

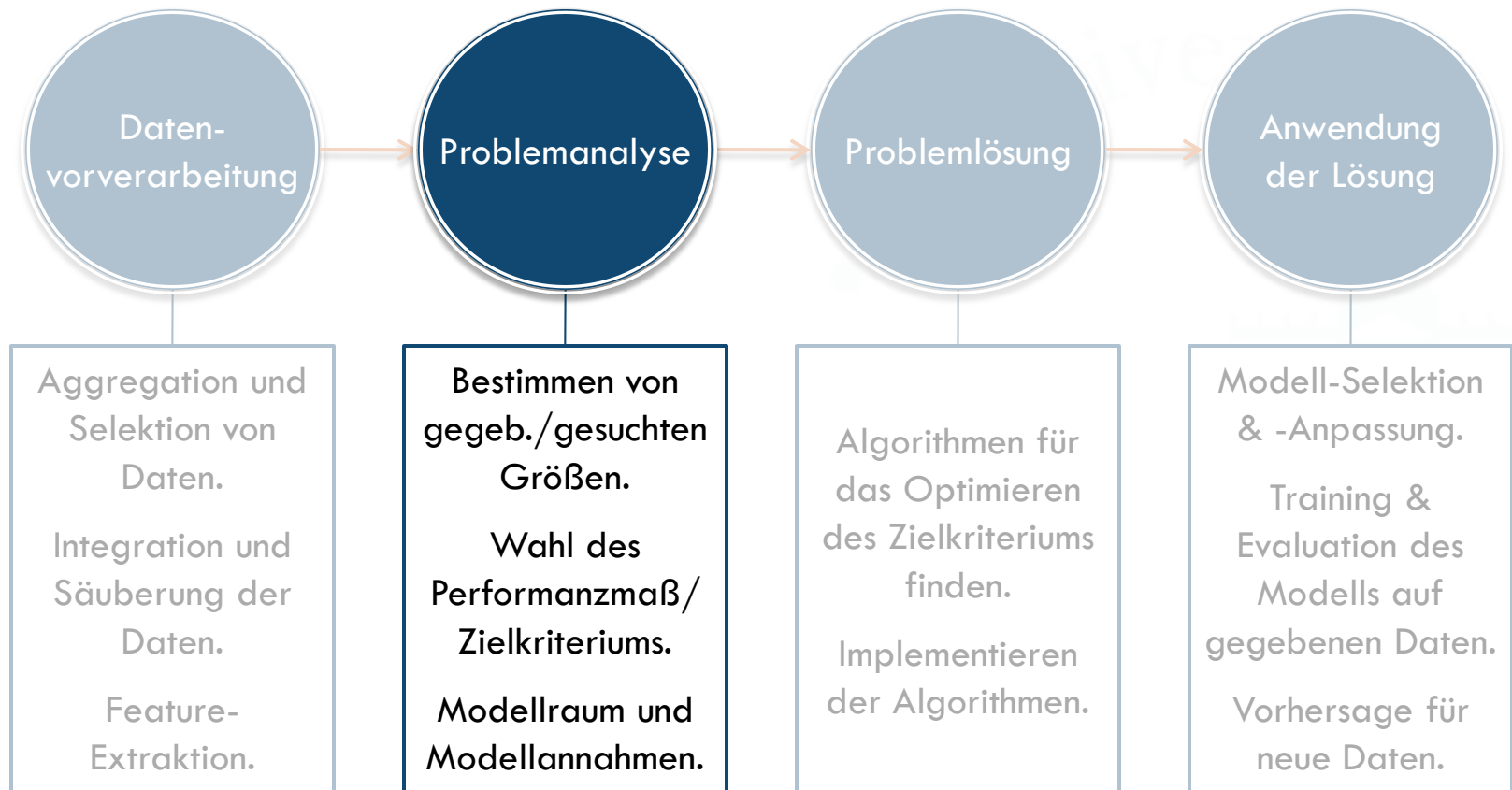


INTELLIGENTE DATENANALYSE IN MATLAB

Problemanalyse & Grundlagen der Lerntheorie

Überblick

□ Schritte der Datenanalyse:



Überblick

- Problemanalyse
 - Problemklasse.
 - Daten-Eigenschaften.
- Grundlagen der Lerntheorie
 - Grundbegriffe.
 - Optimale Entscheidung.

