = austria_dates.loc[maske_marz_bis, 'Zeit bis [CET/CEST]']
print(f"Der Monat März (Zeit bis):\n{austria_dates_march_bis.head}\n");
### letzter Sonntag
maske_sonntag_bis = (austria_dates_march_bis.dt.dayofweek == 6)
letzter_sonntag_bis = (austria_dates_march_bis[maske_sonntag_bis]) [-23*4 :]
print(f"Der letzte Sonntag im März:\n{letzter_sonntag_bis}\n")
### fehlende Stunde
print(letzter_sonntag_bis.dt.hour)
fehlende_stunde_bis = np.argwhere(np.invert(pd.Series(range(0,24)).isin(letzter_sonntag_bis
print(f"\nEs fehlt die Stunde:\n{fehlende_stunde_bis}\n")
print(letzter_sonntag_bis[letzter_sonntag_bis.dt.hour == (fehlende_stunde_bis - 1)], letzter
### Beginn der Verschiebung in Spalte Zeit bis
beginn_verschiebung_bis = letzter_sonntag_bis[letzter_sonntag_bis.dt.hour == (fehlende_stu
```

print(f"\nDie Zeitverschiebung in der Spalte Zeit bis beginnt bei Indexposition: {beginn_ve

```
Der Monat März (Zeit von):
<bound method NDFrame.head of 5664 2023-03-01 00:00:00</pre>
5665
      2023-03-01 00:15:00
5666
      2023-03-01 00:30:00
5667 2023-03-01 00:45:00
5668
      2023-03-01 01:00:00
8631 2023-03-31 22:45:00
8632 2023-03-31 23:00:00
8633 2023-03-31 23:15:00
8634 2023-03-31 23:30:00
8635 2023-03-31 23:45:00
Name: Zeit von [CET/CEST], Length: 2972, dtype: datetime64[ns]>
Der letzte Sonntag im März:
8064
      2023-03-26 00:00:00
8065 2023-03-26 00:15:00
8066 2023-03-26 00:30:00
8067 2023-03-26 00:45:00
8068 2023-03-26 01:00:00
8151 2023-03-26 22:45:00
8152 2023-03-26 23:00:00
8153 2023-03-26 23:15:00
8154 2023-03-26 23:30:00
8155
      2023-03-26 23:45:00
Name: Zeit von [CET/CEST], Length: 92, dtype: datetime64[ns]
8064
        0
8065
        0
8066
        0
8067
        0
8068
        1
       . .
8151
       22
8152
       23
8153
       23
8154
       23
8155
       23
Name: Zeit von [CET/CEST], Length: 92, dtype: int32
```

```
Es fehlt die Stunde:
      2023-03-26 01:00:00
8068
8069 2023-03-26 01:15:00
8070 2023-03-26 01:30:00
8071 2023-03-26 01:45:00
Name: Zeit von [CET/CEST], dtype: datetime64[ns]
8072 2023-03-26 03:00:00
8073 2023-03-26 03:15:00
8074 2023-03-26 03:30:00
8075 2023-03-26 03:45:00
Name: Zeit von [CET/CEST], dtype: datetime64[ns]
Die Zeitverschiebung in der Spalte Zeit von beginnt bei Indexposition: 8072
Der Monat März (Zeit bis):
<bound method NDFrame.head of 5663 2023-03-01 00:00:00</pre>
5664
      2023-03-01 00:15:00
5665 2023-03-01 00:30:00
5666 2023-03-01 00:45:00
5667 2023-03-01 01:00:00
              . . .
8630 2023-03-31 22:45:00
8631 2023-03-31 23:00:00
8632 2023-03-31 23:15:00
8633 2023-03-31 23:30:00
8634
      2023-03-31 23:45:00
Name: Zeit bis [CET/CEST], Length: 2972, dtype: datetime64[ns]>
Der letzte Sonntag im März:
8063 2023-03-26 00:00:00
8064 2023-03-26 00:15:00
8065 2023-03-26 00:30:00
8066 2023-03-26 00:45:00
8067 2023-03-26 01:00:00
              . . .
8150 2023-03-26 22:45:00
8151
      2023-03-26 23:00:00
8152
      2023-03-26 23:15:00
```

```
8153
       2023-03-26 23:30:00
8154
       2023-03-26 23:45:00
Name: Zeit bis [CET/CEST], Length: 92, dtype: datetime64[ns]
8063
         0
8064
         0
8065
         0
8066
         0
8067
         1
8150
        22
8151
        23
        23
8152
8153
        23
8154
        23
Name: Zeit bis [CET/CEST], Length: 92, dtype: int32
Es fehlt die Stunde:
8067
       2023-03-26 01:00:00
8068
       2023-03-26 01:15:00
       2023-03-26 01:30:00
8069
8070
       2023-03-26 01:45:00
Name: Zeit bis [CET/CEST], dtype: datetime64[ns]
       2023-03-26 03:00:00
8071
8072
       2023-03-26 03:15:00
8073
       2023-03-26 03:30:00
8074
       2023-03-26 03:45:00
Name: Zeit bis [CET/CEST], dtype: datetime64[ns]
Die Zeitverschiebung in der Spalte Zeit bis beginnt bei Indexposition: 8071
```

Mit den gespeicherten Indexpositionen können die betreffenden Zeitstempel verschoben werden:

- Spalte Zeit von: 8072 (Objekt beginn_verschiebung_von) bis 28903 (Objekt ende_verschiebung_von)
- Spalte Zeit bis: 8071 (Objekt beginn_verschiebung_bis) bis 28902 (Objekt ende_verschiebung_bis)

Für das Slicing wird die Methode pd.Series.iloc[] verwendet, die exklusiv inde-

```
xiert, d. h. die Endpositionen müssen um 1 erhöht werden. Durch Subtraktion von
pd.Timedelta(1, unit = 'h') wird die Zeitverschiebung aus dem Datensatz entfernt.
# Zeitverschiebung korrigieren
## Zeit von
austria_dates['Zeit von [CET/CEST]'].iloc[beginn_verschiebung_von : ende_verschiebung_von :
erzeugung_austria['Zeit von [CET/CEST]'] = austria_dates['Zeit von [CET/CEST]']
## Zeit bis
 austria_dates['Zeit bis [CET/CEST]'].iloc[beginn_verschiebung_bis : ende_verschiebung_bis -
erzeugung_austria['Zeit bis [CET/CEST]'] = austria_dates['Zeit bis [CET/CEST]']
# Kontrolle
print("Kontrolle im Datensatz +/- eine Viertelstunde\n")
print("Die Spalte Zeit von")
print(erzeugung_austria['Zeit von [CET/CEST]'].iloc[beginn_verschiebung_von -1 : ende_verschiebung_von -1 : ende_verschiebung_von
print("Die Spalte Zeit bis")
print(erzeugung_austria['Zeit bis [CET/CEST]'].iloc[beginn_verschiebung_bis -1 : ende_verschiebung_bis -1 : ende_verschiebung_bis
Kontrolle im Datensatz +/- eine Viertelstunde
Die Spalte Zeit von
8071
                                2023-03-26 01:45:00
8072
                               2023-03-26 02:00:00
8073 2023-03-26 02:15:00
8074
                               2023-03-26 02:30:00
8075
                               2023-03-26 02:45:00
                                                                . . .
 28900 2023-10-29 01:00:00
 28901 2023-10-29 01:15:00
28902 2023-10-29 01:30:00
28903
                               2023-10-29 01:45:00
 28904
                               2023-10-29 02:00:00
Name: Zeit von [CET/CEST], Length: 20834, dtype: datetime64[ns]
Die Spalte Zeit bis
8070
                                2023-03-26 01:45:00
8071
                                2023-03-26 02:00:00
 8072
                                2023-03-26 02:15:00
```

```
8073
        2023-03-26 02:30:00
8074
        2023-03-26 02:45:00
                . . .
28899
        2023-10-29 01:00:00
28900
        2023-10-29 01:15:00
28901
        2023-10-29 01:30:00
28902
        2023-10-29 01:45:00
28903
        2023-10-29 02:00:00
Name: Zeit bis [CET/CEST], Length: 20834, dtype: datetime64[ns]
```

Schwer: CAPE Ratio - ein Datensatz voller Tücken

Der Nobelpreisgewinner für Wirtschaftswissenschaften von 2013 Robert Shiller pflegt einen Datensatz mit monatlichen Kursdaten des amerikanischen Aktienindexes S&P500 und weiteren Wirtschaftsindikatoren zur Berechnung des inflationsbereinigten Kurs-Gewinn-Verhältnisses (CAPE Ratio). Der Datensatz ist auf der Webseite von Robert Shiller verfügbar (Direktlink zur XLS-Datei). Lesen Sie den Datensatz ein.

Daten	Dateiname
monatliche Kursdaten S&P500	shiller_data.xls

💡 Tipp 25: Hinweise und Musterlösung Shiller data

Schauen Sie sich den Datensatz zunächst mit einem Tabellenkalkulationsprogramm an. Bemerkenswerte Auffälligkeiten sind:

- Metadaten in den Zeilen 2 und 3, in denen teilweise auch Spaltenbeschriftungen eingetragen sind, sowie am Ende des Datensatzes,
- mehrzeilige Spaltenbeschriftungen,
- Leerspalten P und N,
- Kennzeichnung fehlender Werte durch 'NA' und leere Zellen '' sowie
- abweichende Formatierung des Monats Oktober in der Spalte Date 'YYYY-M'.

5 Zugriff auf mehrere lokale Dateien: Modul glob

Das Modul glob erlaubt es, mit der Funktion glob.glob(pathname, *, root_dir = None, recursive = False) aus einem Ordner alle Dateipfade, die dem im Argument pathname spezifizierten Muster entsprechen zurückzugeben. Das Argument pathname kann als Schlüsselwort oder positional übergeben werden, die übrigen Argumente müssen als Schlüsselwort übergeben werden (dies signalisiert das Zeichen *). Die Speicheradresse des Ordners wird mit dem Argument root_dir übergeben, dessen Standardwert das aktuelle Arbeitsverzeichnis ist. Im Argument pathname können Platzhalter, sogenannte Wildcards, verwendet werden, um beliebige Zeichen und Zeichenfolgen zu spezifizieren.

Wildcard	Funktion					
*	beliebige Zeichenfolge außer Dateipfadelemente wie / oder .					
?	genau ein beliebiges Zeichen					
[]	alle in den Klammern eingeschlossenen Zeichen inklusive der					
	Wildcards * ?					
[0-9]	alle Ziffern 0 bis 9					

Unter dem Pfad '01-daten/glob' liegen, teils in einem Unterordner, verschiedene Dateien.

```
import glob
ordnerpfad = '01-daten/glob'

pfadliste = glob.glob(pathname = '*', root_dir = ordnerpfad, recursive = False)
print(pfadliste)
```

['Unfallorte2022_LinRef.csv', 'Unterordner glob', 'Unfallorte2020_LinRef.csv', 'ToothGrowth.

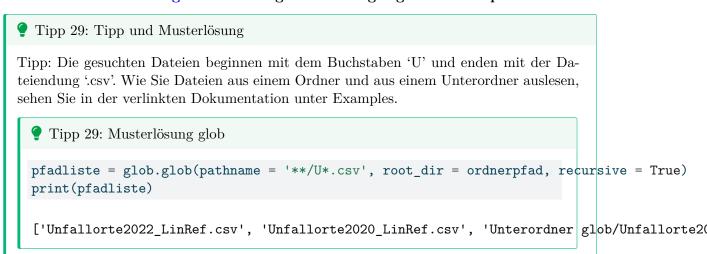
Das Argument recursive steuert, ob auch Unterordner durchsucht werden. Um auch Unterordner zu durchsuchen, muss es auf True gesetzt und im pathname ** spezifiziert werden.

```
pfadliste = glob.glob(pathname = '**', root_dir = ordnerpfad, recursive = True)
print(pfadliste)
```

['Unfallorte2022_LinRef.csv', 'Unterordner glob', 'Unterordner glob/Unfallorte2021_LinRef.cs

Im angegebenen Pfad '01-daten/glob' liegen die Dateien 'hintergrund.png', 'ToothGrowth.csv', 'Unfallorte2020_LinRef.csv', 'Unfallorte2022_LinRef.csv' sowie der Unterordner 'Unterordner glob'. In diesem Unterordner liegen die Dateien 'Unfallorte2021_LinRef.csv' und 'Unfallorte2023 LinRef.csv'.

Um die Suchergebnisse auf die Dateien 'Unfallorte2020_LinRef.csv', 'Unfallorte2021_LinRef.csv', 'Unfallorte2022_LinRef.csv' und 'Unfallorte2023_LinRef.csv' zu beschränken, muss der im Argument pathname übergebene Dateipfad angepasst werden. Schauen Sie in die Dokumentation des Moduls glob und übergeben einen geeigneten Dateipfad.



Mit den Dateipfaden können die Dateien mit Hilfe einer Schleife in eine Liste eingelesen werden (aus Gründen der Lesbarkeit jeweils 3 Zeilen und 3 Spalten).

