

Masterarbeit

# Anforderung-zu-Quelltextrückverfolgbarkeit mittels Wort- und Quelltexteinbettungen

Fei Chen

Betreut von M.Sc. Tobias Hey

IPD Tichy, Fakultät für Informatik



# Rückverfolgbarkeit: Motivation

## Anforderung 1

Studenten sollen sich im Campussystem für Prüfungen anmelden können.

## Anforderung 2

Studenten sollen im Campussystem Bescheinigungen ausdrucken können.

```
public class PDFDrucker {  
    public void drucken(Datei d) {  
        ...  
    }  
}  
  
public class Pruefung {  
    public void meldeAn(Student s) {  
        ...  
    }  
}
```

# Rückverfolgbarkeit: Motivation

## Anforderung 1

Studenten sollen sich im Campussystem für Prüfungen anmelden können.

## Anforderung 2

Studenten sollen im Campussystem Bescheinigungen ausdrucken können.

```
public class PDFDrucker {  
    public void drucken(Datei d) {  
        ...  
    }  
}  
  
public class Pruefung {  
    public void meldeAn(Student s) {  
        ...  
    }  
}
```

# Herausforderungen

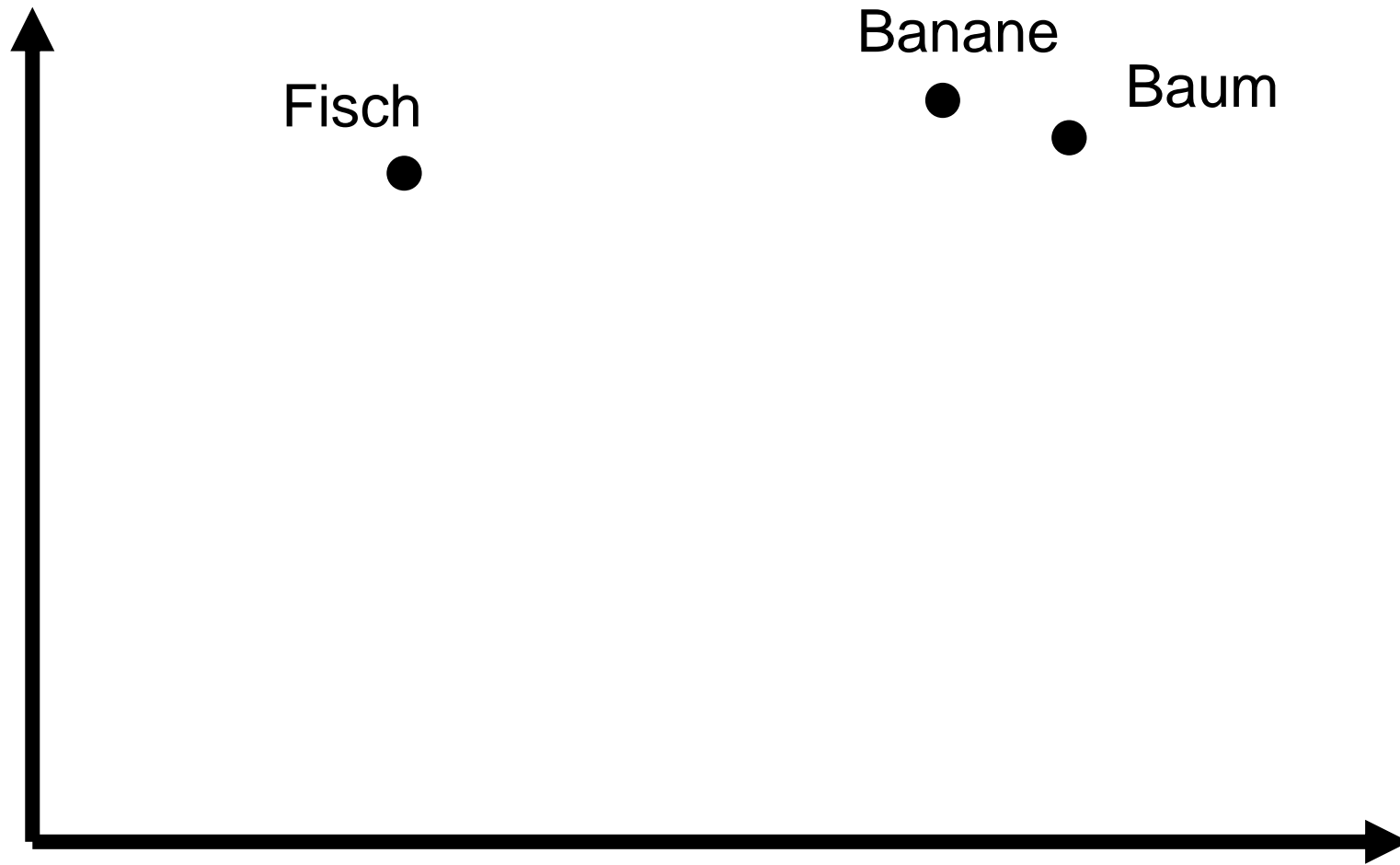
- Unterschiedliche Abstraktionsniveaus
- Unterschiedliche Wortwahl
- Natürliche Sprache vs. Quelltext