Problemklassen

Überwachtes Lernen von Attributbelegungen

- Gegeben: Trainingsdaten mit bekanntem Zielattributen (gelabelte Daten).
- Eingabe: Instanz (Objekt, Beispiel, Datenpunkt, Merkmalsvektor) = Vektor mit Attribut-Belegungen.
- Ausgabe: Belegung des/der Zielattribut(e).
 - Klassifikation: Nominaler Wertebereich des Zielattributs, z.B. {grün, rot, blau}, {Spam, Nicht-Spam}.
 - Ordinale Regression: Ordinaler Wertebereich des Zielattributs, z.B. {klein, mittel, groß}.
 - Regression: Numerischer Wertebereich des Zielattributs, z.B. Temperatur.

Problemklassen

Überwachtes Lernen von Attributbelegungen

□ Beispiel *binäre Klassifikation*:

Tag	Bewölkung	Temperatur	Luftfeuchtigkeit	Wind	Tennis spielen?
1	sonnig	warm	hoch	wenig	nein
2	sonnig	warm	hoch	stark	nein
3	bedeckt	warm	hoch	wenig	ja
4	Regen	mild	hoch	wenig	ja
5	Regen	kühl	normal	wenig	ja
6	Regen	kühl	normal	stark	nein
7	bedeckt	kühl	normal	stark	ja
8	sonnig	mild	hoch	wenig	nein
9	sonnig	kühl	normal	wenig	ja
10	Regen	mild	normal	wenig	ja
11	sonnig	mild	normal	stark	?
12	bedeckt	mild	hoch	stark	?
13	bedeckt	warm	normal	wenig	?
14	Regen	mild	hoch	stark	?

Trainingsdaten

Testdaten

Zielgröße

Problemklassen

Unüberwachtes Lernen von Attributbelegungen

- Gegeben: Trainingsdaten mit unbekannten Zielattributen (ungelabelte Daten).
- Eingabe: Instanzen.
- Ausgabe: Belegung der Zielattribute.
 - Clustern: Nominaler Wertebereich des Zielattributs, z.B. Jahreszeiten, {Cluster1, Cluster2, ...}.
 - Dichteschätzung: Numerischer Wertebereich des Zielattributs.
 - Visualisierung: Bspw. 3 numerische Zielattribute (Koordinaten).

Problemklassen

Unüberwachtes Lernen von Attributbelegungen

□ Beispiel *Clustern* (Tabellendarstellung):

Monat	Bewölkung	Temperatur	Luftfeuchtigkeit	Wind	Jahreszeit
Juli	sonnig	warm	hoch	wenig	?
September	sonnig	warm	hoch	stark	?
August	bedeckt	warm	hoch	wenig	?
April	Regen	mild	hoch	wenig	?
Oktober	Regen	kühl	normal	wenig	?
Dezember	Regen	kühl	normal	stark	?
Januar	bedeckt	kühl	normal	stark	?
Juli	sonnig	mild	hoch	wenig	?
Februar	sonnig	kühl	normal	wenig	?
März	Regen	mild	normal	wenig	?
November	sonnig	mild	normal	stark	?
August	bedeckt	mild	hoch	stark	?
Juni	bedeckt	warm	normal	wenig	?
April	Regen	mild	hoch	stark	?