```
list_of_files = []
for pfad in pfadliste:
   zwischenspeicher = pd.read_csv(filepath_or_buffer = ordnerpfad + '/' + pfad,
   delimiter = ';', nrows = 3, usecols = [0, 1, 2])
   list_of_files.append(zwischenspeicher)
   print(pfad, "\n", zwischenspeicher, "\n")
```

```
Unfallorte2022_LinRef.csv

OBJECTID UIDENTSTLAE ULAND
```

```
      0
      1
      1220204125013262022
      1

      1
      2
      1220529134013152022
      1

      2
      3
      1220508125013982022
      1
```

Unfallorte2020_LinRef.csv

	OBJECTID	UIDENTSTLAE	ULAND
0	1	12200116471201851100	12
1	2	12200106642131830700	12
2	3	12200109522101836720	12

Unterordner glob/Unfallorte2021_LinRef.csv

	OBJECTID	UIDENTSTLAE	ULAND
0	1	1210308125013512021	1
1	2	1210608134013112021	1
2	.3	1210610181013902021	1

Unterordner glob/Unfallorte2023_LinRef.csv

		•	_
	OID_	UIDENTSTLAE	ULAND
0	1	1230519134013042023	1
1	2	1230519134013022023	1
2	.3	1230519125013522023	1

Aus der Liste können die Datensätze dann eigenen Objekten zugewiesen werden.

```
unfalldaten2020 = list_of_files[0]
unfalldaten2021 = list_of_files[2]
unfalldaten2022 = list_of_files[1]
unfalldaten2023 = list_of_files[3]

print(unfalldaten2020, "\n")
print(unfalldaten2020.dtypes)
```

	OBJECTID	UIDENTSTLAE	ULAND
0	1	1220204125013262022	1
1	2	1220529134013152022	1
2	3	1220508125013982022	1

OBJECTID int64 UIDENTSTLAE int64 ULAND int64

dtype: object

Die Objekte könnten auch in einem DataFrame zusammengeführt werden.

```
# Spalte OID_ / OBJECTID vereinheitlichen
unfalldaten = pd.concat([unfalldaten2020.iloc[: , 1:3], unfalldaten2022.iloc[: , 1:3], unfalldaten.insert(loc = 0, column = 'OBJECTID', value = pd.Series(range(1, unfalldaten.shapunfalldaten = unfalldaten.astype('uint64')
unfalldaten
```

	OBJECTID	UIDENTSTLAE	ULAND
0	1	1220204125013262080	1
1	2	1220529134013152000	1
2	3	1220508125013981952	1
3	4	12200116471201851392	12
4	5	12200106642131830784	12
5	6	12200109522101835776	12
6	7	1230519134013041920	1
7	8	1230519134013021952	1
8	9	1230519125013521920	1

(Arnold 2023a)

5.1 Übungen Modul glob

Leicht: US State Facts and Figures

Im Ordner "01-daten/glob leicht" liegen verschiedene .CSV-Dateien mit Daten zu den US-Bundesstaaten. Lesen Sie die Dateien in einen neuen Datensatz ein.

- Wie heißen die Dateien?
- Welche Regionen werden in den Datensätzen unterschieden?
- Wie viele Staaten gehören zu jeder Region?
- Welche Region ist flächenmäßig die größte?

US State Facts and Figures von Becker, R. A., Chambers, J. M. and Wilks, A. R. (1988) The New S Language. Wadsworth & Brooks/Cole. rdocumentation.org. Datensätze:

• state.abb

- state.area
- state.name
- state.region

Die Datensätze können in R durch Eingabe des Datensatznamens in der Konsole aufgerufen werden.

? Tipp 30: Musterlösung US State Facts and Figures

Mit dem Modul glob werden die Pfade der im Ordner liegenden Dateien in einer Liste gespeichert. In einer Schleife wird mit der Funktion open() jede Datei als Dateiobjekt geöffnet, aus dem der Dateiname und der Dateiinhalte ausgelesen werden, um diese zu betrachten.

```
import os
ordnerpfad = "01-daten/glob leicht"
pfadliste = glob.glob(pathname = '*', root_dir = ordnerpfad, recursive = False)
list_of_files = []
names of files = []
for pfad in pfadliste:
  # Dateiobjekt öffnen
  zwischenspeicher = open(ordnerpfad + '/' + pfad, 'r')
  # Dateinamen extrahieren
  name = os.path.basename(zwischenspeicher.name)
  names_of_files.append(name)
  # Datei auslesen
  datei = zwischenspeicher.read()
  list_of_files.append(datei)
  # Ausgabe
  print(name, "Encoding:", zwischenspeicher.encoding)
  print(datei[0:40], "\n")
  # Dateiobjekt schließen
  zwischenspeicher.close()
print(f"Die Dateien heißen:\n{names_of_files}")
```

```
state region.csv Encoding: UTF-8
"x"
"1" "South"
"2" "West"
"3" "West"
"4
state abb.csv Encoding: UTF-8
"x"
"1" "AL"
"2" "AK"
"3" "AZ"
"4" "AR"
state name.csv Encoding: UTF-8
"x"
"1" "Alabama"
"2" "Alaska"
"3" "Ariz
state area.csv Encoding: UTF-8
"x"
"1" 51609
"2" 589757
"3" 113909
"4"
Die Dateien heißen:
['state region.csv', 'state abb.csv', 'state name.csv', 'state area.csv']
Als nächstes werden die Daten in einem Datensatz 'states' gespeichert. Als Spaltennamen
```

```
# Spaltennamen vorbereiten
for name in names_of_files:
 names_of_files[i] = name[0:-4]
# DataFrame erstellen
states = pd.DataFrame()
i = 0
list_of_files = []
for pfad in pfadliste:
  zwischenspeicher = open(ordnerpfad + '/' + pfad, 'r')
  states[i] = pd.read_csv(filepath_or_buffer = zwischenspeicher, sep = ' ', usecols = [1])
  zwischenspeicher.close()
  i+=1
# Spaltennamen eintragen
states.columns = names_of_files
print(f"Es gibt die Regionen:\n{states['state region'].unique()}\n")
states.head()
Es gibt die Regionen:
['South' 'West' 'Northeast' 'North Central']
                 state region state abb state name state area
              0 South
                             AL
                                       Alabama
                                                   51609
              1 West
                             AK
                                       Alaska
                                                   589757
              2 West
                             AZ
                                       Arizona
                                                  113909
                 South
                             AR
                                       Arkansas
                                                  53104
```

California 158693

CA

4 West

```
Im nächsten Schritt können die Anzahl der Staaten und die Fläche je Region bestimmt
werden.
print(f"Die Anzahl der Staaten je Region beträgt:\n{states.groupby('state region')['state region')
print(f"Die Fläche der Regionen beträgt:\n{states.groupby('state region')['state area'].app
Die Anzahl der Staaten je Region beträgt:
state region
North Central
                  12
Northeast
                   9
South
                  16
West
                  13
Name: state name, dtype: int64
Die Fläche der Regionen beträgt:
state region
North Central
                   765530
Northeast
                   169353
South
                   899556
West
                  1783960
Name: state area, dtype: int64
/tmp/ipykernel_3726/3346728540.py:2: FutureWarning: The provided callable <built-in function
```

print(f"Die Fläche der Regionen beträgt:\n{states.groupby('state region')['state area'].a

Schwer: DSB Unfallatlas

Im Skript wurden bereits Daten aus dem DSB Unfallatlas eingelesen. Aus Gründen der Lesbarkeit wurden jedoch nur die ersten drei Zeilen und Spalten eingelesen. Für diese Aufgabe sollen nun die Dateien im Dateipfad '01-daten/glob schwer' vollständig eingelesen und zu einem Datensatz zusammengeführt werden. Ein Problem dabei ist, dass die Spaltenbeschriftungen für den Straßenzustand und die ID-Variable nicht einheitlich sind.

Unfallatlas Deutschland. von Statistische Ämter des Bundes und der Länder steht unter der Lizenz CC BY 4.0 und ist verfügbar auf dem Statistikportal des Bundes und der Länder. 2024

Tipp 31: Musterlösung Unfallatlas

Das Erhebungsjahr ist eine Variable im Datensatz. Dennoch wird gezeigt, wie dieses aus dem Dateinamen ausgelesen werden kann.

Zuerst werden der Inhalt des Ordners und anschließend die Dateipfade ausgelesen.

```
# Inhalt Ordner auslesen
ordnerpfad = '01-daten/glob schwer'
pfadliste = glob.glob(pathname = '**', root_dir = ordnerpfad, recursive = True)
print(f"Im Suchpfad liegen {len(pfadliste)} Elemente. Die Bezeichnungen lauten:\n{pfadliste}
# Dateipfade auslesen
pfadliste = glob.glob(pathname = '**/U*.csv', root_dir = ordnerpfad, recursive = True)
print(f"Im Suchpfad liegen {len(pfadliste)} CSV-Dateien. Die Dateinamen lauten:\n{pfadliste}
Im Suchpfad liegen 6 Elemente. Die Bezeichnungen lauten:
['DSB_Unfallatlas Metadaten.pdf', 'Unfallorte2022_LinRef.csv', 'Unterordner glob', 'Unterordner)
```

['Unfallorte2022_LinRef.csv', 'Unfallorte2020_LinRef.csv', 'Unterordner glob/Unfallorte2022

Im Suchpfad liegen 4 CSV-Dateien. Die Dateinamen lauten:

Als nächstes werden die Jahreszahlen aus den Pfadnamen extrahiert sowie die Spaltennamen ausgelesen.

Um die Jahreszahlen aus den Dateinamen zu extrahieren, können die Zeichenketten manuell beschnitten werden (Die Jahreszahl steht an den Indexpositionen 10 bis exklusiv 14). Alternativ kann ein regulärer Ausdruck verwendet werden. Reguläre Ausdrücke werden mit dem Modul re verarbeitet. Die Funktion re.search(string = x, pattern = '[0-9]+') sucht im Objekt x nach dem im Argument pattern spezifizierten Ausdruck, hier nach einer Zahl von 0 bis 9 [0-9] und jeder darauf folgenden Zahl +. Die Funktion re.search() erzeugt ein Match-Objekt, dessen Inhalt mit der Methode Match.group() ausgegeben werden kann, die einen string zurückgibt. (siehe Dokumentation Modul re) Um die Spaltennamen auszulesen, wird die Funktion pd.read_csv() mit den Argumenten nrows = 1, header = 0 angewiesen, die erste Zeile auszulesen. Anschließend können die Spaltennamen visuell abgeglichen werden - dies ist im Reiter DataFrame der Spaltennamen umgesetzt. Für größere Datensätze ist dies aber nicht mehr praktikabel. Eine algorithmische Lösung ist im Reiter Spaltennamen finden umgesetzt. Dazu wird jede Spalte des DataFrames gegen alle anderen Spalten mit der Methode pd.Series.isin(df) abgeglichen.

5.2 Jahreszahlen und Spaltennamen auslesen

```
# Die Jahreszahlen auslesen
import re
jahreszahlen = []
for pfad in pfadliste:
  zwischenspeicher = re.search(string = pfad, pattern = '[0-9]+').group()
  jahreszahlen.append(int(zwischenspeicher))
print(f"Aus den Dateinamen extrahierte Jahreszahlen:\t{jahreszahlen}\n")
# Spaltennamen durch Einlesen der ersten Zeile extrahieren, header = None
list_of_columns = []
for pfad in pfadliste:
  zwischenspeicher = pd.read_csv(filepath_or_buffer = ordnerpfad + '/' + pfad,
  delimiter = ';', nrows = 1, header = None).transpose()
  list_of_columns.append(zwischenspeicher)
  i += 1
df_of_columns = pd.concat(list_of_columns, axis = 1, ignore_index = True)
df_of_columns.columns = jahreszahlen
Aus den Dateinamen extrahierte Jahreszahlen:
                                                 [2022, 2020, 2021, 2023]
```

Die Spaltennamen werden im nächsten Reiter ausgegeben.

5.3 DataFrame der Spaltennamen

Mit der Ausgabe des DataFrames können die ungleichen Spaltennamen visuell identifiziert werden.

2	ULAND	ULAND	ULAND	ULAND
3	UREGBEZ	UREGBEZ	UREGBEZ	UREGBEZ
4	UKREIS	UKREIS	UKREIS	UKREIS
5	UGEMEINDE	UGEMEINDE	UGEMEINDE	UGEMEINDE
6	UJAHR	UJAHR	UJAHR	UJAHR
7	UMONAT	UMONAT	UMONAT	UMONAT
8	USTUNDE	USTUNDE	USTUNDE	USTUNDE
9	UWOCHENTAG	UWOCHENTAG	UWOCHENTAG	UWOCHENTAG
10	UKATEGORIE	UKATEGORIE	UKATEGORIE	UKATEGORIE
11	UART	UART	UART	UART
12	UTYP1	UTYP1	UTYP1	UTYP1
13	ULICHTVERH	ULICHTVERH	ULICHTVERH	ULICHTVERH
14	${\tt IstStrassenzustand}$	${\tt IstRad}$	USTRZUSTAND	${\tt IstStrassenzustand}$
15	T . D 1			
10	${ t IstRad}$	${\tt IstPKW}$	${\tt IstRad}$	${ t IstRad}$
16	IstRad IstPKW	IstPKW IstFuss	IstRad IstPKW	IstRad IstPKW
16	IstPKW	IstFuss	IstPKW	IstPKW
16 17	IstPKW IstFuss	IstFuss IstKrad	IstPKW IstFuss	IstPKW IstFuss
16 17 18	IstPKW IstFuss IstKrad	IstFuss IstKrad IstGkfz	IstPKW IstFuss IstKrad	IstPKW IstFuss IstKrad
16 17 18 19	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz	IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz
16 17 18 19 20	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige	IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige
16 17 18 19 20 21	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX	IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX
16 17 18 19 20 21 22	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY	IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY XGCSWGS84	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY
16 17 18 19 20 21 22 23	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY XGCSWGS84	IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY XGCSWGS84 YGCSWGS84	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY XGCSWGS84	IstPKW IstFuss IstKrad IstGkfz IstSonstige LINREFX LINREFY XGCSWGS84

5.4 Spaltennamen finden

Der Abgleich der ungleichen Spaltennamen kann auch algorithmisch gelöst werden.