## Anforderung 1

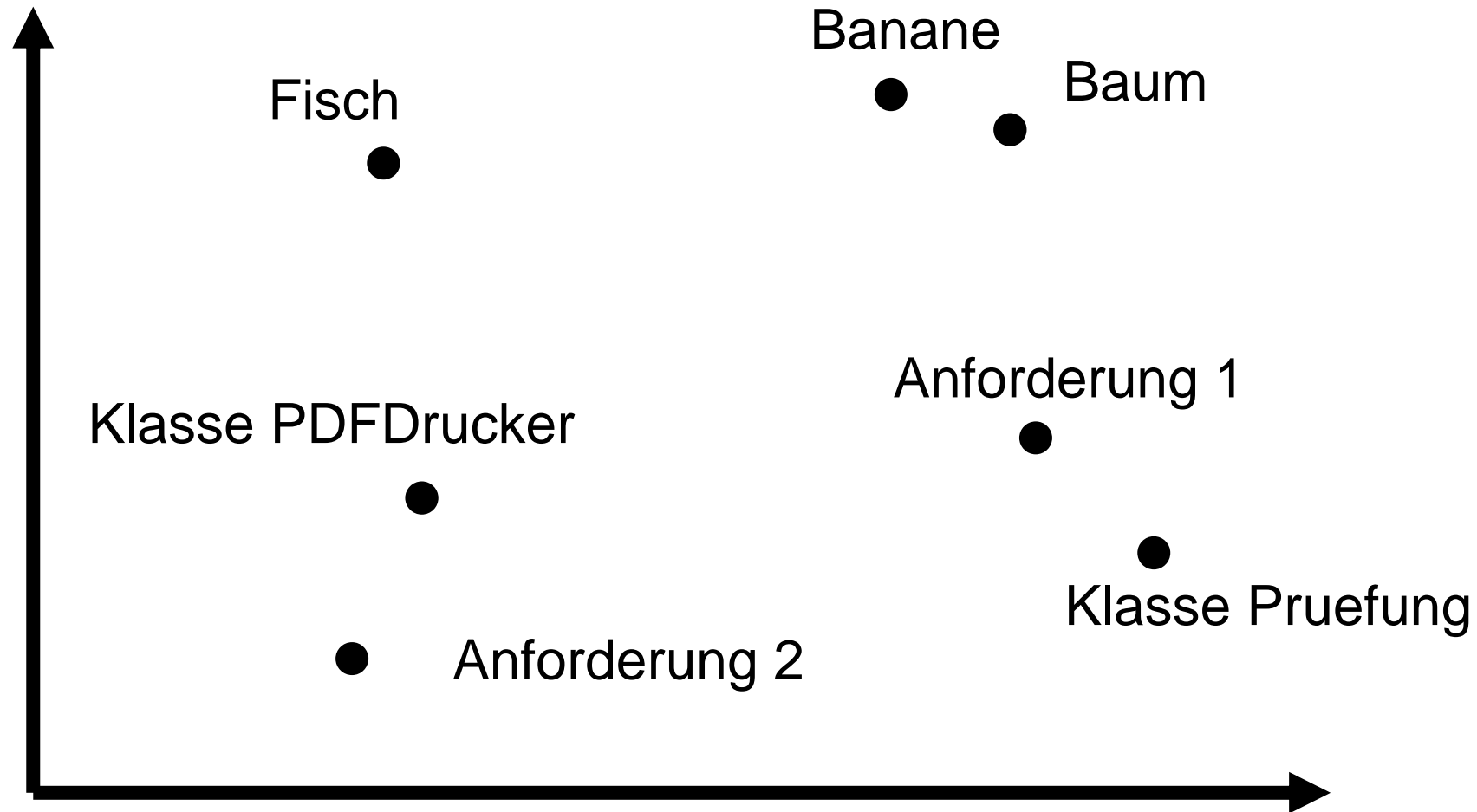
Studenten sollen sich im Campussystem für Prüfungen anmelden können.

```
public class Pruefung {  
    private List erlaubteFaecherList;  
  
    public void meldeAn(Student s) {  
        if (this.erlaubteFaecherList.contains(s.fachrichtung())) {  
            ...  
        }  
    }  
}
```