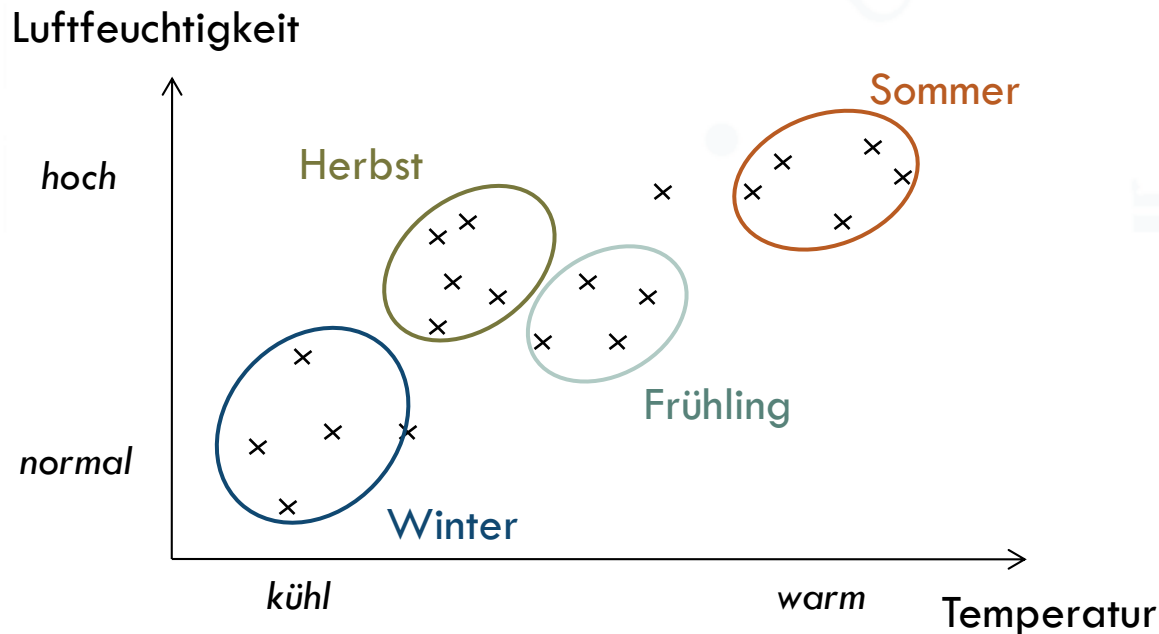
Trainingsdaten

Zielgröße

Problemklassen

Unüberwachtes Lernen von Attributbelegungen

- Beispiel *Clustern* (Diagramm bzgl. der Attribute Luftfeuchtigkeit und Temperatur):



Problemklassen

Suchen von häufigen/seltenen Mustern

- Eingabe: Trainingsdaten mit Relationen zw. den Instanzen.
- Ausgabe: Regeln (allgemeinere Abhängigkeiten).
 - *Frequent Item Sets Detection*: Gegeben sind Tupel von Objekten; Ziel: häufige Teilmengen finden.
 - *Frequent Sequences Detection*: Gegeben sind Sequenzen von Objekten; Ziel: häufige Teilsequenzen finden.
 - *Anomaly/Novelty Detection*: Gegeben sind Sequenzen oder Punktmengen; Ziel: Auffälligkeiten entdecken.

Problemklassen

Halbüberwachtes Lernen von Attributbelegungen

- Gegeben: Trainingsdaten mit teilweise bekannten Zielattributen (gelabelte und ungelabelte Daten).
- Eingabe: Instanz.
- Ausgabe: Belegung des Zielattributs.
 - Überwachtes Clustern: Wertebereich des Zielattributs bekannt; Ziel: Zuordnung der ungelabelten Beispiele.
 - Active Learning: Ungelabelte Daten durch Experten gelabelt; Ziel: möglichst wenig Beispiele labeln zu müssen.
 - Self-Learning, Co-Learning: Ungelabelte Daten durch Modell gelabelt; fließen direkt/indirekt in Trainingsprozess ein.

Problemklassen

Überwachtes Lernen von globalen Ordnungsrelationen

- Gegeben: Trainingsdaten mit einer bekannten Sortierung bzw. paarweisen Ordnung.
- Eingabe: Menge von Instanzen.
- Ausgabe: Eine Sortierung der Instanzen.
 - Ordinale Regression.
 - Rank-Learning.
 - Pairwise Ranking: Ordnung für die Eingabe von zwei Instanzen.
 - Label Ranking: Scoring/Sortierung von mehr als zwei Instanzen.