```
# Spaltennamen algorithmisch abgleichen
ungleiche_spaltennamen = pd.Series()
## vergleiche jede Spalte gegen alle anderen Spalten
for i in range(0, df_of_columns.shape[1]):
  aktuelle_spalte = df_of_columns.iloc[:, i]
  vergleichs_df = df_of_columns.drop(df_of_columns.columns[i], axis = 1)
  j = 0
  for vergleichsspalte in vergleichs_df: # vergleichsspalte ist der Spaltenname (als int)
    # print(vergleichsspalte)
    maske_fehlender_spaltennamen = aktuelle_spalte.isin(vergleichs_df.loc[:, vergleichsspalender_spaltennamen)
    maske_fehlender_spaltennamen = np.invert(maske_fehlender_spaltennamen) # pandas hat ke
    # WENN Spaltennamen fehlen DANN
    if maske_fehlender_spaltennamen.sum() > 0:
      print(f"In den Unfalldaten {df_of_columns.columns[i]} treten die Spaltennamen {aktue.
      ungleiche_spaltennamen = pd.concat([ungleiche_spaltennamen, pd.Series(aktuelle_spalte
    j +=1
ungleiche_spaltennamen = ungleiche_spaltennamen.dropna().unique()
print(f"Folgende Spaltennamen m\u00fcssen vereinheitlicht werden:\n{ungleiche_spaltennamen}")
In den Unfalldaten 2022 treten die Spaltennamen ['IstStrassenzustand'] auf, die nicht in de
In den Unfalldaten 2022 treten die Spaltennamen ['IstStrassenzustand'] auf, die nicht in de
In den Unfalldaten 2022 treten die Spaltennamen ['OBJECTID' nan] auf, die nicht in den Unfa
In den Unfalldaten 2020 treten die Spaltennamen ['STRZUSTAND'] auf, die nicht in den Unfall
In den Unfalldaten 2020 treten die Spaltennamen ['STRZUSTAND'] auf, die nicht in den Unfall
In den Unfalldaten 2020 treten die Spaltennamen ['OBJECTID' 'STRZUSTAND' nan] auf, die nicl
```

In den Unfalldaten 2021 treten die Spaltennamen ['USTRZUSTAND'] auf, die nicht in den Unfalln den Unfalldaten 2021 treten die Spaltennamen ['USTRZUSTAND'] auf, die nicht in den Unfalln den Unfalldaten 2021 treten die Spaltennamen ['OBJECTID' 'USTRZUSTAND' nan] auf, die nicht in den Unfalldaten 2023 treten die Spaltennamen ['OID_' 'PLST'] auf, die nicht in den Unfalln den Unfalldaten 2023 treten die Spaltennamen ['OID_' 'IstStrassenzustand' 'PLST'] auf, die nicht in den Unfalldaten 2023 treten die Spaltennamen ['OID_' 'IstStrassenzustand' 'PLST'] auf, die PLST'] auf, d

Die Spaltennamen 'STRZUSTAND', 'IstStrassenzustand' und 'USTRZUSTAND' sowie 'OBJECTID', und 'OID_' müssen beim Einlesen der Daten vereinheitlicht werden. Die Spalte 'PLST' wurde nur im Jahr 2023 erhoben und kann entfallen (siehe Unfallatlas Metadaten). Dafür wird der Methode pd.DataFrame.drop() das Argument errors =

['IstStrassenzustand' 'OBJECTID' 'STRZUSTAND' 'USTRZUSTAND' 'OID_' 'PLST']

'ignore' übergeben, da in einem Datensatz nicht vorhandene Spalten andernfalls zu einer Fehlermeldung führen.

Die Spalte 'UIDENTSTLAE' enthält sehr große Ganzzahlen, weshalb diese als String eingelesen wird.

```
## Dateien einlesen
unfallatlas = pd.DataFrame()
for pfad in pfadliste:
    ### Datei einlesen
    zwischenspeicher = pd.read_csv(filepath_or_buffer = ordnerpfad + '/' + pfad,
    delimiter = ';', dtype = {'UIDENTSTLAE': 'string'})
    ### Spaltennamen vereinheitlichen
    zwischenspeicher.rename(columns = {"IstStrassenzustand": "STRZUSTAND", "USTRZUSTAND": "STRZUSTAND": 
    zwischenspeicher.drop(columns = "PLST", inplace = True, errors = 'ignore')
    unfallatlas = pd.concat([unfallatlas, zwischenspeicher])
# Ausgabe
print(unfallatlas.info(), "\n")
unfallatlas.head()
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
Index: 996742 entries, 0 to 269047
Data columns (total 25 columns):
        Column
                                          Non-Null Count
                                                                                   Dtype
--- ----
                                           _____
        OBJECTID
                                       996742 non-null int64
        UIDENTSTLAE 996742 non-null string
  1
  2
        ULAND
                                       996742 non-null int64
  3
        UREGBEZ
                                      996742 non-null int64
                                       996742 non-null int64
        UKREIS
        UGEMEINDE
                                           996742 non-null int64
                                          996742 non-null int64
          UJAHR
        UMONAT
                                       996742 non-null int64
         USTUNDE
                                          996742 non-null int64
         UWOCHENTAG 996742 non-null int64
  10 UKATEGORIE 996742 non-null int64
  11 UART
                                      996742 non-null int64
                                      996742 non-null int64
  12 UTYP1
  13 ULICHTVERH 996742 non-null int64
  14 STRZUSTAND 996742 non-null int64
                                           996742 non-null int64
  15 IstRad
  16 IstPKW
                                           996742 non-null int64
  17 IstFuss
                                           996742 non-null int64
```

```
      18
      IstKrad
      996742 non-null int64

      19
      IstGkfz
      996742 non-null int64

      20
      IstSonstige
      996742 non-null int64

      21
      LINREFX
      996742 non-null object

      22
      LINREFY
      996742 non-null object

      23
      XGCSWGS84
      996742 non-null object

      24
      YGCSWGS84
      996742 non-null object

      dtypes: int64(20), object(4), string(1)
```

memory usage: 197.7+ MB

None

	OBJECTID	UIDENTSTLAE	ULAND	UREGBEZ	UKREIS	UGEMEINDE	UJAHR	U
0	1	01220204125013262022	1	0	54	84	2022	2
1	2	01220529134013152022	1	0	57	44	2022	5
2	3	01220508125013982022	1	0	59	73	2022	5
3	4	01220517152013752022	1	0	3	0	2022	5
4	5	01220426181013142022	1	0	61	46	2022	4

Abschließend kann der Datensatz aufgeräumt werden:

- der Datensatz wird nach dem Jahr sortiert (wichtig: als erstes ausführen),
- der Index wird zurückgesetzt (wichtig: als zweites),
- die Spalte 'OBJECTID' wird neu erstellt, um die beim Einlesen erzeugten Duplikate zu entfernen und

```
# Datensatz nach Jahr sortieren
unfallatlas.sort_values(by = 'UJAHR', inplace = True)
# Index zurücksetzen
unfallatlas.reset_index(drop = True, inplace = True)
# Spalte 'OBJECTID' neu generieren
unfallatlas['OBJECTID'] = pd.Series(range(1, unfallatlas.shape[0] + 1))
print(unfallatlas.info(), "\n")
unfallatlas.head()
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 996742 entries, 0 to 996741
Data columns (total 25 columns):
    Column
                 Non-Null Count
                                 Dtype
    _____
                 -----
    OBJECTID
                 996742 non-null int64
 0
    UIDENTSTLAE 996742 non-null string
 1
 2
    ULAND
                 996742 non-null int64
 3
    UREGBEZ
                 996742 non-null int64
    UKREIS
                 996742 non-null int64
    UGEMEINDE
                 996742 non-null int64
 6
    UJAHR
                 996742 non-null int64
 7
    UMONAT
                 996742 non-null int64
    USTUNDE
                 996742 non-null int64
 9
    UWOCHENTAG
                 996742 non-null int64
 10 UKATEGORIE
                 996742 non-null int64
 11 UART
                 996742 non-null int64
 12 UTYP1
                 996742 non-null int64
 13 ULICHTVERH
                 996742 non-null int64
 14 STRZUSTAND
                 996742 non-null int64
   IstRad
                 996742 non-null int64
```

```
16 IstPKW
                 996742 non-null int64
17 IstFuss
                 996742 non-null int64
18 IstKrad
                 996742 non-null int64
19 IstGkfz
                996742 non-null int64
20 IstSonstige 996742 non-null int64
21 LINREFX
                 996742 non-null object
                996742 non-null object
22 LINREFY
23 XGCSWGS84
                996742 non-null object
                996742 non-null object
24 YGCSWGS84
dtypes: int64(20), object(4), string(1)
```

memory usage: 190.1+ MB

None

	OBJECTID	UIDENTSTLAE	ULAND	UREGBEZ	UKREIS	UGEMEINI	DΕ	UJAHR	U
0	1	16200531001309353040	16	0	56	0		2020	5
1	2	16200429001105316570	16	0	51	0		2020	4
2	3	16200526001105353500	16	0	51	0		2020	5
3	4	16200609001208367470	16	0	77	1		2020	6
4	5	16200526001105353850	16	0	51	0		2020	5

6 Maskierte Arrays

2 <NA>
dtype: Int64

Maskierte Arrays sind eine Erweiterung für NumPy, um Probleme mit fehlenden Werten insbesondere bei Ganzzahlen zu umgehen.

"nan, short for 'not a number' [...] was specifically designed to address the problem of missing values, but the reality is that different platforms behave differently, making life more difficult. On some platforms, the presence of nan slows calculations 10-100 times. For integer data, no nan value exists. [...] Those wishing to avoid potential headaches will be interested in an alternative solution which has a long history in NumPy's predecessors – masked arrays. [...] Despite their additional memory requirement, masked arrays are faster than nans on many floating point units." (SciPy.org Frequently Askend Questions, Zugriff via waybackmachine)

```
# Fehlende Werte für Ganzzahlen sind in Pandas kein Problem
print("Eine pd.Series vom dtype Int64 mit einem fehlenden Wert:")
print(pd.Series([0, 1, np.nan], dtype = 'Int64'), "\n")

# In NumPy ist das anders
try:
    np.array([0, 1, np.nan], dtype = 'int')
except ValueError as error:
    print("Da np.nan vom Datentyp float ist, haben Integer-Arrays keinen fehlenden Wert.\n Die else:
    np.array([0, 1, np.nan], dtype = 'int')

print(f"Die Ursache ist der Datentyp von nan: type(np.nan)\n{type(np.nan)}\n")

Eine pd.Series vom dtype Int64 mit einem fehlenden Wert:
0     0
1     1
```

Da np.nan vom Datentyp float ist, haben Integer-Arrays keinen fehlenden Wert.

```
Die Eingabe np.array([0, 1, np.nan], dtype = 'int') führt zu der Fehlermeldung:
cannot convert float NaN to integer
Die Ursache ist der Datentyp von nan: type(np.nan)
<class 'float'>
```

Maskierte Arrays (masked arrays) werden durch das Modul numpy.ma bereitgestellt und erlauben es, Werte als ungültig oder fehlend zu markieren, ohne diese zu ersetzen oder zu löschen. Ein maskiertes Array besteht aus drei Elementen:

- 1. einem normalen NumPy-Array, das die Daten enthält.
- 2. einer Maske, die entweder den Wert numpy.ma.nomask hat, wenn kein Wert ungültig ist oder fehlt, oder aus einem NumPy-Array mit Wahrheitswerten für jedes Element des datentragenden NumPy-Arrays besteht: True kennzeichnet einen ungültigen/fehlenden Wert, False einen gülten Wert.
- 3. dem Füllwert, mit dem in der Maske mit True markierte Werte ersetzt werden. Standardmäßig ist dies die Zeichenkette '--'.

Über die Attribute .data und .mask kann auf das zugrundeliegende NumPy-Array und die Maske zugegriffen werden. Ebenfalls können die Funktionen ma.getmask(maskiertes_array) und ma.getdata(maskiertes_array) genutzt werden. Der Füllwert wird mit der Methode maskiertes_array.filled() eingesetzt. Dies gibt eine Kopie des datentragenden Arrays zurück, die Daten selbst bleiben unverändert.

```
import numpy.ma as ma

maskiertes_array = ma.masked_array(data = np.array([1, 2, 3, 4]), mask = [0, 0, 1, 1])
print(f"maskiertes Array:\t{maskiertes_array}")

print(f"Daten:\t\t\t\t{maskiertes_array.data}")

print(f"Maske:\t\t\t\t{maskiertes_array.mask}")

print(f"Zugriff über Funktionen ma.getdata() und ma.getmask():\n{ma.getdata(maskiertes_array.filled())}")

print(f"gefülltes Array:\t\t\t\t\t{maskiertes_array.filled()}")

print(f"Das maskierte Array bleibt unverändert: {maskiertes_array}")
```

maskiertes Array: [1 2 -- --]
Daten: [1 2 3 4]

Maske: [False False True True]

Der Standardfüllwert ist abhängig vom Datentyp des NumPy-Arrays.

Datentyp	Standardfüllwert
bool	True
int	999999
float	1.e20
complex	1.e20 + 0j
object	'?'
string	$^{\prime}N/A^{\prime}$

Der Standarfüllwert kann mit der Funktion np.ma.default_fill_value() ausgegeben werden.

```
print(np.ma.default_fill_value(1))
print(np.ma.default_fill_value('1'))
```

999999 N/A

(NumPy Dokumentation)

Der Füllwert kann über das Attribut maskiertes_array.fill_value geändert werden. Die Übergabe von maskiertes_array.fill_value = None setzt den Füllwert auf den Standardwert zurück.