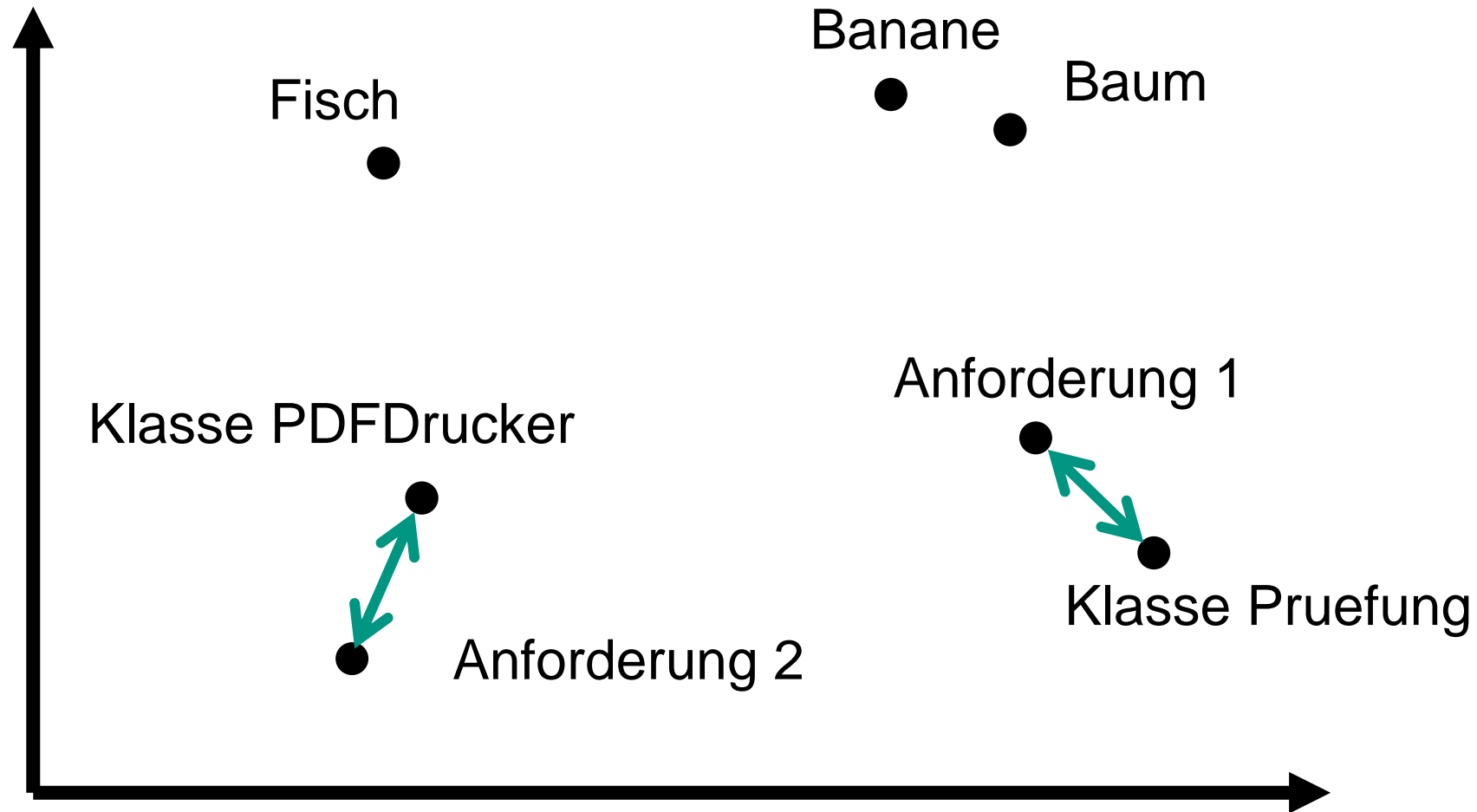
# Ansatz mit Einbettungen



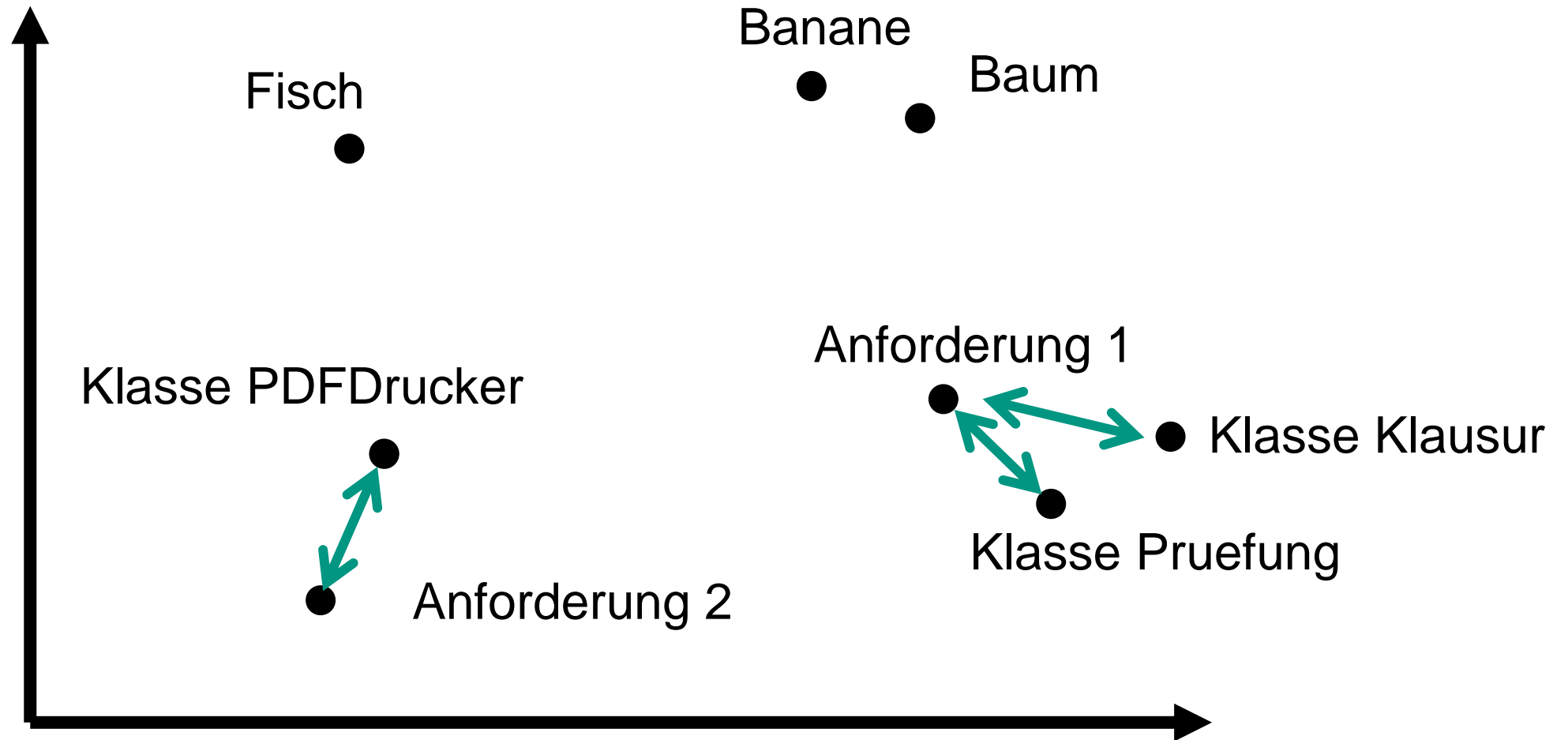
# Ansatz mit Einbettungen



# Ansatz mit Einbettungen



# Ansatz mit Einbettungen





# Zielsetzung

*Entwurf eines automatisches Verfahrens zur Erzeugung von Rückverfolgbarkeitsverbindungen zwischen Anforderungen und Quelltext mit Hilfe von Einbettungen*

- Entwurf von Anforderungseinbettungen
- Entwurf von Quelltexteinbettungen
- Entwurf eines Zuordnungsverfahrens zwischen Anforderungs- und Quelltexteinbettungen

## Verwandte Arbeiten

Rückverfolgbarkeit mit IR-Methoden [ACCL00] [MM03] [HDSH04] [ANS08] [MPB+20]

- Allgemeines Vorgehen [DLMOP12]
  - Artefakte auf Vektoren abbilden
  - Paarweise Ähnlichkeitsmetrik auf Vektoren anwenden
  - Artefakte ab einem Ähnlichkeitsschwellwert als Kandidaten für eine Rückverfolgbarkeitsverbindung festlegen
  - Entwickler identifiziert valide Kandidaten
- Keine spezifische Behandlung von Quelltext

Rückverfolgbarkeit mit Einbettungen [GCC17] [CKV19] [LLS+19]

- Zwischen natürlichsprachigen Artefakten oder zwischen Quelltextartefakten
- Nicht zwischen Anforderungen und Quelltext