Problemklassen

Überwachtes Lernen von globalen Ordnungsrelationen

□ Beispiel *Rank-Learning*:

Reifenmodell	Preis in EUR	Bremsweg (trocken)	Bremsweg (nass)	Geräusch	Platzierung
Fulda Carat Progresso	44 bis 70	2,0	1,8	3,0	1
Continental PC 2	59 bis 77	1,3	2,0	3,5	2
Bridgestone Turanza	51 bis 75	1,3	2,2	2,9	3
Uniroyal Rain Expert	52 bis 75	1,9	1,9	3,7	4
Semperit Comfort Life	46 bis 66	2,2	2,3	3,3	5
Firestone TZ300 a	48 bis 65	1,8	2,3	3,3	6
Dunlop SP Sport	51 bis 77	1,4	2,8	3,1	7
Vredestein Hi-Trac	37 bis 68	4,1	2,1	4,2	8
Hankook Optimo	43 bis 66	2,1	3,2	3,2	9
Yokohama C.Drive	48 bis 69	1,6	3,2	3,1	10
Goodyear DuraGrip	46 bis 72	2,0	2,8	3,0	?
Michelin Energy Saver	61 bis 86	2,1	2,5	3,0	?
Pneumant PN550	39 bis 65	2,4	3,2	3,6	?
Kumho Solus KH17	42 bis 61	1,8	2,2	3,0	?

Trainingsdaten

Testdaten

Zielgröße

Problemklassen

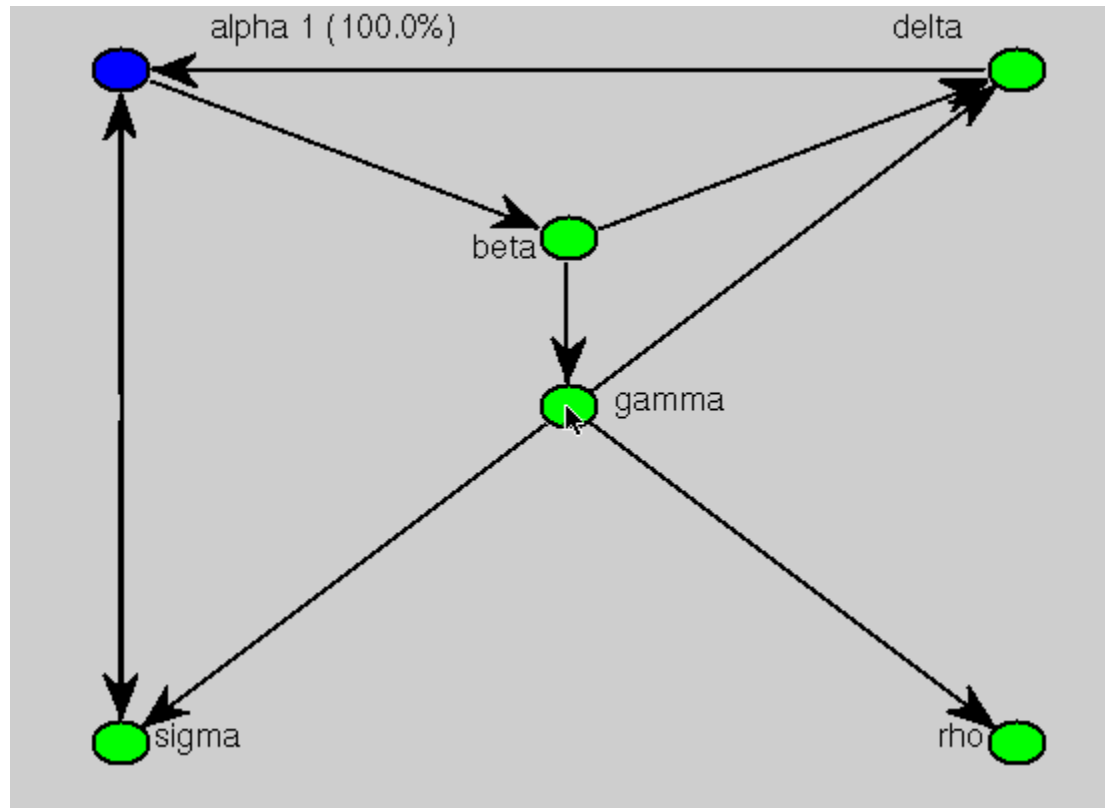
Unüberwachtes Lernen von globalen Ordnungsrelationen