```
# Anlegen eines maskierten Arrays vom Datentyp Integer mit einem ganzzahligen Füllwert
maskiertes_array = ma.masked_array(data = np.arange(0, 4), mask = [0, 0, 1, 1], fill_value =
print(f"Gefülltes Array vom Datentyp integer mit ganzzahligem Füllwert:\n{maskiertes_array.fi
# Ändern des Füllwerts mit Datentyp float
maskiertes_array.fill_value = 1.5
print(f"Wird einem maskierten Array vom Datentyp integer ein Füllwert vom Datentyp float über
```

```
print(f"Wird einem maskierten Array vom Datentyp integer ein Füllwert vom Datentyp string üb-
try:
  maskiertes_array.fill_value = '1.5'
  print(maskiertes_array.filled())
except TypeError as error:
  print(error)
else:
  maskiertes_array.fill_value = '1.5'
  print(maskiertes_array.filled())
# Füllwert None
maskiertes_array.fill_value = None
print(f"\nDer Füllwert None bewirkt den Rückgriff auf einen datentypabhängigen Standardwert:
Gefülltes Array vom Datentyp integer mit ganzzahligem Füllwert:
[ 0 1 42 42]
Wird einem maskierten Array vom Datentyp integer ein Füllwert vom Datentyp float übergeben,
 wird nur der ganzzahlige Teil eingesetzt:
[0 1 1 1]
Wird einem maskierten Array vom Datentyp integer ein Füllwert vom Datentyp string übergeben,
 folgt eine Fehlermeldung:
Cannot set fill value of string with array of dtype int64
Der Füllwert None bewirkt den Rückgriff auf einen datentypabhängigen Standardwert:
             1 999999 999999]
```

6.1 Maskierte Arrays erzeugen

Maskierte Arrays können auf zahlreichen Wegen erzeugt werden. Eine vollständige Übersicht erhalten Sie in der Dokumentation.

```
a = np.array([1, 10, 100, 1000])
print(f"Die Methode ma.asanyarray(array, dtype = ) legt den Datentyp des maskierten Arrays f
    f"ma.asanyarray(a, dtype = 'float64'):\n"
    f"{ma.asanyarray(a, dtype = 'float64')}\n")
```

```
print(f"Die Methode ma.masked_equal(x = array, value) maskiert alle Werte value.\n"
      f"ma.masked_equal(a, 100):\n"
      f"{ma.masked_equal(a, 100)}\n")
print(f"Die Methode ma.masked_greater(x = array, value) maskiert alle Werte größer als value
      f"ma.masked_greater(a, 100):\n"
      f"{ma.masked greater(a, 100)}\n")
print(f"Die Methode ma.masked_inside(x = array, v1, v2) maskiert alle Werte im Intervall v1
      f"ma.masked_inside(a, 5, 100):\n"
      f"{ma.masked_inside(a, 5, 100)}\n")
print(f"Die Methode ma.masked_where(condition, a = array) maskiert alle Werte, für die die B
      f''ma.masked_where(a % 2 != 0, a):\n''
      f"{ma.masked\_where(a % 2 != 0, a)}\n")
Die Methode ma.asanyarray(array, dtype = ) legt den Datentyp des maskierten Arrays fest.
ma.asanyarray(a, dtype = 'float64'):
    1. 10. 100. 1000.]
Γ
Die Methode ma.masked_equal(x = array, value) maskiert alle Werte value.
ma.masked_equal(a, 100):
[1 10 -- 1000]
Die Methode ma.masked_greater(x = array, value) maskiert alle Werte größer als value.
ma.masked_greater(a, 100):
[1 10 100 --]
Die Methode ma.masked_inside(x = array, v1, v2) maskiert alle Werte im Intervall v1 bis v2.
ma.masked_inside(a, 5, 100):
[1 -- -- 1000]
Die Methode ma.masked_where(condition, a = array) maskiert alle Werte, für die die Bedingung
ma.masked\_where(a \% 2 != 0, a):
[-- 10 100 1000]
```

Die NumPy-Funktion genfromtxt(usemask = True) erzeugt mit dem entsprechenden Argument ein maskiertes Array.

```
dateipfad = '01-daten/TC01_double_hyphen.csv'
daten_double_hypen = np.genfromtxt(dateipfad, missing_values = '--', usemask = True)
daten_double_hypen
```

Eine weitere Möglichkeit, Arraybereiche zu maskieren, ist es, einzelnen Werten oder einem Wertebereich eines maskierten Arrays den Wert ma.masked zuzuweisen.

```
maskiertes_array = ma.masked_array([1, 2, 3, 4])
maskiertes_array[1] = ma.masked
print(maskiertes_array)

maskiertes_array[1:3] = ma.masked
print(maskiertes_array)
```

```
[1 -- 3 4]
[1 -- -- 4]
```

6.2 Übung maskierte Arrays erzeugen

Gegegben sei das NumPy-Array np.linspace(1, 1000, 18, dtype = 'int'). Erzeugen Sie mit dem NumPy-Array ein maskiertes Array.

- a. Maskieren Sie jeden Wert im Intervall 250 bis 750. Wie viele Werte sind maskiert?
- b. Maskieren Sie jeden zweiten Wert. Wie lautet die Summe des maskierten Arrays?
- c. Maskieren Sie jeden geraden Wert.
- d. Maskieren Sie jeden Wert, der mindestens 3 Stellen hat.

```
Tipp 32: Musterlösung maskierte Arrays erzeugen
# Array erzeugen
a = np.linspace(1, 1000, 18, dtype = 'int')
# Maske im Intervall 250-750
my_ma = ma.masked_inside(x = a, v1 = 250, v2 = 750)
print("Maske im Intervall 250-750:")
print(my_ma, "Anzahl maskierter Werte:", my_ma.mask.sum(), "\n")
# jeder 2. Wert maskiert
my_ma = ma.masked_array(a)
my_ma[::2] = ma.masked
print("Jeder 2. Wert maskiert:")
print(my_ma, "Summe nicht maskierter Werte:", my_ma.sum(), "\n")
# jeder gerade Wert maskiert
my_ma = ma.masked_where(a \% 2 == 0, a)
print("Jeder gerade Wert maskiert:")
print(my_ma, "\n")
# jeder mindestens dreistellige Wert maskiert
my_ma = ma.masked_where(a / 100 >= 1, a)
print("Jeder mindestens dreistellige Wert maskiert:")
print(my_ma)
## eine Alternative
my_mask = [len(str(i)) >= 3 for i in a]
print(f"ma.masked_array(data = a, mask = my_mask")
Maske im Intervall 250-750:
[1 59 118 177 236 -- -- -- -- -- 764 823 882 941 1000] Anzahl maskierter Werte: 8
Jeder 2. Wert maskiert:
[-- 59 -- 177 -- 294 -- 412 -- 529 -- 647 -- 764 -- 882 -- 1000] Summe nicht maskierter Wes
Jeder gerade Wert maskiert:
[1 59 -- 177 -- -- 353 -- 471 529 -- 647 -- -- 823 -- 941 --]
Jeder mindestens dreistellige Wert maskiert:
ma.masked_array(data = a, mask = my_mask
```

6.3 unmasking, soft und hard masks

Ein maskiertes Array kann auf verschiedene Weise demaskiert werden.

```
unmask_me = my_ma.copy()
unmask_me.mask = ma.nomask
print(f"Die Maske kann auf ma.nomask oder False gesetzt werden.\n"
      f"unmask_me.mask = ma.nomask: {unmask_me}\n")
unmask_me = my_ma.copy()
unmask_me.mask = False
print(f"unmask_me.mask = False: {unmask_me}\n")
unmask_me = my_ma.copy()
unmask_me = np.linspace(1, 1000, 18, dtype = 'int')
print(f"Die Maskierung wird auch durch eine Wertzuweisung aufgehoben.\nDas Objekt wird neu a
print(f"unmask_me = np.linspace(1, 1000, 18, dtype = 'int'):\n"
      f"{unmask_me}\n")
Die Maske kann auf ma.nomask oder False gesetzt werden.
unmask_me.mask = ma.nomask: [1 59 118 177 236 294 353 412 471 529 588 647 706 764 823 882 94
unmask_me.mask = False: [1 59 118 177 236 294 353 412 471 529 588 647 706 764 823 882 941 10
Die Maskierung wird auch durch eine Wertzuweisung aufgehoben.
Das Objekt wird neu angelegt.
unmask_me = np.linspace(1, 1000, 18, dtype = 'int'):
        59 118 177 236 294 353 412 471 529 588 647 706 764
  823 882 941 1000]
Die Demaskierung ist auch für Indexbereiche möglich.
```

```
unmask_me = my_ma.copy()
unmask_me[6:10].mask = ma.nomask
print(f"Die Maske kann auf ma.nomask oder False gesetzt werden.\n"
    f"unmask_me[6:10].mask = ma.nomask: {unmask_me}\n")

unmask_me = my_ma.copy()
unmask_me[6:10].mask = False
print(f"unmask_me[6:10].mask = False: {unmask_me}\n")
```

```
unmask_me = my_ma.copy()
unmask_me[6:10] = np.linspace(1, 1000, 4, dtype = 'int')
print(f"Die Maskierung wird auch durch eine Wertzuweisung aufgehoben.")
print(f"unmask_me[6:10] = np.linspace(1, 1000, 4, dtype = 'int'):\n"
    f"{unmask_me}\n")
```

```
Die Maske kann auf ma.nomask oder False gesetzt werden.

unmask_me[6:10].mask = ma.nomask: [1 59 -- -- -- 353 412 471 529 -- -- -- -- -- --]

unmask_me[6:10].mask = False: [1 59 -- -- -- 353 412 471 529 -- -- -- -- -- --]

Die Maskierung wird auch durch eine Wertzuweisung aufgehoben.

unmask_me[6:10] = np.linspace(1, 1000, 4, dtype = 'int'):

[1 59 -- -- -- 1 334 667 1000 -- -- -- -- -- -- -- -- --]
```

Insbesondere die Demaskierung durch eine Wertzuweisung in einem Indexbereich kann ein unerwünschtes Verhalten sein.

soft und hard masks

Die Maske eines maskierten Arrays ist eine veränderliche, sogenannte soft mask. Um die Maske vor Änderungen zu schützen, kann die Maske mit dem Argument ma.array(data = [data], mask = [mask], hard_mask = True) oder mit der Methode masked_array.harden_mask() in eine hard mask verwandelt werden.

Eine hard mask schützt einen Indexbereich vor der Demaskierung, auch durch eine Wertzuweisung.

Eine hard mask kann jedoch auf weitere Indexbereiche erweitert werden.

```
unmask_me[0:2] = ma.masked
print(f"Die Maskierungen zusätzlicher Elemente ist mit einer hard mask möglich.\n"
    f"{unmask_me}")
```

```
Die Maskierungen zusätzlicher Elemente ist mit einer hard mask möglich. [-- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- ]
```

Eine hard mask kann mit der Methode masked_array.soften_mask() aufgehoben werden.

```
unmask_me.soften_mask()
unmask_me.mask = ma.nomask
print(f"{unmask_me}")
```

[1 59 118 177 236 294 353 412 471 529 588 647 706 764 823 882 941 1000]

(NumPy Dokumentation)

maskiertes_array > 222:

maskierten Ergebnissen.

6.4 Operationen mit maskierten Arrays

Arithmetische und vergleichende Operationen mit maskierten Arrays werden nicht auf die maskierten Elemente angewendetet.

https://numpy.org/doc/stable/reference/maskedarray.generic.html#operations-on-masked-arrays

https://numpy.org/doc/2.1/reference/routines.ma.html

```
# Array erzeugen
a = np.linspace(1, 1000, 18, dtype = 'int')
maskiertes_array = ma.masked_array(a)
maskiertes_array[::2] = ma.masked

# Ausgewählte Operationen
print(f"Summe maskiertes_array: {maskiertes_array.sum()}\tSumme maskiertes_array.data: {mask
print(f"maskiertes_array > 222:\n{maskiertes_array > 222}\")
Summe maskiertes_array: 4764 Summe maskiertes_array.data: 9001
```

Arithmetische und vergleichende Operationen mit maskierten Elementen führen immer zu

[-- False -- False -- True -- True -- True -- True -- True -- True]

```
print("NumPy ist bei Operationen mit np.nan nicht konsistent.")
print(f"np.nan ** 0:\t{np.nan ** 0}")
print(f"1 ** np.nan:\t{1 ** np.nan}")
print(f"np.nan == np.nan:\t{np.nan == np.nan}\n")
print("Maskierte Arrays verhalten sich dagegen konsistent.")
print(f"maskiertes_array[0] ** 0:\t\t\t\t\t\t\t\t\skiertes_array[0] ** 0}")
print(f"1 ** maskiertes_array[0]:\t\t\t\t\t\t\t\t\t\t\1 ** maskiertes_array[0]}")
print(f"maskiertes_array[0] == maskiertes_array[2]:\t{maskiertes_array[0] == maskiertes_array
print(f"maskiertes array[0] == np.nan:\t\t\t\t\t\t\maskiertes array[0] == np.nan}")
NumPy ist bei Operationen mit np.nan nicht konsistent.
np.nan ** 0:
                1.0
1 ** np.nan:
                1.0
np.nan == np.nan:
                    False
Maskierte Arrays verhalten sich dagegen konsistent.
maskiertes_array[0] ** 0:
1 ** maskiertes_array[0]:
maskiertes_array[0] == maskiertes_array[2]: --
maskiertes_array[0] == np.nan:
```

Das Modul numpy.ma implementiert die meisten NumPy-Funktionen (siehe NumPy Dokumentation). Funktionen, die nur einen bestimmten Wertebereich als Eingabe akzeptieren, geben den Wert masked zurück, wenn Werte außerhalb des gültigen Bereichs übergeben werden. Ein Beispiel ist die Funktion ma.log().

Auch Operation mit mehreren Arrays sind möglich. Im Ergebnis ist jedes in der Eingabe maskierte Element ebenfalls maskiert.