# Anforderungseinbettungen

Studenten sollen sich für Prüfungen anmelden können

# Anforderungseinbettungen

Student ~~sollen~~ ~~sich~~ ~~für~~ Prüfung anmelden ~~können~~

# Anforderungseinbettungen

$$\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$


Student

~~sollen~~ ~~sich~~ ~~für~~

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$


Prüfung

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$


anmelden können

# Anforderungseinbettungen

$$\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$



Student

~~sollen~~ ~~sich~~ ~~für~~

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

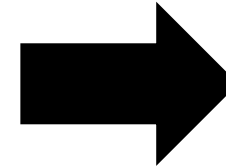


Prüfung

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$



anmelden können

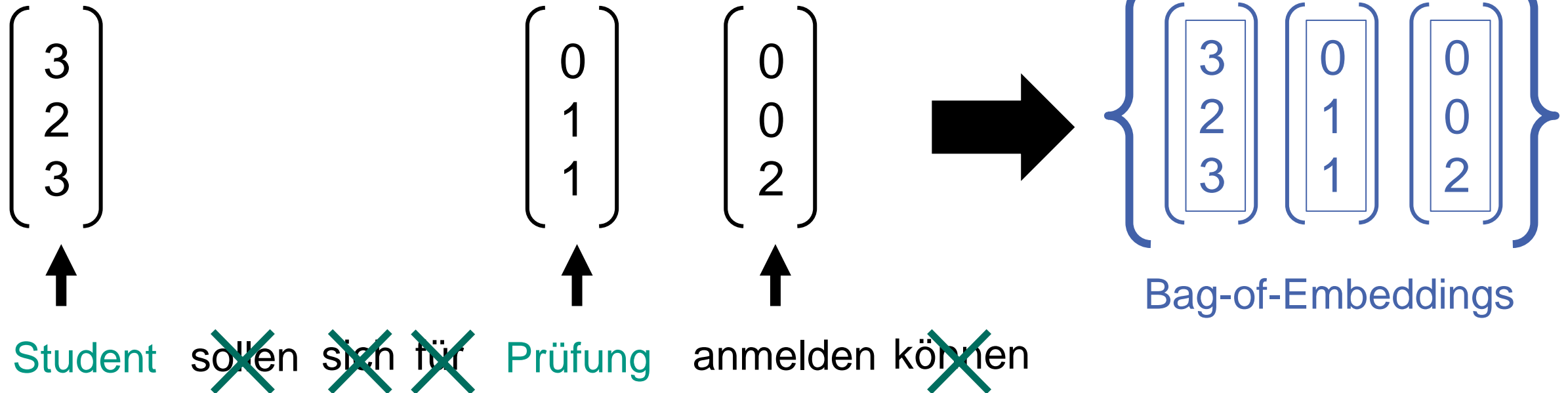


## Anforderungseinbettung

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Durchschnitt

# Anforderungseinbettungen



# Quelltexteinbettungen

## Möglichkeiten zur Erzeugung der Quelltexteinbettung

- Existierendes Wordinbettungsverfahren nutzen und Durchschnitt bilden
- Bag-of-Embeddings

```
/**
 * Diese Klasse repräsentiert Studenten, die an einer Hochschule eingeschrieben sind.
 */
public class Student extends Mensch implements Ausbildung {
    private int matrikelNr;

    /**
     * Der Student legt eine Prüfung ab.
     */
    public Note absolvieren(Pruefung p) {
        p.meldeAn(this);
        ...
    }
}
```



# Quelltexteinbettungen

## Möglichkeiten zur Erzeugung der Quelltexteinbettung

- Existierendes Worteinbettungsverfahren nutzen und Durchschnitt bilden
- Bag-of-Embeddings

```
/**
 * Diese Klasse repräsentiert Studenten, die an einer Hochschule eingeschrieben sind.
 */
public class Student extends Mensch implements Ausbildung {
    private int matrikelNr;

    /**
     * Der Student legt eine Prüfung ab.
     */
    public Note absolvieren(Pruefung p) {
        p.meldeAn(this);
        ...
    }
}
```

# Quelltexteinbettungen

## Möglichkeiten zur Erzeugung der Quelltexteinbettung

- Existierendes Wordinbettungsverfahren nutzen und Durchschnitt bilden
- Bag-of-Embeddings

```
/**  
 * Diese Klasse repräsentiert Studenten, die an einer Hochschule eingeschrieben sind.  
 */  
public class Student extends Mensch implements Ausbildung {  
    private int matrikelNr;  
  
    /**  
     * Der Student legt eine Prüfung ab.  
     */  
    public Note absolvieren(Pruefung p) {  
        p.meldeAn(this);  
        ...  
    }  
}
```

# Quelltexteinbettungen

## Möglichkeiten zur Erzeugung der Quelltexteinbettung

- Existierendes Worteinbettungsverfahren nutzen und Durchschnitt bilden
- Bag-of-Embeddings

```
/**  
 * Diese Klasse repräsentiert Studenten, die an einer Hochschule eingeschrieben sind.  
 */  
public class Student extends Mensch implements Ausbildung {  
    private int matrikelNr;  
  
    /**  
     * Der Student legt eine Prüfung ab.  
     */  
    public Note absolvieren(Pruefung p) {  
        p.meldeAn(this);  
        ...  
    }  
}
```

# Quelltexteinbettungen

## Möglichkeiten zur Erzeugung der Quelltexteinbettung

- Existierendes Worteinbettungsverfahren nutzen und Durchschnitt bilden
- Bag-of-Embeddings

```
/**  
 * Diese Klasse repräsentiert Studenten, die an einer Hochschule eingeschrieben sind.  
 */  
public class Student extends Mensch implements Ausbildung {  
    private int matrikelNr;  
  
    /**  
     * Der Student legt eine Prüfung ab.  
     */  
    public Note absolvieren(Pruefung p) {  
        p.meldeAn(this);  
        ...  
    }  
}
```


# Quelltexteinbettungen

## Möglichkeiten zur Erzeugung der Quelltexteinbettung

- Existierendes Wordinbettungsverfahren nutzen und Durchschnitt bilden
- Bag-of-Embeddings

```
/**
 * Diese Klasse repräsentiert Studenten, die an einer Hochschule eingeschrieben sind.
 */
public class Student extends Mensch implements Ausbildung {
    private int matrikelNr;

    /**
     * Der Student legt eine Prüfung ab.
     */
    public Note absolvieren(Pruefung p) {
        p.meldeAn(this);
        ...
    }
}
```



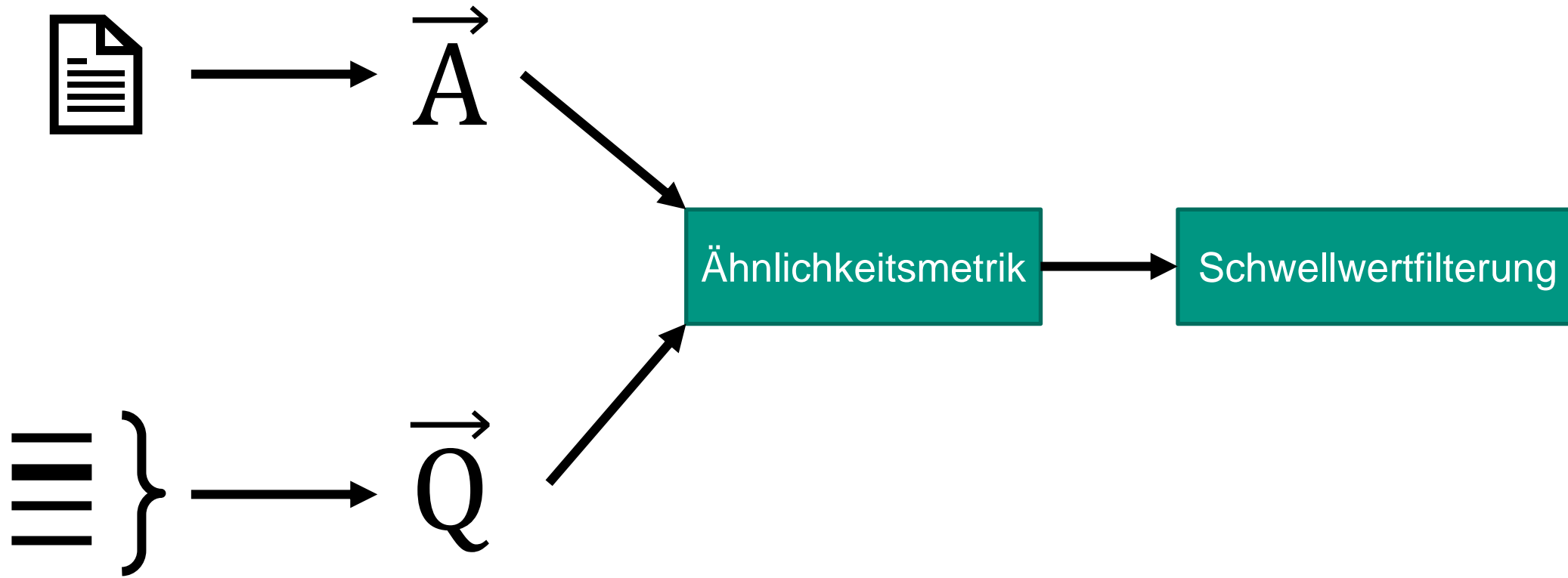
# Zuordnung zwischen Anf.- und Quelltexteinbettungen