- Gegeben: Trainingsdaten mit einer unbekannt Sortierung bzw. paarweisen Ordnung.
- Eingabe: Menge von Instanzen.
- Ausgabe: Eine Sortierung der Instanzen nach Relevanz.
 - Authority-Ranking.
 - Sortierung unbekannt aber Modell für Relevanz (Authority) bekannt, z.B. Random-Walk-Modell in Graphen.
 - Sortierung/Relevanz nur indirekt bekannt, z.B. durch Anklicken eines Links.

Problemklassen

Un-/Halbüberwachtes Lernen von globalen Ordnungsrelationen

- Beispiel *Authority-Ranking* mit Random-Walk-Modell:



Problemklassen

Lernen von lokalen Ordnungsrelationen

- Gegeben: Trainingsdaten mit mehreren (teilweise) bekannten nutzerabhängigen Sortierungen.
- Eingabe: Menge von Instanzen und Nutzern.
- Ausgabe: Sortierung der Instanzen pro Nutzer.
 - Collaborative Filtering: Nur Präferenzen teilweise bekannt.
 - Content-based Filtering: Eigenschaften von Instanzen und Nutzern bekannt; Präferenzen teilweise bekannt.

Problemklassen

Lernen von lokalen Ordnungsrelationen

□ Beispiel Collaborative Filtering:

Predictions for you ↕	Your Ratings	Movie Information	Wish List
★★★★★	Not seen	About a Boy (2002) DVD, VHS, info imdb Comedy, Drama	<input checked="" type="checkbox"/>
★★★★★	Not seen	Chicago (2002) info imdb Comedy, Crime, Drama, Musical	<input checked="" type="checkbox"/>
★★★★★	0.5 stars	And Your Mother Too (Y Tu Mamá También) (2001) DVD, VHS, info imdb Comedy, Drama, Romance	<input type="checkbox"/>
	1.0 stars		
	1.5 stars		
	2.0 stars		
	2.5 stars		
★★★★★	3.0 stars	Monsoon Wedding (2001) DVD, VHS, info imdb Comedy, Romance	<input type="checkbox"/>
	3.5 stars		
	4.0 stars		
★★★★★	4.5 stars	Talk to Her (Hable con Ella) (2002) info imdb Comedy, Drama, Romance	<input type="checkbox"/>
	5.0 stars		

Film	Nutzer 1	Nutzer 2	Nutzer 3
About a Boy	5		4
Chicago	4	2	?
And Your M...			5
Monsoon Wedding	4	1	?
Talk to Her			4
Titanic			?
The Bourne Identity	2	2	?
SAW	1	5	?
Se7en		4	1
Earth			5
Stuart Little		1	?

Trainingsdaten

Zielgröße

Problemklassen

Weitere Lernprobleme bzw. Spezialfälle

- Adversarial Learning: Lernen in *Static Games*.
- Reinforcement Learning: Lernen in *Repeated Games*.
- Daten-Modellierung & -Visualisierung.
- Structured Input-/Output-Learning.
- ...

Daten-Eigenschaften

Abhängigkeit zwischen den Datenpunkten

□ Unabhängige Daten:

Datenpunkte sind (nahezu) unabhängig von einander, z.B. Kundendaten.