```
print(a + maskiertes_array)
print(np.logical_or(a, maskiertes_array))

[-- 118 -- 354 -- 588 -- 824 -- 1058 -- 1294 -- 1528 -- 1764 -- 2000]
[-- True -- True]
```

Zusammenfassende Funktionen wie len() oder ma.unique(masked_array) werden auch auf die maskierten Elemente angewendet.

```
# Ausgewählte Operationen
print(len(maskiertes array))
print(ma.unique(maskiertes_array))
```

18 [59 177 294 412 529 647 764 882 1000 --]

A Warning 8: Warnhinweis maskierte Arrays

Die Dokumentation warnt, dass maskierte Werte nicht zuverlässig von Operationen ausgenommen sind. Welche Operationen dies betrifft, ist nicht angegeben.

"Arithmetic and comparison operations are supported by masked arrays. As much as possible, invalid entries of a masked array are not processed, meaning that the corresponding data entries should be the same before and after the operation.



♠ Warnung

We need to stress that this behavior may not be systematic, that masked data may be affected by the operation in some cases and therefore users should not rely on this data remaining unchanged."

https://numpy.org/doc/stable/reference/maskedarray.generic.html#operations-onmasked-arrays

6.5 Übungen Operationen mit maskierten Arrays

- 1. Erstellen Sie ein zweidimensionales Array (10x10) der Zahlen 1 bis 100. Maskieren Sie alle ungeraden Werte, die ganzzahlig durch 3 teilbar sind.
- 2. Berechnen Sie anschließend die Summe der maskierten und die Summe der unmaskierten Werte.
- 3. Setzen sie die Maske zurück, sodass keine Werte mehr maskiert sind.
- 4. Primzahlensieb: Maskieren Sie alle Elemente, die den Wert 1 haben oder Vielfache von Primzahlen sind, bis das gefüllte Array nur noch aus Primzahlen besteht (siehe Sieb des Eratosthenes).

5. Wie viele Primzahlen sind in dem Array? Welches ist die größte, welches die kleinste Primzahl? Sortieren Sie die Primzahlen absteigend.

```
💡 Tipp 33: Musterlösung
# 1. NumPy-Array erstellen und maskieren
maskiertes_array = np.arange(1, 100 + 1).reshape(10, 10)
maskiertes_array = ma.masked_where(condition = (maskiertes_array % 2 != 0) & (maskiertes_array = 0) & (maskiertes_array % 2 != 0)
print(maskiertes_array, "\n")
[[1 2 -- 4 5 6 7 8 -- 10]
 [11 12 13 14 -- 16 17 18 19 20]
 [-- 22 23 24 25 26 -- 28 29 30]
 [31 32 -- 34 35 36 37 38 -- 40]
 [41 42 43 44 -- 46 47 48 49 50]
 [-- 52 53 54 55 56 -- 58 59 60]
 [61 62 -- 64 65 66 67 68 -- 70]
 [71 72 73 74 -- 76 77 78 79 80]
 [-- 82 83 84 85 86 -- 88 89 90]
 [91 92 -- 94 95 96 97 98 -- 100]]
# 2. Summen bilden
print(f"Summe der maskierten Werte: {maskiertes_array.data[maskiertes_array.mask].sum()}\ts
Summe der maskierten Werte: 867 Summe der unmaskierten Werte: 4183
# 3. Maske zurücksetzen
maskiertes_array.mask = False
print(maskiertes_array, "\n")
[[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10]
 [11 12 13 14 15 16 17 18 19 20]
 [21 22 23 24 25 26 27 28 29 30]
 [31 32 33 34 35 36 37 38 39 40]
 [41 42 43 44 45 46 47 48 49 50]
 [51 52 53 54 55 56 57 58 59 60]
 [61 62 63 64 65 66 67 68 69 70]
 [71 72 73 74 75 76 77 78 79 80]
 [81 82 83 84 85 86 87 88 89 90]
 [91 92 93 94 95 96 97 98 99 100]]
```

```
# 4. Primzahlsieb
## 1
i = 1
bedingung1 = maskiertes_array == i
sieb = ma.masked_where(bedingung1, maskiertes_array)
print(f"i = {i}\n{sieb}\n")
## 2
i = 2
bedingung2 = (maskiertes_array > i) & (maskiertes_array % i == 0)
sieb = ma.masked_where(bedingung1 | bedingung2, maskiertes_array)
print(f"zusätzlich Vielfache von {i}\n{sieb}\n")
## 3
i = 3
bedingung3 = (maskiertes_array > i) & (maskiertes_array % i == 0)
sieb = ma.masked_where(bedingung1 | bedingung2 | bedingung3, maskiertes_array)
print(f"zusätzlich Vielfache von {i}\n{sieb}\n")
## 5
i = 5
bedingung5 = (maskiertes_array > i) & (maskiertes_array % i == 0)
sieb = ma.masked_where(bedingung1 | bedingung2 | bedingung3 | bedingung5, maskiertes_array)
print(f"zusätzlich Vielfache von {i}\n{sieb}\n")
## 7
i = 7
bedingung7 = (maskiertes_array > i) & (maskiertes_array % i == 0)
sieb = ma.masked_where(bedingung1 | bedingung2 | bedingung3 | bedingung5 | bedingung7, masl
print(f"zusätzlich Vielfache von {i}\n{sieb}\n")
i = 1
[[-- 2 3 4 5 6 7 8 9 10]
 [11 12 13 14 15 16 17 18 19 20]
 [21 22 23 24 25 26 27 28 29 30]
 [31 32 33 34 35 36 37 38 39 40]
 [41 42 43 44 45 46 47 48 49 50]
 [51 52 53 54 55 56 57 58 59 60]
 [61 62 63 64 65 66 67 68 69 70]
 [71 72 73 74 75 76 77 78 79 80]
 [81 82 83 84 85 86 87 88 89 90]
```

```
[91 92 93 94 95 96 97 98 99 100]]
zusätzlich Vielfache von 2
[[-- 2 3 -- 5 -- 7 -- 9 --]
 [11 -- 13 -- 15 -- 17 -- 19 --]
 [21 -- 23 -- 25 -- 27 -- 29 --]
 [31 -- 33 -- 35 -- 37 -- 39 --]
 [41 -- 43 -- 45 -- 47 -- 49 --]
 [51 -- 53 -- 55 -- 57 -- 59 --]
 [61 -- 63 -- 65 -- 67 -- 69 --]
 [71 -- 73 -- 75 -- 77 -- 79 --]
 [81 -- 83 -- 85 -- 87 -- 89 --]
 [91 -- 93 -- 95 -- 97 -- 99 --]]
zusätzlich Vielfache von 3
[[-- 2 3 -- 5 -- 7 -- -- --]
 [11 -- 13 -- -- 17 -- 19 --]
 [-- -- 23 -- 25 -- -- 29 --]
 [31 -- -- -- 35 -- 37 -- -- --]
 [41 -- 43 -- -- 47 -- 49 --]
 [-- -- 53 -- 55 -- -- 59 --]
 [61 -- -- 65 -- 67 -- -- --]
 [71 -- 73 -- -- 77 -- 79 --]
 [-- -- 83 -- 85 -- -- 89 --]
 [91 -- -- 95 -- 97 -- -- --]]
zusätzlich Vielfache von 5
[[-- 2 3 -- 5 -- 7 -- --]
 [11 -- 13 -- -- 17 -- 19 --]
 [-- -- 23 -- -- -- 29 --]
 [31 -- -- -- 37 -- -- --]
 [41 -- 43 -- -- 47 -- 49 --]
 [-- -- 53 -- -- -- 59 --]
 [61 -- -- -- 67 -- --]
 [71 -- 73 -- -- 77 -- 79 --]
 [-- -- 83 -- -- -- 89 --]
 [91 -- -- -- 97 -- -- --]]
zusätzlich Vielfache von 7
[[-- 2 3 -- 5 -- 7 -- --]
[11 -- 13 -- -- 17 -- 19 --]
```

```
[-- -- 23 -- -- -- 29 --]
 [31 -- -- -- 37 -- -- --]
 [41 -- 43 -- -- 47 -- --]
 [-- -- 53 -- -- -- 59 --]
 [61 -- -- -- 67 -- -- --]
 [71 -- 73 -- -- -- 79 --]
 [-- -- 83 -- -- -- 89 --]
 [-- -- -- -- 97 -- -- --]]
# 5. verschiedene Aufgaben
## Wie viele Primzahlen sind in dem Array?
print("Anzahl Primzahlen:", sieb.size - sieb.mask.sum())
## Welches ist die größte, welches die kleinste Primzahl?
print(sieb.max(), sieb.min())
## Primzahlen absteigend sortiert
### ma.sort() sortiert nur aufsteigend, deshalb:
### Übergabe des eindimensionalen arrays sieb.flatten() in umgekehrter Reihenfolge [::-1]
### anschließend umformen in 2D-Array
### endwith = False missing values are treated as smallest values
print(ma.sort(sieb.flatten(), endwith = False)[::-1].reshape(sieb.shape))
Anzahl Primzahlen: 25
97 2
[[97 89 83 79 73 71 67 61 59 53]
 [47 43 41 37 31 29 23 19 17 13]
 [11 7 5 3 2 -- -- -- --]
 [-- -- -- -- -- -- -- --]
 [-- -- -- -- -- -- -- --]
 [-- -- -- -- -- -- -- --]
 [-- -- -- -- -- -- -- --]
 [-- -- -- -- -- -- -- --]
 [-- -- -- -- -- -- -- --]
 [-- -- -- -- -- -- -- -- ]]
```

7 Wissenschaftliche Dateiformate

Wissenschaftliche Datensätze können extrem groß sein. Beispielsweise hat das Kernforschungszentrum CERN im November 2018 15,8 Petabyte Daten aufgezeichnet (Key Facts and Figures - CERN Data Centre). Für den Austausch großer Datenmengen wurden Datenformate wie das Hierarchical Data Format (HDF) und Network Common Data Format (netCDF) entwickelt. Diese erlauben es unter anderem, Datensätze direkt vom Massenspeicher des Computers auszulesen, sodass eine mögliche Begrenzung durch den Arbeitsspeicher vermieden wird.

Im Folgenden werden knapp die Grundfunktionen für das Arbeiten mit HDF5- und netCDF4-Dateien vorgestellt. Detailliertere Informationen finden Sie in der jeweiligen Dokumentation.

7.1 HDF5

HDF5 bedeutet Hierarchical Data Format Version 5. HDF organisiert Daten in einer Ordnerstruktur, die mit der Ordnerstruktur eines Computers vergleichbar ist, und enthält beschreibende Metadaten, weshalb HDF als selbstbeschreibend gilt. Die HDF-Verzeichnisstruktur wird mit bestimmten Begriffen beschrieben.

- Gruppen oder groups bezeichnen die Verzeichnisse (Unterordner) innerhalb der HDF-Datei. groups können weitere Gruppen oder datasets enthalten.
- Dateien oder datasets entsprechen einzelnen Dateien.

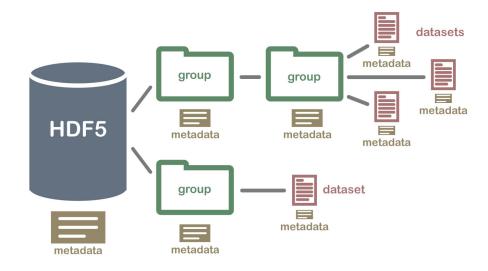


Abbildung 7.1: HDF5-Verzeichnisstruktur

An illsturation of a HDF...and associated metadata von U.S National Science Foundation's National Ecological Observatory Network (NEON) ist abrufbar unter https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/about-hdf5.

In Python können die Pakete PyTables, das von Pandas verwendet wird, und h5py mit HDF5 umgehen. Das Einlesen von HDF5-Dateien funktioniert ähnlich wie das Einlesen von Dateien in der Pythonbasis: Der Zugriff auf die Datei erfolgt mit einem Dateiobjekt, über das verschiedene Methoden zum Lesen und Schreiben bereitgestellt werden. Abschließend wird das Dateiobjekt wieder geschlossen.

Die Integration des Pakets PyTables in Pandas ist auf die Verwendung von Pandas-Objekten ausgelegt. Es wird eine spezifische Dateistruktur genutzt und erwartet. Anders aufgebaute HDF5-Dateien können nicht eingelesen werden. Deshalb wird das Paket hier nur kurz vorgestellt. (Thema auf stackoverflow, Antwort von Kevin S unter CC-BY-SA 3.0)

🛕 Warning 9: Datensatz

In diesem Abschnitt wird ein Teil des Datensatzes IceBridge ATM L1B Elevation and Return Strength, Version 2 genutzt (kostenlose Registrierung bei NASA Earth erforderlich). Das Handbuch ist hier verfügbar. Der Datensatz enhält flugzeugbasierte Lasermessungen für die Höhe des Eisschildes in der Arktis und Antarktis mittels des NASA Airborne Topographic Mapper (ATM). ATM hat eine Abtastrate von 3 bis 5 kHz. Jede Datei enthält die Daten von einigen Minuten Flugdauer. Das geografische Referenzsystem ist das World Geodetic System 1984 (WGS 84)

Die Dateien sind nach dem Schema ILATM1B_YYYYMMDD_HHMMSS.ATM4BT4.h5 benannt:

- Datensatz-ID_
- Jahr, Monat, Tag der Messung_
- Zeitpunkt am Beginn der Messung in Stunden, Minuten, Sekunden_
- Instrumenten-ID (fünfstellig) und Messwinkel (T2 = 15 Grad, T3 = 23 Grad, T4 = 30 Grad).
- xxx Dateityp (.h5 = HDF5, h5.xml = zusätzliche Metadatendatei)

Studinger, M. 2013, updated 2020. IceBridge ATM L1B Elevation and Return Strength, Version 2. [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. https://doi.org/10.5067/19SIM5TXKPGT. [05.12.2024]

7.1.1 PyTables

Das Paket PyTables wird mit dem Befehl pip install tables installiert. Die Funktionen des Pakets sind in Pandas integriert. Der Zugriff auf HDF-Dateien wird in Pandas über ein HDF-Store-Objekt bereitgestellt. Hierrüber können HDF-Dateien gelesen und geschrieben werden. DAs HDFStore-Objekt entspricht dem Wurzelverzeichnis der strukturierten Datei. Die Funktion pd. HDFStore (path, mode) nimmt als Argumente den Dateipfad path und den Zugriffsmodus mode entgegen.

Z	ugrif	tsmod	lusb	esc	hrei	bung
---	-------	-------	------	-----	------	------

'a' Standardmodus append: öffnet die Datei im Lese- und Schreibmodus. Falls die Datei nicht vorhanden ist, wird diese erstellt.

'w' Schreibzugriff, Erstellen einer neuer Datei, Überschreiben einer bestehenden, gleichnamigen Datei

Zugriffsmodu&eschreibung		
r',	Lesezugriff	
'r+'	Lese- und Schreibzugriff wie 'a', Datei muss aber existieren.	

Über das HDFStore-Objekt kann der Inhalt der Datei ausgelesen werden, sofern das Format kompatibel ist.

- Die Methode hdf.info() gibt Informationen zum Dateiobjekt aus.
- Die Methode hdf.keys(include = 'pandas') gibt standardmäßig die Schlüssel der Pandas-Objekte im Wurzelverzeichnis zurück. Mit dem Argument hdf.keys(include = 'native') sollten auch native HDF5-Objekte ausgegeben werden können, sofern die HDF5-Datei kompatibel ist.
- Der Zugriff auf ausgewählte Schlüssel erfolgt mit der Methode hdf.get('key') oder durch hdf['key'].
- Mit der Methode hdf.close() wird das HDFStore-Objekt wieder geschlossen.