- Ziel: Möglichst viele valide Rückverfolgbarkeitsverbindungen zwischen Anforderungs- und Quelltextdateien erzeugen

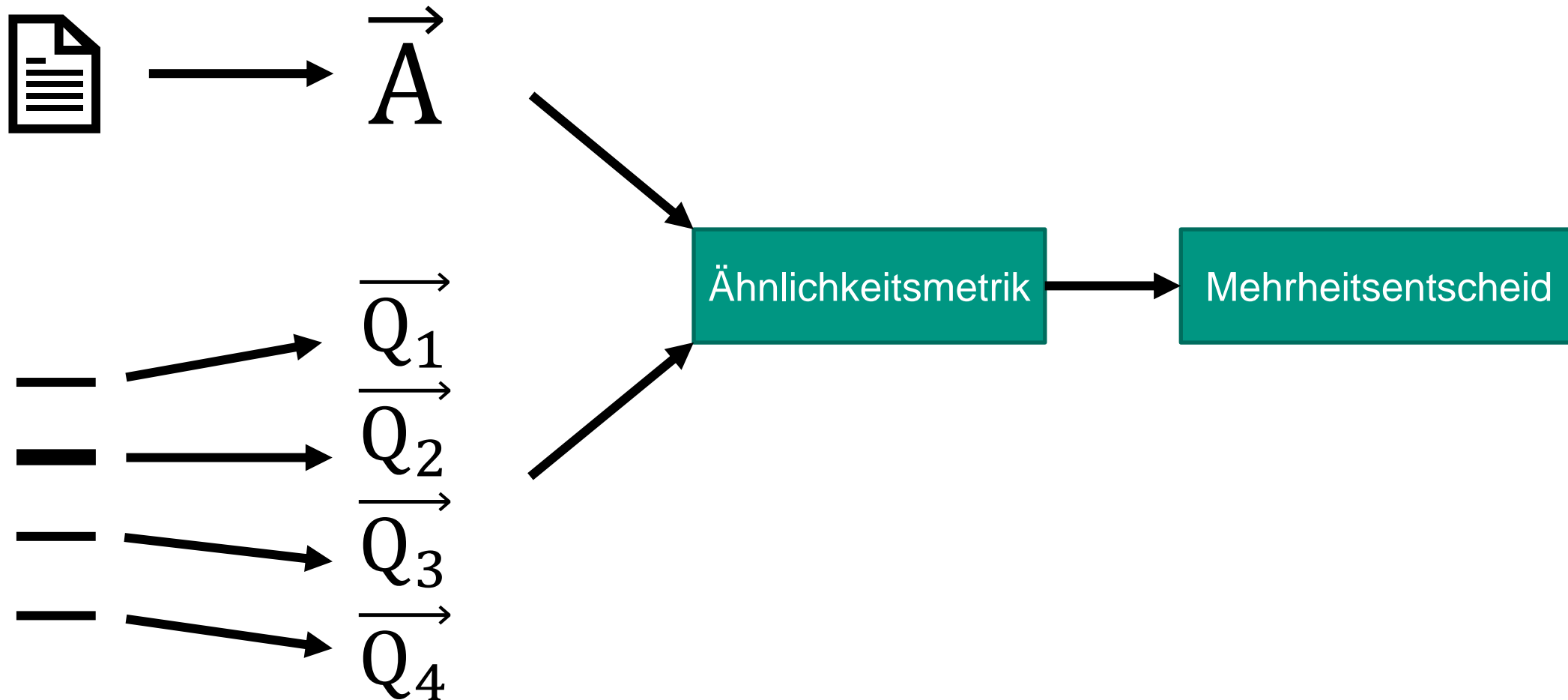
## Optionen

- Zuordnung auf der Dateiebene
- Ableitung aus der Elementebene durch Mehrheitsentscheid

# Zuordnung auf der Dateiebene



# Ableitung aus der Elementebene durch Mehrheitsentscheid



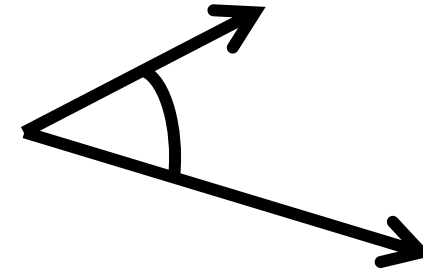


# Ähnlichkeitsmetriken

## Kosinusähnlichkeit

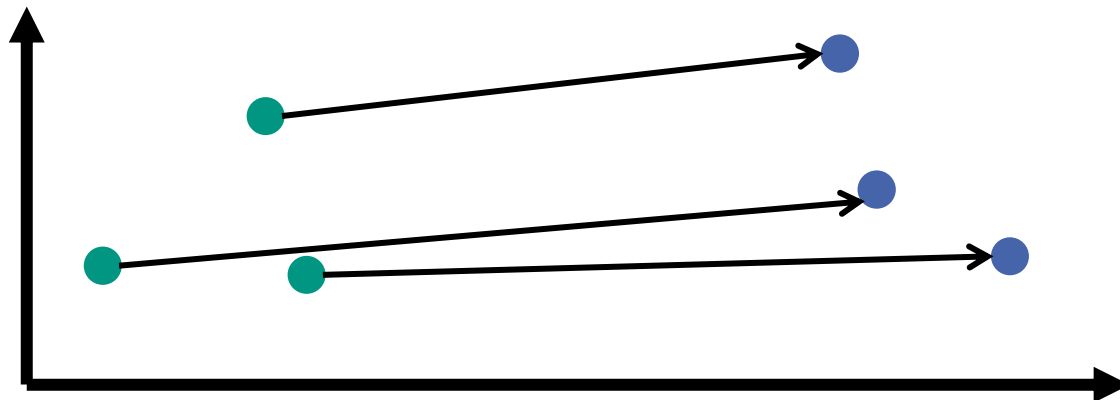
- Ähnlichkeit zwischen zwei Vektoren

- $\text{cossim}(x, y) = \cos(\varphi) = \frac{x \cdot y}{\|x\| \cdot \|y\|}$



## Word Mover's Distance (WMD) [KSKW15]

- Distanz zwischen zwei *Mengen* von Vektoren
- Entspricht der minimalen kumulativen euklidischen Distanz