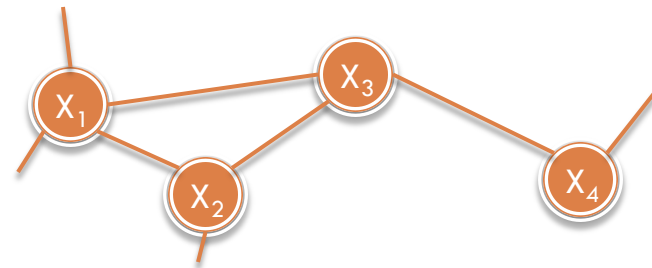
□ Sequenzen:

Folge von abhängigen Datenpunkten, z.B. Wetterdaten.



□ Verlinkte Daten:

Abhängigkeiten höherer Ordnung, z.B. Webseiten.



Daten-Eigenschaften

Verfügbarkeit

- Batch Learning: Trainingsdaten (und evtl. Testdaten) zum Analysezeitpunkt verfügbar.
 - Beispiel: Kaufverhalten auf Kundendaten vorhersagen.

- Online Learning: Trainingsdaten (und evtl. Testdaten) zum Analysezeitpunkt sequenziell verfügbar.
 - Beispiel: Spam-Filter im Email-Client (Nachtrainieren nach jeder neuen, vom Nutzer gelabelten Email).

Daten-Eigenschaften

Umfang und Qualität

- Umfang:
 - ▣ Scale: Viele/wenige verschiedene Attribute/Instanzen.
 - ▣ Sparsity: Viele/wenige verschiedene Attributbelegungen.
- Qualität:
 - ▣ Fehlerhafte Attribute/Zielattribut(e).
 - ▣ Fehlende Attributbelegung.
 - ▣ Nicht-repräsentative Beispiele (Data Distribution Shift).
 - ▣ Ungleichmäßige Verteilung der Zielattributbelegungen (Imbalanced Classes).
 - ▣ ...

Grundlagen der Lerntheorie

Grundbegriffe

- Modell (Hypothese): Funktion welche, abhängig von der Problemklasse, den Eingabeattributen/-Instanzen eine Belegung der Zielgröße zuordnet.
- Lernverfahren: Algorithmus welcher für gegebene Daten ein Modell auswählt.
- Modellraum (Hypothesenraum): Menge der Modelle, die vom Lernverfahren berücksichtigt werden.
 - Einschränkung auf Modellraum \Rightarrow „Modell-Bias“.

Grundlagen der Lerntheorie

Grundbegriffe

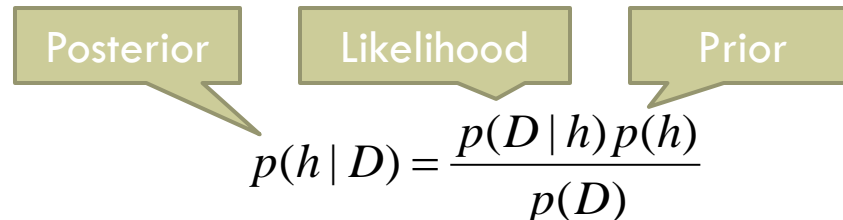


- Versionsraum: Menge der Modelle, die mit den Trainingsdaten konsistent sind.
 - Versionsraum wird kleiner je mehr Daten vorhanden sind, ist i.d.R. jedoch unendlich groß!
 - Versionsraum leer: Trainingsmenge widersprüchlich oder zu eingeschränkter Modellraum.
 - Alle Elemente des Versionsraums erklären die Daten gleichermaßen gut.
 - Annahme: Genau ein Element des Versionsraums hat die Daten erzeugt.