```
Hinweis 7: inkompatible HDF5-Datei
# Datei öffnen
dateipfad = "01-daten/ILATM1B_20191120_041200.ATM6AT6.h5"
hdf = pd.HDFStore(dateipfad, mode = 'r')
print(hdf.info(), "\n")
# parameter include: str, default 'pandas'. When 'pandas' return pandas objects. When 'na
print(hdf.keys(include = 'native'), "\n")
print(hdf.keys(include = 'pandas'), "\n")
print(hdf.groups(), "\n")
# Test hdf.get()
try:
  elevation = hdf.get('elevation')
  print(type(elevation))
except TypeError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
  elevation = hdf.get('elevation')
  print(type(elevation))
# Test pd.read_hdf()
try:
  elevation = pd.read_hdf(path_or_buf = hdf, key = 'elevation')
  print(type(elevation))
except TypeError as error:
  print("Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
else:
  elevation = pd.read_hdf(path_or_buf = hdf, key = 'elevation')
  print(type(elevation))
# HDFStore-Objekt schließen
hdf.close()
<class 'pandas.io.pytables.HDFStore'>
File path: 01-daten/ILATM1B_20191120_041200.ATM6AT6.h5
Empty
```

```
[]

Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:
cannot create a storer if the object is not existing nor a value are passed
Die Eingabe führt zu der Fehlermeldung:
cannot create a storer if the object is not existing nor a value are passed
```

Um die Funktionen zu demonstrieren, wird mit eine HDF5-Datei erstellt. Dazu wird ein HDFStore-Objekt im Modus append angelegt und mit der Methode hdf.put(key, value, format) ein DataFrame gespeichert.

```
# HDF5-Datei anlegen
df = pd.DataFrame({'Spalte1': [1, 2, 3], 'Spalte2': [4, 5, 6]})
hdf = pd.HDFStore("01-daten/hdf_file_demo.h5", mode = 'a')
hdf.put('daten', df, format = 'table')

hdf.close()

# HDF5-Datei einlesen
hdf2 = pd.HDFStore("01-daten/hdf_file_demo.h5", mode = 'r')
print(hdf2.info(), "\n")
print(hdf2.keys(), "\n")

df2 = hdf2.get(key = "/daten")
print(df2)
hdf2.close()
```

```
<class 'pandas.io.pytables.HDFStore'>
File path: 01-daten/hdf_file_demo.h5
/daten frame_table (typ->appendable,nrows->3,ncols->2,indexers->[index],dc->[])
```

['/daten']

	Spalte1	Spalte2
0	1	4
1	2	5
2	3	6

Eine Liste verfügbarer Funktionen findet sich in der Dokumentation. (Numpy Ninja)

7.1.2 h5py

Das Paket h5py wird mit dem Befehl pip install h5py installiert. Das Modul h5py funktioniert ählich wie PyTables. Der Zugriff auf eine HDF5-Datei erfolgt über ein Dateiobjekt, das mit der Funktion h5py.File(Dateipfad, Zugriffsmodus) erzeugt wird (siehe h5py Dokumentation).

Zugriffsmodußeschreibung		
r	Lesemodus, Datei muss existieren (default)	
r+	Lese- und Schreibmodus, Datei muss existieren	
W	Datei erstellen, bestehende Datei kürzen	
w- or x	Datei erstellen, abbrechen wenn Datei bereits besteht	
a	Lesen / Schreiben, wenn die Datei besteht, andernfalls Datei erstellen	

Über das Dateiobjekt erfolgt der Zugriff auf Gruppen und Datensätze. Gruppen sind wie dictionaries aufgebaut, der Zugriff erfolgt also über Schlüssel-Wert-Paare (key: value). Die Schlüssel sind die Namen der Elemente in einer Gruppe, die Werte sind die Elemente selbst (Gruppen oder Datasets).

"The most fundamental thing to remember when using h5py is:

Groups work like dictionaries, and datasets work like NumPy arrays" (Dokumentation h5py, Hervorhebung im Original)

Die Gruppennamen können mit der Methode Dateiobjekt.keys() abgerufen werden.

```
import h5py
dateipfad = "01-daten/ILATM1B_20191120_041200.ATM6AT6.h5"
hdf = h5py.File(dateipfad, mode = 'r')

print(hdf, "\n")
print(list(hdf.keys()))

<HDF5 file "ILATM1B_20191120_041200.ATM6AT6.h5" (mode r)>
['elevation', 'latitude', 'longitude', 'ancillary_data', 'instrument_parameters']
```

Anhand der Schlüssel kann mit der Funktion isinstance(item, type) geprüft werden, ob es sich um Gruppen h5py.Group oder Datensätze h5py.Dataset handelt. Datasets besitzen wie NumPy-Arrays die Attribute dtype, shape, size, ndim (und nbytes).

```
for key in list(hdf.keys()):
  object = hdf[key]
  print(f"Schlüssel:\t{key} ist ein {type(object)}")
  if isinstance(hdf[key], h5py.Dataset):
   print(f"\tDatentyp: {object.dtype}\n"
          f"\tStruktur: {object.shape}\t Dimensionen: {object.ndim}\tAnzahl Elemente: {object.shape}
  elif isinstance(hdf[key], h5py.Group):
    print(f"\tDie Gruppe {key} enthält die Objekte:\n\t {hdf[key].keys()}\n")
Schlüssel: elevation ist ein <class 'h5py._hl.dataset.Dataset'>
    Datentyp: float32
    Struktur: (327285,) Dimensionen: 1 Anzahl Elemente: 327285
Schlüssel: latitude ist ein <class 'h5py._h1.dataset.Dataset'>
    Datentyp: float64
    Struktur: (327285,) Dimensionen: 1 Anzahl Elemente: 327285
Schlüssel: longitude ist ein <class 'h5py._hl.dataset.Dataset'>
    Datentyp: float64
    Struktur: (327285,) Dimensionen: 1 Anzahl Elemente: 327285
Schlüssel: ancillary_data ist ein <class 'h5py._hl.group.Group'>
    Die Gruppe ancillary_data enthält die Objekte:
     <KeysViewHDF5 ['header_binary', 'header_text', 'max_latitude', 'max_longitude', 'min_la'</pre>
Schlüssel: instrument_parameters ist ein <class 'h5py._hl.group.Group'>
    Die Gruppe instrument_parameters enthält die Objekte:
     <KeysViewHDF5 ['azimuth', 'gps_pdop', 'pitch', 'pulse_width', 'rcv_sigstr', 'rel_time',</pre>
```

Die Objekte elevation, latitude und longitude sind Datensätze. Die Objekte ancillary_data und instrument_parameters sind Gruppen. Der Zugriff innerhalb von Gruppen erfolgt wie bei der Eingabe eines Dateipfads: Dateiobjekt['Gruppe/key'].

Um mit Datasets zu arbeiten muss eine Kopie z. B. durch Slicing erstellt werden.

```
print(hdf['elevation'] - 1000)
except TypeError as error:
  print("Der Direktzugriff führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
# Mit einer Kopie kann gearbeitet werden
print("\nMit einer Kopie geht es:")
print(hdf['elevation'][:] - 1000)
# Mit Indexbereichen ebenso
print("\nEbenso mit ausgewählten Indexbereichen:")
print(hdf['elevation'][0:10])
Der Direktzugriff führt zu der Fehlermeldung:
 unsupported operand type(s) for -: 'Dataset' and 'int'
Mit einer Kopie geht es:
[178.32202\ 178.34302\ 178.44495\ \dots\ 129.38794\ 128.62195\ 128.18799]
Ebenso mit ausgewählten Indexbereichen:
[1178.322 1178.343 1178.445 1178.351 1178.363 1178.389 1178.396 1178.393
 1178.274 1178.321]
Am Ende wird das Dateiobjekt geschlossen.
```

7.1.3 Übung Zugriff auf H5P-Datasets

hdf.close()

Berechnen Sie aus der relativen Zeit hdf ['instrument_parameters/rel_time'] im Format 'hhmmss' und dem im Dateinamen enthaltenen Beginn der Messung die tatsächliche Zeit der Messung. Der Dateipfad lautet: '01-daten/ILATM1B_20191120_041200.ATM6AT6.h5 Hinweis: Die relative Zeit liegt in Tausendstelsekunden aufgelöst vor. Aufgrund der hohen Abtastrate von ATM kommen Zeiten in der Regel mehrfach vor.

```
Tipp 34: Musterlösung absolute Zeit berechnen
# HDF-Datei öffnen
dateipfad = "01-daten/ILATM1B_20191120_041200.ATM6AT6.h5"
hdf = h5py.File(dateipfad, mode = 'r')
zeitstempel = int(str(hdf)[29:35])
print(f"Beginn der Messungen: {zeitstempel}\n")
rel_time = hdf['instrument_parameters/rel_time'][:]
abs_time = rel_time + zeitstempel
print(f"rel_time[-5:]:\n{rel_time[-5:]}\n\nabs_time[-5:]:\n{abs_time[-5:]}")
# HDF-Datei schließen
hdf.close()
Beginn der Messungen: 41200
rel_time[-5:]:
[59.986 59.986 59.987 59.989 59.99 ]
abs_time[-5:]:
[41259.984 41259.984 41259.99 41259.99 41259.99 ]
```

HDF5 Dateien schreiben

Um Objekte in eine HDF5-Datei zu schreiben, muss diese im Schreibmodus geöffnet werden.

```
hdf_neu = h5py.File('01-daten/hdf_neu.h5', mode = 'w')
hdf_neu['abs_time'] = abs_time
hdf_neu.close()

# Kontrolle
hdf_neu = h5py.File('01-daten/hdf_neu.h5', mode = 'r')
print(hdf_neu.keys())
hdf_neu.close()

<KeysViewHDF5 ['abs_time']>

(Dokumentation h5py)
```

7.2 netCDF4

Das Paket netCDF4 (Network Common Data Format Version 4) wird mit pip install netCDF4 installiert. netCDF4 basiert auf HDF5, verwendet aber eine eigene Terminologie. Der Zugriff auf eine netCDF4 Datei erfolgt über das Dataset-Objekt, das der Wurzelgruppe entspricht. Eine netCDF-Datei bzw. das Dataset-Objekt besteht aus:

- Gruppen (groups): Gruppen sind Unterverzeichnisse des Dataset-Objekts und können Variablen, Dimensionen, Attribute und weitere Gruppen enthalten.
- Variablen (variables): Variablen entsprechen Datensätzen bzw. NumPy-Arrays.
- Dimensionen (dimensions): Dimensionen beschreiben Eigenschaften der Variablen wie Name (name), Größe (size), Gruppenzugehörigkeit (group)
- Attribute (attributes): Attribute beschreiben entweder das gesamte Dataset (globale Attribute) oder einzelne Variablen. Attribute speichern die Metadaten.