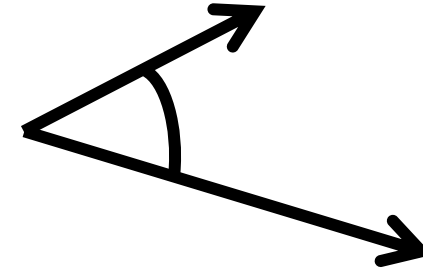


# Ähnlichkeitsmetriken

## Kosinusähnlichkeit

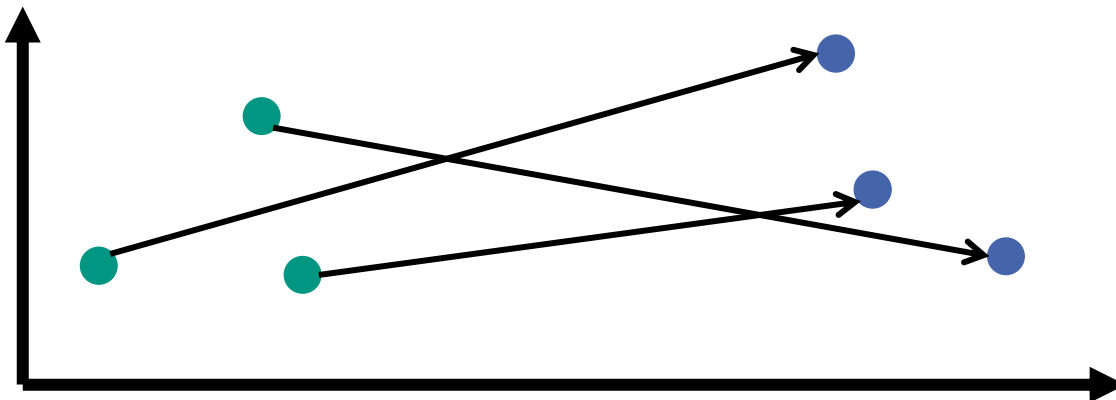
- Ähnlichkeit zwischen zwei Vektoren

- $\text{cossim}(x, y) = \cos(\varphi) = \frac{x \cdot y}{\|x\| \cdot \|y\|}$



## Word Mover's Distance (WMD) [KSKW15]

- Distanz zwischen zwei *Mengen* von Vektoren
- Entspricht der minimalen kumulativen euklidischen Distanz



# Evaluationsdatensätze

Datensatz	Anf.	Klassen	MuLö-Verb.	Naiver F1
eTour	58	113	362	10,4%
iTrust	131	226	286	2%
LibEST	52	14	204	43,8%
$\Sigma$	241	353	852	-

## Evaluationsmetriken

- Ausbeute
- Präzision
- F1

# Konfigurationsraum

## Anforderungseinbettung

- Durchschnitt Worteinbettungen
- zweistufiger Durchschnitt Worteinbettungen
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- Bag-of-Embeddings

## Zuordnung

- Ebene
  - Dateiebene
  - Mehrheitsentscheid
- Ähnlichkeitsmetrik
  - Kosinusähnlichkeit
  - Word Mover's Distance

## Quelltexteinbettung

- Durchschnitt Worteinbettungen
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- Bag-of-Embeddings
- Quelltextelemente
  - Klassenname
  - Superklassifizierer
  - Methodensignatur
  - Methodenrumpf
  - Klassenkommentar
  - Methodenkommentar
  - Attribut
  - Aufrufbeziehung

# Konfigurationsraum

## Anforderungseinbettung

- **Durchschnitt Worteinbettungen**
- zweistufiger Durchschnitt Worteinbettungen
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- Bag-of-Embeddings

## Zuordnung

- Ebene
  - **Dateiebene**
  - Mehrheitsentscheid
- Ähnlichkeitsmetrik
  - **Kosinusähnlichkeit**
  - Word Mover's Distance

## Quelltexteinbettung

- **Durchschnitt Worteinbettungen**
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- Bag-of-Embeddings
- Quelltextelemente
  - **Klassenname**
  - Superklassifizierer
  - **Methodensignatur**
  - Methodenrumpf
  - Klassenkommentar
  - **Methodenkommentar**
  - Attribut
  - Aufrufbeziehung

## 1. Datei-Kosinus

# Konfigurationsraum

## Anforderungseinbettung

- **Durchschnitt Worteinbettungen**
- zweistufiger Durchschnitt Worteinbettungen
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- Bag-of-Embeddings

## Zuordnung

- Ebene
  - Dateiebene
  - **Mehrheitsentscheid**
- Ähnlichkeitsmetrik
  - **Kosinusähnlichkeit**
  - Word Mover's Distance

## Quelltexteinbettung

- **Durchschnitt Worteinbettungen**
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- Bag-of-Embeddings
- Quelltextelemente
  - **Klassenname**
  - Superklassifizierer
  - **Methodensignatur**
  - Methodenrumpf
  - Klassenkommentar
  - **Methodenkommentar**
  - Attribut
  - Aufrufbeziehung

## 2. Mehr-Kosinus

# Konfigurationsraum

## Anforderungseinbettung

- **Durchschnitt Worteinbettungen**
- zweistufiger Durchschnitt Worteinbettungen
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- Bag-of-Embeddings

## Zuordnung

- Ebene
  - Dateiebene
  - **Mehrheitsentscheid**
- Ähnlichkeitsmetrik
  - **Kosinusähnlichkeit**
  - Word Mover's Distance

## Quelltexteinbettung

- **Durchschnitt Worteinbettungen**
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- Bag-of-Embeddings
- Quelltextelemente
  - **Klassenname**
  - Superklassifizierer
  - **Methodensignatur**
  - Methodenrumpf
  - Klassenkommentar
  - **Methodenkommentar**
  - Attribut
  - **Aufrufbeziehung**

## 3. Mehr-Kosinus mit Aufruf

# Konfigurationsraum

## Anforderungseinbettung

- Durchschnitt Worteinbettungen
- zweistufiger Durchschnitt Worteinbettungen
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- **Bag-of-Embeddings**

## Zuordnung

- Ebene
  - Dateiebene
  - **Mehrheitsentscheid**
- Ähnlichkeitsmetrik
  - Kosinusähnlichkeit
  - **Word Mover's Distance**