Grundlagen der Lerntheorie

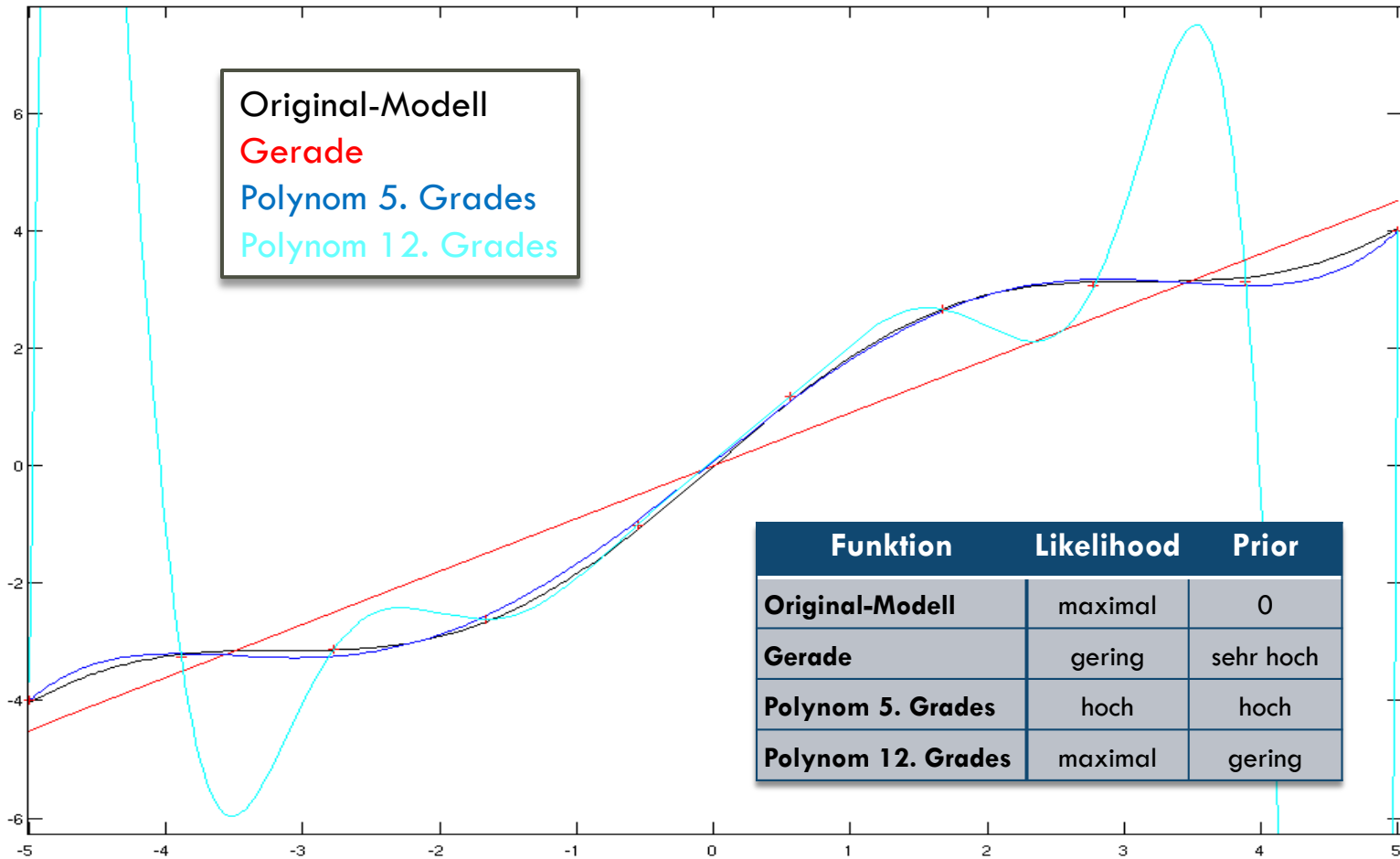
Grundbegriffe

- A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit (*Posterior*) eines Modells: Wie wahrscheinlich ist das Modell h nachdem wir die Daten D gesehen haben.
- A-Priori-Wahrscheinlichkeit (*Prior*) eines Modells: Wie wahrscheinlich ist das Modell h bevor wir die Daten D gesehen haben.
- *Likelihood* der Daten: Wie wahrscheinlich wurden die Daten D durch das Modell h erzeugt.