```
- Dataset.description = 'Beschreibung des Datensatzes'
```

```
- Dataset.history = 'Zeitpunkt der Erstellung'
```

```
- Dataset.source = 'Quelle'
```

- Dataset.units = 'Beschreibung der Messeinheit'
- Dataset.calender = 'gregorianischer Kalender'

Diese Elemente sind als Dictionary aufgebaut und erlauben den Zugriff über Schlüssel-Wert-Paare.

7.3 Datensatz

In diesem Abschnitt wird ein Datensatz der NASA zur Blitzdichte (Anzahl Blitze pro Quadratkilometer) verwendet kostenlose Registrierung bei NASA Earth erforderlich. Die netCDF4-Datei enthält verschiedene Datensätze (Variablen), die mit satellitengestützten Messinstrumenten erstellt wurden. Blitze im Bereich von +/- 38 Grad um den Äquator wurden mit dem Lightning Imaging Sensor (LIS) des Satelliten der Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) gemessen. In höheren und niedrigeren Breitengraden wurden Blitze mit dem Optical Transient Detector (OTD) auf Orbview-1 gemessen. Die Daten liegen in einer Auflösung von 0.5 Grad vor. (Datensatzdokumentation, Poetzsch 2021: 182-183)

Die Datensätze folgen dem Namensschema HRFC_COM_FR

- HRFC = High Resolution Full Climatology
- COM = Kombination beider Messinstrumente [LIS, OTD]

• FR = Flash Rates [RF = Raw Flash Rates, SF = Scaled Flash Rates]

LIS/OTD 0.5 Degree High Resolution Full Climatology (HRFC) V2.3.2015 von Global Hydrometeorology Resource Center DAAC (GHRC DAAC)

DOI https://doi.org/10.5067/LIS/LIS-OTD/DATA302

Ein Dataset-Objekt wird mit der Funktion nc.Dataset(filename, mode) geöffnet. Mit dem Argument filename wird der Dateipfad übergeben. Im Argument mode wird der Zugriffsmodus festgelegt.

Zugriffsmoduseschreibung			
$\overline{\mathbf{r}}$	Lesemodus, Datei muss existieren (default)		
r+	Update-Modus, Datei wird ggf. angelegt und kann gelesen und geschrieben		
	werden		
W	Schreibmodus Datei erstellen, bestehende Datei überschreiben		
X	Datei erstellen, abbrechen wenn Datei bereits besteht		
a	Anhängen: Datei wird ggf. angelegt, neue Inhalte werden am Ende der Datei angehängt, bestehende Inhalte werden dabei nicht gelöscht.		

netCDF-Dateien können verschiedene Versionen haben (NETCDF3_CLASSIC, NETCDF3_64BIT_OFFSET, NETCDF3_64BIT_DATA, NETCDF4_CLASSIC, NETCDF4). Um die Version abzurufen, kann das Attribut cdf.data_model abgerufen werden.

```
import netCDF4 as nc

dateipfad = "01-daten/LISOTD_HRFC_V2.3.2015.nc"

cdf = nc.Dataset(filename = dateipfad, mode = 'r')
print(f"Dateiversion: {cdf.data_model}\n")
```

Dateiversion: NETCDF4

Die wesentlichen Informationen können mit der print-Funktion ausgegeben werden print(cdf). Die Ausgabe ist jedoch besonders für komplexere Dateien unübersichtlich.

Die Gruppen der Datei können mit dem Attribut print(cdf.groups) ausgegeben werden.

```
print(cdf.groups)
```

unlimited dimensions: current shape = (3,)

Die Ausgabe ist ein Dictionary, das in diesem Fall leer ist. Die Datei verfügt also über keine Unterverzeichnisse (Gruppen).

Die Variablen (die Datensätze) können mit dem Attribut print(cdf.variables) ausgegeben werden, die Ausgabe ist ebenfalls ein Dictionary. Die vollständige Ausgabe findet sich im folgenden Beispiel.

```
variables = cdf.variables
for key, value in variables.items():
    print(key)
    print(value, "\n")
    break # Abbruch nach erstem Schlüssel-Wert-Paar

DE_By_Threshold
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 DE_By_Threshold(DE_By_Threshold)
    long_name: By Threshold
    comment: Threshold index for OTD detection efficiency
    units: 1
```

filling on, default _FillValue of 9.969209968386869e+36 used

```
i Hinweis 8: vollständige Ausgabe cdf.variables

variables = cdf.variables
for key, value in variables.items():
    print(key)
    print(value, "\n")

DE_By_Threshold
    <class 'netCDF4.Variable'>
float32 DE_By_Threshold(DE_By_Threshold)
    long_name: By Threshold
    comment: Threshold index for OTD detection efficiency
    units: 1
unlimited dimensions:
current shape = (3,)
filling on, default _FillValue of 9.969209968386869e+36 used
```

```
DE_Local_Hour
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 DE_Local_Hour(DE_Local_Hour)
    long_name: Local Hour
    comment: Lightning detection efficiency is the function of local hour. A day is divided
    units: 1
unlimited dimensions:
current shape = (24,)
filling on, default _FillValue of 9.969209968386869e+36 used
DE_LowRes_Latitude
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 DE_LowRes_Latitude(DE_LowRes_Latitude)
    long_name: LowRes Latitude
    standard_name: latitude
    axis: Y
    units: degrees_north
unlimited dimensions:
current shape = (72,)
filling on, default _FillValue of 9.969209968386869e+36 used
DE_LowRes_Longitude
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 DE_LowRes_Longitude(DE_LowRes_Longitude)
    long_name: LowRes Longitude
    standard_name: longitude
    axis: X
    units: degrees_east
unlimited dimensions:
current shape = (144,)
filling on, default _FillValue of 9.969209968386869e+36 used
HRFC AREA
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_AREA(Latitude, Longitude)
    valid_range: [ 13.48325 3090.078 ]
    long_name: Grid Cell Area
    units: km^2
    _FillValue: 0.0
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
```

```
filling on
HRFC_COM_FR
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_COM_FR(Latitude, Longitude)
    valid_range: [ 0.
                           201.7618]
    long_name: Combined Flash Rate Climatology
    _FillValue: 0.0
    units: count/km^2/year
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
HRFC_LIS_DE
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_LIS_DE(DE_Local_Hour, DE_LowRes_Latitude, DE_LowRes_Longitude)
    valid_range: [ 0.
                           88.00034]
    long_name: Applied LIS Detection Efficiency
    units: Percent
    _FillValue: 0.0
unlimited dimensions:
current shape = (24, 72, 144)
filling on
HRFC_LIS_FR
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_LIS_FR(Latitude, Longitude)
    valid_range: [ 0.
                           5723.275]
    long_name: LIS Flash Rate Climatology
    _FillValue: 0.0
    units: count/km^2/year
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
HRFC_LIS_RF
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_LIS_RF(Latitude, Longitude)
    valid_range: [ 0. 9770.]
    long_name: LIS Raw Flashes
    _FillValue: 0.0
```

```
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
HRFC_LIS_SF
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_LIS_SF(Latitude, Longitude)
    valid_range: [
                      0.
                           12500.17]
    long_name: LIS Scaled Flashes
    _FillValue: 0.0
    units: count
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
HRFC_LIS_VT
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_LIS_VT(Latitude, Longitude)
    valid_range: [0.000000e+00 4.462968e+09]
    long_name: LIS Viewtime
    units: km^2 sec
    _FillValue: 0.0
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
HRFC_OTD_DE
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_OTD_DE(DE_By_Threshold, DE_Local_Hour, DE_LowRes_Latitude, DE_LowRes_Longitude)
    valid_range: [ 0.
                          53.6012]
    long_name: Applied OTD Base Detection Efficiency
    units: Percent
    _FillValue: 0.0
unlimited dimensions:
current shape = (3, 24, 72, 144)
filling on
HRFC_OTD_FR
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_OTD_FR(Latitude, Longitude)
```

units: count

```
valid_range: [ 0.
                           201.7618]
    long_name: OTD Flash Rate Climatology
    _FillValue: 0.0
    units: count/km^2/year
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
HRFC_OTD_RF
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_OTD_RF(Latitude, Longitude)
    valid_range: [ 0. 1298.]
    long_name: OTD Raw Flashes
    _FillValue: 0.0
    units: count
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
HRFC_OTD_SF
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_OTD_SF(Latitude, Longitude)
    valid_range: [ 0.
                           2645.824]
    long_name: OTD Scaled Flashes
    _FillValue: 0.0
    units: count
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
HRFC_OTD_VT
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 HRFC_OTD_VT(Latitude, Longitude)
    valid_range: [0.000000e+00 1.119883e+09]
    long_name: OTD Viewtime
    units: km^2 sec
    _FillValue: 0.0
unlimited dimensions:
current shape = (360, 720)
filling on
```

```
Latitude
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 Latitude(Latitude)
    long_name: Latitude
    standard_name: latitude
    axis: Y
    units: degrees_north
unlimited dimensions:
current shape = (360,)
filling on, default _FillValue of 9.969209968386869e+36 used
Longitude
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 Longitude(Longitude)
    long_name: Longitude
    standard_name: longitude
    axis: X
    units: degrees_east
unlimited dimensions:
current shape = (720,)
filling on, default _FillValue of 9.969209968386869e+36 used
```

Ebenso können die Dimensionen (cdf.dimensions) und die globalen Attribute des Datasets (cdf.__dict__ oder als Liste mit cdf.ncattrs()) ausgegeben werden. Ebenso können die Attribute einer Variablen ausgegeben werden. Variablen werden direkt über den Schlüssel variable = cdf['key'] oder mit der Funktion variable = cdf.variables['key'] abgerufen.

7.4 Dimensionen

```
dimensions = cdf.dimensions

for key, value in dimensions.items():
    print(key)
    print(value, "\n")

DE_By_Threshold
"<class 'netCDF4.Dimension'>": name = 'DE_By_Threshold', size = 3

DE_Local_Hour
```

```
"<class 'netCDF4.Dimension'>": name = 'DE_Local_Hour', size = 24

DE_LowRes_Latitude
"<class 'netCDF4.Dimension'>": name = 'DE_LowRes_Latitude', size = 72

DE_LowRes_Longitude
"<class 'netCDF4.Dimension'>": name = 'DE_LowRes_Longitude', size = 144

Latitude
"<class 'netCDF4.Dimension'>": name = 'Latitude', size = 360

Longitude
"<class 'netCDF4.Dimension'>": name = 'Longitude', size = 720
```

7.5 globale Attribute

Conventions CF-1.6

```
print(cdf.ncattrs(), "\n")
global_attributes = cdf.__dict__
for key, value in global_attributes.items():
    print(key)
    print(value, "\n")

['NCProperties', 'OTD_Date_Window_Start', 'OTD_Date_Window_End', 'OTD_Threshold_Level_Used',
NCProperties
version=1|netcdflibversion=4.4.1|hdf5libversion=1.10.0

OTD_Date_Window_Start
[1995.333 1995.44 1995.55 1996.81 ]

OTD_Date_Window_End
[1995.44 1995.55 1996.81 2000.333]

OTD_Threshold_Level_Used
[0 2 1 0]
```

```
history
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncks -4 test.nc3 LISOTD_HRFC_V2.3.2014_rename.nc
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -v DE By Threshold, DE_By_Threshold test.nc3
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -d DE By Threshold, DE_By_Threshold test.nc3
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -v DE Local Hour, DE_Local_Hour test.nc3
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -d DE Local Hour, DE_Local_Hour test.nc3
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -v DE LowRes Longitude, DE_LowRes_Longitude test.nc3
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -d DE LowRes Longitude, DE_LowRes_Longitude test.nc3
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -v DE LowRes Latitude, DE_LowRes_Latitude test.nc3
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -d DE LowRes Latitude, DE_LowRes_Latitude test.nc3
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -a global@OTD Threshold Level Used,OTD Threshold Level Use
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -a global@OTD Date Window End,OTD_Date_Window_End test.nc
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -a global@OTD Date Window Start,OTD_Date_Window_Start tes
Fri Dec 09 16:42:21 2016: ncrename -a global@_NCProperties,NCProperties test.nc3
Fri Dec 09 16:42:20 2016: ncks -3 LISOTD_HRFC_V2.3.2014.nc test.nc3
NCO
"4.6.0"
```

7.6 Attribute einer Variablen