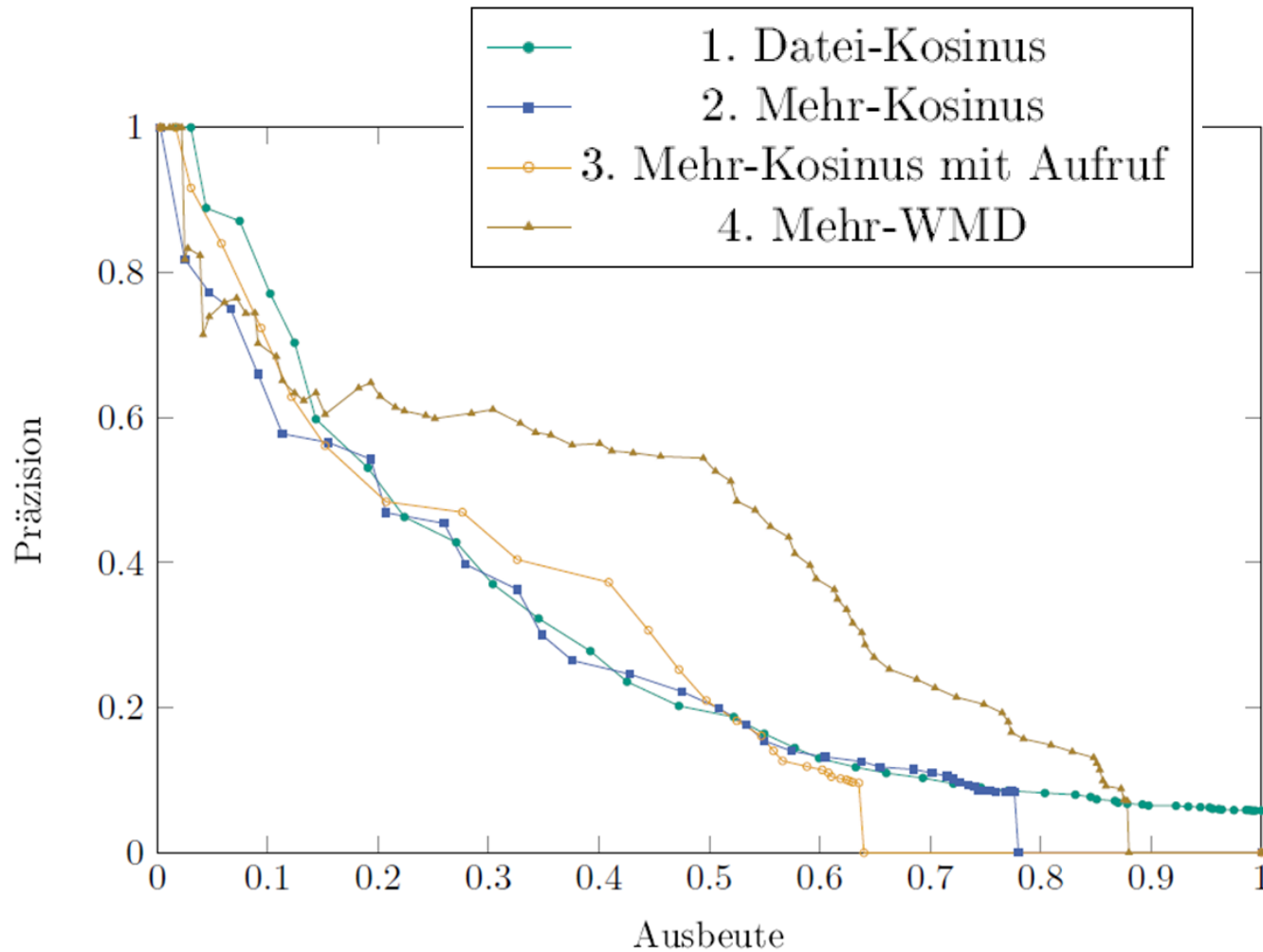
## Quelltexteinbettung

- Durchschnitt Worteinbettungen
- Durchschnitt Satzeinbettungen
- **Bag-of-Embeddings**
- Quelltextelemente
  - **Klassenname**
  - Superklassifizierer
  - **Methodensignatur**
  - Methodenrumpf
  - Klassenkommentar
  - Methodenkommentar
  - Attribut
  - Aufrufbeziehung

## 4. Mehr-WMD



# Evaluationsergebnisse: eTour



	F1	Ausb.	Präz.
1. Datei-Kosinus	33,4%	30,4%	37%
2. Mehr-Kosinus	34,4%	32,4%	35,5%
3. Mehr-Kosinus mit Aufruf	39%	40,9%	37,3%
4. Mehr-WMD	<b>51,8%</b>	49,4%	54,4%

## Bestes Verfahren pro Projekt und projektübergreifend

Projekt	Verfahren	Naiver F1	F1	Ausb.	Präz.
eTour	Mehr-WMD	10,4%	51,8%	49,4%	54,4%
iTrust	Mehr-Kosinus	2%	26,1%	24,5%	28%
LibEST	Mehr-WMD	43,8%	60,1%	75%	50,1%

Projekt	Verfahren	Ø F1	eTour	iTrust	LibEST
Alle	Mehr-WMD	39,4%	39,4%	22,9%	55,9%

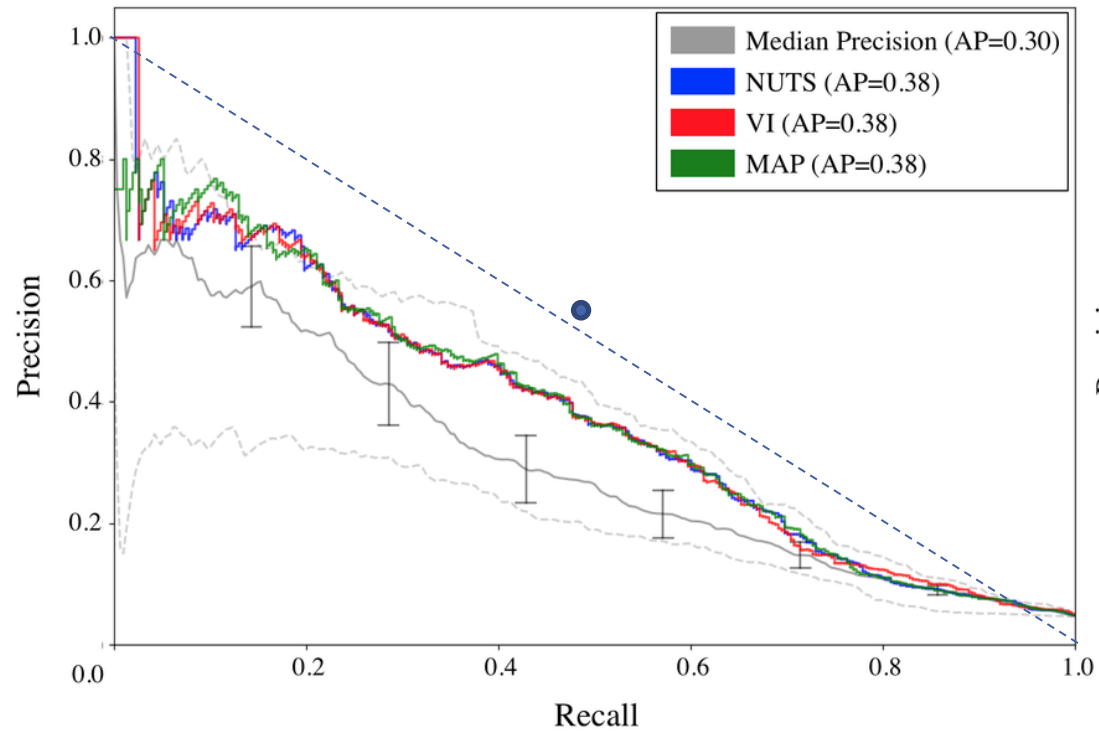
- eTour-Anforderungen sind Anforderungsfälle mit aussagekräftiger Überschrift
- iTrust hat viele Klassen, die vom gleichen Superklassifizierer erben
  - Schlechte Differenzierbarkeit, da geerbte Methodensignaturen gleich
- LibEST hat hohen naiven F1-Wert