A diagram illustrating the components of the Bayesian formula. Three light green boxes labeled 'Posterior', 'Likelihood', and 'Prior' are positioned above the formula. The 'Posterior' box has a pointer pointing to the left side of the equation, the 'Likelihood' box has a pointer pointing to the numerator, and the 'Prior' box has a pointer pointing to the numerator. The formula is
$$p(h | D) = \frac{p(D | h)p(h)}{p(D)}$$

Grundlagen der Lerntheorie

Grundbegriffe



Grundlagen der Lerntheorie

Grundbegriffe



- Verlustfunktion l : Negativer Logarithmus der Daten-Likelihood.

- ▣ Likelihood im Intervall $[0,1] \Rightarrow$ Verlustfunktion im Intervall $[0,\infty]$.
- ▣ Je höher die Likelihood, desto geringer der Verlust.
- ▣ Je geringer die Likelihood, desto größer der Verlust.

$$l(D, h) = -\log p(D | h)$$

- Regularisierer Ω : Negativer Logarithmus der A-Priori-Wahrscheinlichkeit eines Modells.

- ▣ Analoge Eigenschaften wie Verlustfunktion.
- ▣ Kodiert „Vorwissen“ über die Wahl eines Modells.

$$\Omega(h) = -\log p(h)$$

Grundlagen der Lerntheorie

Optimale Entscheidung

- Wähle das Modell, welches am wahrscheinlichsten die Daten erzeugt hat = Maximum Likelihood (ML).

- Problem: Likelihood ist gleichgroß für alle Modelle im Versionsraum!

$$\arg \max_h p(D | h) = \arg \min_h l(D, h)$$

- Wähle das Modell, welches am wahrscheinlichsten ist nachdem wir die Daten gesehen haben = Maximum A-Posteriori (MAP).

$$\arg \max_h p(h | D) = \arg \max_h p(D | h) p(h) = \arg \min_h l(D, h) + \Omega(h)$$

- Middle über alle Modelle gewichtet mit ihrer A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit = Bayes'sches Lernen.

Grundlagen der Lerntheorie

Optimale Entscheidung



□ Generatives Lernen:

- Schätze Likelihood-Funktion explizit aus den Trainingsdaten.
- Berechne aus geschätzter Likelihood und Prior das wahrscheinlichste Modell.
- Wähle Entscheidungsfunktion: Vorhersage für Zielgrößen gemäß des Modells.

□ Diskriminatives Lernen:

- Schätze Posterior aus den Trainingsdaten und wähle das wahrscheinlichste Modell.
- Wähle Entscheidungsfunktion: Vorhersage für Zielgrößen gemäß des Modells.

□ Direktes Lernen:

- Finde Funktion welche direkt aus den Trainingsdaten eine Vorhersage für Zielgrößen trifft (ohne Wahrscheinlichkeiten explizit zu modellieren).

Grundlagen der Lerntheorie

Finden der optimalen Entscheidung



- Problemklasse, Modellraum, Lernstrategie usw. bestimmen.
- Zielkriterium (Optimierungsaufgabe) formulieren.
- Optimierungsaufgabe (OA) lösen:
 - Suche: heuristisch, Greedy, etc.
 - Analytisch: Geschlossene Lösung existiert, z.B. Nullstellen einer Parabel.
 - Numerisch: Keine (bzw. zu aufwendige) geschlossene Lösung, z.B. Nullstellen durch Newton-Verfahren finden.
 - Analytische Approximation: OA durch analytisch lösbare Aufgabe approximieren, z.B. Minimierung einer konvexen oberen Schranke der Zielfunktion.
 - Numerische Approximation: OA durch numerisch lösbare Aufgabe approximieren, z.B. komplexe OA in mehrere einfache OAs zerlegen.

Zusammenfassung

- Zahlreiche unterschiedliche & unterschiedlich schwere Datenanalyseprobleme, z.B.
 - Klassifikation/Regression,
 - Clustern,
 - Ranking usw.
- Verschiedene Lernstrategien & Lösungsansätze.
- Erkennen des Datenanalyseproblems und Wahl einer geeigneten Lernstrategie entscheidend!