```
variable = cdf['HRFC_OTD_FR']
# Alternativ:
# variable = cdf.variables['HRFC_OTD_FR']

print("\nAttribute einer Variablen")
print(f"Als Liste mit variable.ncattrs():\n{variable.ncattrs()}\n")

print(f"Als Dictionary mit variable.__dict__:\n{variable.__dict__}\n")
```

```
Attribute einer Variablen
Als Liste mit variable.ncattrs():
['valid_range', 'long_name', '_FillValue', 'units']
Als Dictionary mit variable.__dict__:
{'valid_range': array([ 0.  , 201.7618], dtype=float32), 'long_name': 'OTD Flash Rate Clin
```

7.6.1 Daten in netCDF4-Dateien schreiben

Um Daten in eine netCDF4-Datei zu schreiben, muss diese in einem der Schreibmodi geöffnet werden Dataset = nc.Dataset('pfad', mode = 'a'). Um eine neue Variable anzulegen, muss eine entsprechende Dimension angelegt werden. Wenn die Variable in einen noch nicht bestehenden Pfad gespeichert werden soll, sind auch die entsprechenden Gruppen anzulegen.

- Gruppen im Wurzelverzeichnis werden mit der Funktion Dataset.createGroup("Gruppenname") angelegt. Unterverzeichnisse werden analog als Pfad angelegt: Dataset.createGroup("/Gruppenname/Unt (führenden '/' beachten).
- Dimensionen beschreiben die Größe einer Variablen und müssen vor der Variablen angelegt werden (Ein Skalar, also ein Einzelwert, hat keine Dimension): Dataset.createDimension('Name der Dimension', Größe der Dimension als Ganzzahl). Durch die Übergabe von None oder 0 als Größe, wird eine unbegrenzt große Dimension angelegt (netCDF4-Variablen verhalten sich wie NumPy-Arrays, besitzen aber keine feste Größe. Das bedeutet, es können weitere Daten angehängt werden.). Um beispielsweise eine zweidimensionale Datenstruktur mit 10 Zeilen und 5 Spalten anzulegen, müssen beide Dimensionen seperat deklariert werden: Dataset.createDimension('Dimension1', 10), Dataset.createDimension('Dimension2', 5).
- Variablen werden mit der Funktion Dataset.createVariable('Name oder Pfad', 'Datentypkürzel', ('Name der Dimension',)). Die Argumente 'Name oder Pfad' und 'Datentypkürzel' sind Pflichtangaben. Die Dimensionen der Variable wurden zuvor mitcdf_neu.createDimension('Name der Dimension', Größe der Dimension als Ganzzahl)definiert und werden als Tupel übergeben. Ein Einzelwert wird erstellt, indem die Angabe der Dimension weggelassen wird. Eine zweidimensionale Datenstruktur lässt sich so anlegen:Dataset.createVariable('Namoder Pfad der Variablen', 'Datentypkürzel', ('Dimension1', 'Dimension2',))' siehe Dokumentation.

Datentypkürzel	Datentyp
'f4'	32-bit floating point
'f8'	64-bit floating point
'i4'	32-bit signed integer
'i2'	16-bit signed integer
'i8'	64-bit signed integer
'i1'	8-bit signed integer
'u1'	8-bit unsigned integer
'u2'	16-bit unsigned integer
'u4'	32-bit unsigned integer
'u8'	64-bit unsigned integer

Datentypkürzel	Datentyp
'S1'	single-character string

Im folgenden Code wird das Objekt abs_time aus dem vorherigen Abschnitt in einer netCDF4-Datei gespeichert. Mit den Attributen variablenname.description, variablename.source und variablenname.units werden die Metadaten zur Einheit (hier: Millisekunden) hinterlegt. Dazu wird die Anweisung zum Erstellen der Variable einem Objekt variablename zugewiesen.

```
# Neues Dataset im Schreibmodus öffnen
cdf_neu = nc.Dataset('01-daten/cdf_neu.nc', mode = 'w')
# Gruppe 'Daten' anlegen
cdf_neu.createGroup("Daten")
# Dimension anlegen
cdf_neu.createDimension('abs_time', abs_time.shape[0])
# Variable anlegen als 'f4' 32-bit float und einem Objekt zuweisen.
variablename = cdf_neu.createVariable('/Daten/abs_time', 'f4', ('abs_time', ))
## Attribute anlegen
variablename.description = 'sehr wichtige Zeitinformationen'
variablename.source = 'berechnet aus IceBridge ATM L1B Elevation and Return Strength, Version
variablename.units = 'Millisekunden'
# Dataset schließen
cdf_neu.close()
# Kontrolle
cdf_neu = nc.Dataset('01-daten/cdf_neu.nc', mode = 'r')
print(cdf_neu.groups, "\n")
variables = cdf_neu['/Daten'].variables
for key, value in variables.items():
    print(key)
    print(value, "\n")
cdf_neu.close()
```

```
{'Daten': <class 'netCDF4.Group'>
group /Daten:
    dimensions(sizes):
    variables(dimensions): float32 abs_time(abs_time)
    groups: }

abs_time
<class 'netCDF4.Variable'>
float32 abs_time(abs_time)
    description: sehr wichtige Zeitinformationen
    source: berechnet aus IceBridge ATM L1B Elevation and Return Strength, Version 2
    units: Millisekunden
path = /Daten
unlimited dimensions:
current shape = (327285,)
filling on, default _FillValue of 9.969209968386869e+36 used
```

Operationen mit Variablen

Wie bei HDF5-Dateien können Operationen mit Variablen nicht direkt ausgeführt werden.

```
try:
  print(cdf['HRFC_OTD_FR'] - 1)
except TypeError as error:
  print("Der Direktzugriff führt zu der Fehlermeldung:\n", error)
# Mit einer Kopie kann gearbeitet werden
print("\nMit einer Kopie geht es:")
print(cdf['HRFC_OTD_FR'][:,:])
# Mit Indexbereichen ebenso
print("\nEbenso mit ausgewählten Indexbereichen:")
print(cdf['HRFC_OTD_FR'][30:40, 30:40])
Der Direktzugriff führt zu der Fehlermeldung:
 unsupported operand type(s) for -: 'netCDF4._netCDF4.Variable' and 'int'
Mit einer Kopie geht es:
[[-- -- -- ... -- -- --]
 [-- -- -- ... -- -- --]
 [-- -- -- ... -- -- --]
```

```
...
[-- -- -- ... -- -- --]
[-- -- -- ... -- -- --]
```

Ebenso mit ausgewählten Indexbereichen:

```
[[-- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --]
[-- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --]
[-- -- -- -- -- -- -- -- -- --]
[-- -- -- -- -- -- -- -- -- --]
[-- -- -- -- -- -- -- -- -- --]
[-- -- -- -- -- -- -- -- -- --]
[-- -- -- -- -- -- -- -- -- --]
[-- -- -- -- -- -- -- -- -- --]
```

Am Ende wird die netCDF4-Datei geschlossen.

```
cdf.close()
```

7.6.2 Übung Zugriff auf netCDF-Datasets

Greifen Sie in der Datei unter dem Pfad '01-daten/LISOTD_HRFC_V2.3.2015.nc' auf die Variable 'HRFC_LIS_RF' zu.

- Geben Sie die Attribute der Variablen aus.
- Bestimmen Sie die minimale, maximale und die durchschnittliche Anzahl der Blitze.
- Zentrieren Sie die Daten (Wert Mittelwert) und hängen Sie eine neue Variable 'HRFC_LIS_RF_centered' an das Dataset an.



Da die Ausführung des Codes die Datei entsprechend der Aufgabenstellung verändert, ist der Code nicht als Python-Code eingebunden.

```
# Datei im Modus append einlesen
dateipfad = "01-daten/LISOTD_HRFC_V2.3.2015.nc"
cdf = nc.Dataset(filename = dateipfad, mode = 'a')
print(cdf.data_model, "\n")
# Variable einlesen
lis_rf = cdf['HRFC_LIS_RF']
# Attribute der Variablen ausgeben
print("Attribute der Variablen 'HRFC_LIS_RF':", lis_rf.ncattrs(), "\n")
# Daten aus der Variablen auslesen
lis_rf_data = cdf['HRFC_LIS_RF'][: , :]
print(f"min: {lis_rf_data.min()}\tmax: {lis_rf_data.max()}\tmean: {lis_rf_data.mean()}\n")
# Daten zentrieren
# runden wegen interner Darstellung von Gleitkommazahlen - optional
lis_rf_data_centered = lis_rf_data - lis_rf_data.mean()
# Daten an die netCDF4-Datei anhängen
## Dimension anlegen
## latitute und longitude sind die Dimensionen des 2-dimensionalen Arrays
## Code kann nur einmal ausgeführt werden, prüfen mit try: legt die Dimension bereits an
## deshalb Konstruktion mit not in, um zu prüfen, ob Dimension bereites existiert
dimensions = cdf.dimensions
### latitude
DIMENSION = 'latitude'
if DIMENSION not in dimensions:
  print(f"Die Dimension {DIMENSION} existiert nicht und wird angelegt.")
  cdf.createDimension(DIMENSION, lis_rf_data_centered.shape[0])
  print(f"Die Dimension {DIMENSION} existiert bereits.")
### longitude
DIMENSION = 'longitude'
if DIMENSION not in dimensions:
  print(f"Die Dimension {DIMENSION} existiert nicht und wird angelegt.")
  cdf.createDimension(DIMENSION, lis_rf_data_centered.shape[1])
else:
  print(f"Die Dimension {DIMENSION} existiert bereits.")
## Variable 'lis_rf_data_centered' almoregen als 'f4' 32-bit float und dem Objekt variablenament
## latitute und longitude sind die Dimensionen des 2-dimensionalen Arrays
## Code kann nur einmal ausgeführt werden, prüfen mit try: legt die Variable bereits an, de
variables = cdf.variables
VARIABLE = 'lis_rf_data_centered'
```

if WADIADIE not in monichles

8 Das Wichtigste (vielleicht als Video)

2

1.

2.

16

3.

9 Lernzielkontrolle

9.1 Kompetenzquiz

1.

```
import pandas as pd

dateipfad = '01-daten/quiz-aufgabe1.csv'
aufgabe1 = pd.read_csv(filepath_or_buffer = dateipfad)
print(aufgabe1.info())
```

2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
<pre>print(m_daten, "\n")</pre>	
<pre>m_daten.mask = ma.nomask print(m_daten, "\n")</pre>	
7.	
A)	
B)	
C)	
D)	
🔮 Lösungen	
Aufgabe 1: pd.read_csv()	

```
dateipfad = '01-daten/quiz-aufgabe1.csv'
aufgabe1 = pd.read_csv(filepath_or_buffer = dateipfad, sep = ';', parse_dates = ['Geburtsdates]
print(aufgabe1.info())
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 4 entries, 0 to 3
Data columns (total 4 columns):
                  Non-Null Count Dtype
    Column
                  -----
                                  int64
 0
    TD
                  4 non-null
   Name
             4 non-null
 1
                                  string
 2 Geburtsdatum 4 non-null
                                  datetime64[ns]
             4 non-null
    Gehalt
                                  int64
dtypes: datetime64[ns](1), int64(2), string(1)
memory usage: 260.0 bytes
None
Aufgabe 2: Beobachtungen als ungültig markieren
bedingung = aufgabe1['Geburtsdatum'].dt.year < 1980</pre>
print(bedingung, "\n")
# pd.NA für Zeichenketten und Ganzzahlen
## NumPy-Datentyp int64 führt zur Umwandlung des Datentyps der Spalte Gehalt
aufgabe2 = aufgabe1.copy()
aufgabe2.loc[bedingung, :] = pd.NA
print("NumPy-Datentyp int64 führt zur Umwandlung des Datentyps der Spalte Gehalt")
print(aufgabe2, "\n")
# 3 NaN <NA>
                        NaT
                                 NaN
## Pandas-Datentyp Int64 unterstützt fehlende Werte für Ganzzahlen
aufgabe2 = aufgabe1.copy()
aufgabe2['Gehalt'] = aufgabe2['Gehalt'].astype('Int64')
aufgabe2['ID'] = aufgabe2['ID'].astype('Int64')
aufgabe2.loc[bedingung, :] = pd.NA
print("Pandas-Datentyp Int64 unterstützt fehlende Werte für Ganzzahlen")
print(aufgabe2)
# 3 NaN <NA>
                        NaT
                               <NA>
    False
1
     False
     False
```

```
True
Name: Geburtsdatum, dtype: bool
NumPy-Datentyp int64 führt zur Umwandlung des Datentyps der Spalte Gehalt
    ID
         Name Geburtsdatum
                              Gehalt
0 1.0
                1986-04-12 55000.0
         Anna
1 2.0 Bernd
                1990-05-23 62000.0
  3.0 Carla
                1982-11-30 71000.0
  {\tt NaN}
         <NA>
                       NaT
                                 NaN
Pandas-Datentyp Int64 unterstützt fehlende Werte für Ganzzahlen
     ID
          Name Geburtsdatum Gehalt
0
      1
                 1986-04-12
          Anna
                               55000
         Bernd 1990-05-23
                               62000
      3 Carla
                 1982-11-30
                               71000
  < NA >
          < NA >
                                <NA>
Aufgabe 3: datetime aufsteigend sortieren
aufgabe3 = aufgabe2.copy()
print(aufgabe3['Geburtsdatum'].sort_values(ascending = False), "\n")
# Sortieren des DataFrames
print(aufgabe3.sort_values(by = 'Geburtsdatum', ascending = False, inplace = True), "\n")
    1990-05-23
    1986-04-12
2
    1982-11-30
           NaT
Name: Geburtsdatum, dtype: datetime64[ns]
None
Aufgabe 4: Welches Datum ist größer und warum?
Python zählt die Zeit ausgehend von der sogenannten Epoche pd.to_datetime(0). Jün-
gere Menschen wurden in größerem Abstand zur Epoche geboren.
aufgabe4 = pd.DataFrame({'Geburtsdatum': aufgabe3['Geburtsdatum'].sort_values(ascending = 1
aufgabe4['timedelta zur Epoche'] = aufgabe4['Geburtsdatum'] - pd.to_datetime(0)
print(aufgabe4)
```

```
Geburtsdatum timedelta zur Epoche
1 1990-05-23
                         7447 days
0 1986-04-12
                         5945 days
2
  1982-11-30
                         4716 days
3
           NaT
                                NaT
Aufgabe 5: glob
glob.glob(pathname = 'ordnerpfad' + '?????[1-2].*') oder
glob.glob(pathname = 'ordnerpfad' + 'Datei[1-2].*') oder
glob.glob(pathname = 'ordnerpfad' + '*[1-2].*')
Aufgabe 6: masked Array
Das maskierte Array hat eine hard mask.
m_daten.soften_mask()
m_daten.mask = ma.nomask
print(m_daten, "\n")
[1 2 3 4]
Aufgabe 7: HDF5 und netCDF4
Richtige Antworten: A) und D)
```

9.2 Übungsaufgaben

Ein sehr unordentlicher Datensatz

bei Eurostatt verfügbaren Direktlink auf XLSX-Datei

•

.

•

Ein schwieriges Format

https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/table/31111-0006/sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=31111-0006&zeitscheiben=1

•

•

Quellen