## Vergleich mit verwandter Arbeit

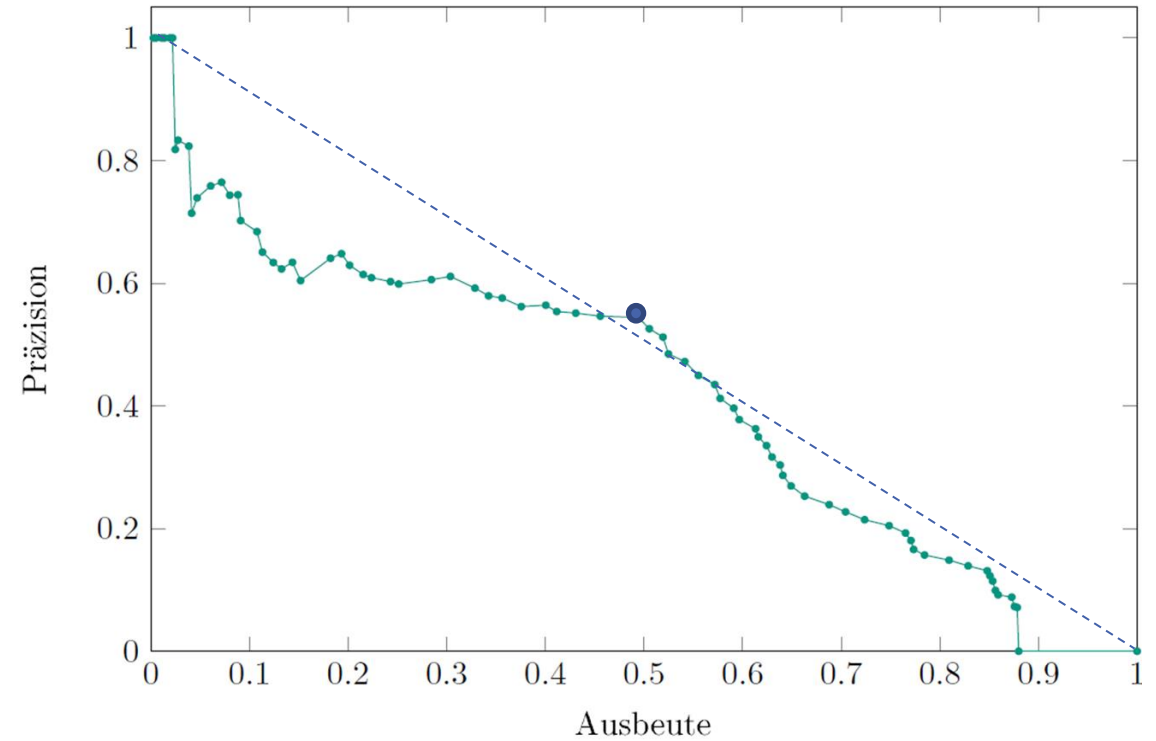
Vergleich mit Moran et al. [MPB+20]

- Anforderung-zu-Quelltextrückverfolgbarkeit
- Annahme: Existenz einer Rückverfolgbarkeitsverbindung ist wahrscheinlichkeitsbasiert
- Schätze Parameter der Wahrscheinlichkeitsverteilung
  - Nutzung von Techniken aus der Informationsrückgewinnung

# Vergleich mit Moran et al.: eTour



P/R Curve for eTour:  $R_q \rightarrow \text{Src}$



# Fazit und Ausblick

## Ziel

- Entwurf einer Anforderung-zu-Quelltextrückverfolgbarkeit durch Einbettungen

## Ansatz

- Verschiedene Quelltextelementkombinationen
- Zuordnung auf der Dateiebene oder Mehrheitsentscheid
- Ähnlichkeitsmetriken

## Ergebnisse

- WMD mit Mehrheitsentscheid ist das projektübergreifend bestes Verfahren
  - Durchschnittlicher F1-Wert von 39,4%

## Ausblick

- Weitere Kombinationsmöglichkeiten untersuchen, v. a. mit Gewichtung
- Abbildung zwischen verschiedenartigen Vektorräumen

# Literatur

- [BDVJ03] Bengio, Yoshua; Ducharme, Rejean; Vincent, Pascal; Janvin, Christian: A Neural Probabilistic Language Model. In: J. Mach. Learn. Res. 3 (2003), März
- [MCCD13] Mikolov, Tomas; Chen, Kai; Corrado, Greg; Dean, Jeffrey: Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space (2013), September.
- [BGJM17] Bojanowski, Piotr ; Grave, Edouard; Joulin, Armand; Mikolov, Tomas: Enriching Word Vectors with Subword Information. In: Transactions of the Association for Computational Linguistics 5 (2017), S.135-146. [http://dx.doi.org/10.1162/tacl\\_a\\_00051](http://dx.doi.org/10.1162/tacl_a_00051).
- [DCLT19] Devlin, Jacob; Chang, Ming-Wei; Lee, Kenton; Toutanova, Kristina: BERT: Pre-Training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. In: arXiv:1810.04805 [cs] (2019), Mai
- [LM14] Le, Quoc; Mikolov, Tomas: Distributed Representations of Sentences and Documents. In: International Conference on Machine Learning, 2014, S.1188-1196

# Literatur

- [DLMOP12] De Lucia, Andrea; Marcus, Andrian; Oliveto, Rocco; Poshyvanyk, Denys: Information Retrieval Methods for Automated Traceability Recovery. Version: 2012. [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-2239-5\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-2239-5_4). In: Cleland-Huang, Jane (Hrsg.); Gotel, Orlena (Hrsg.); Zisman, Andrea (Hrsg.): Software and Systems Traceability. London : Springer, 2012.
- [ACCL00] Antoniol; Canfora; Casazza; Lucia, De: Information Retrieval Models for Recovering Traceability Links between Code and Documentation. In: Proceedings 2000 International Conference on Software Maintenance, 2000.
- [MM03] Marcus, Andrian; Maletic, Jonathan I.: Recovering Documentation-to-Source-Code Traceability Links Using Latent Semantic Indexing. In: Proceedings of the 25th International Conference on Software Engineering. Portland, Oregon: IEEE Computer Society, Mai 2003 (ICSE '03).
- [HDSH04] Hayes, J.H. ; Dekhtyar, A. ; Sundaram, S.K. ; Howard, S.: Helping Analysts Trace Requirements: An Objective Look. In: Proceedings. 12th IEEE International Requirements Engineering Conference, 2004., 2004.

# Literatur

- [ANS08] Abadi, Aharon; Nisenson, Mordechai; Simionovici, Yahalomit: A Traceability Technique for Specifications. In: 2008 16th IEEE International Conference on Program Comprehension, 2008.
- [GCC17] Guo, Jin; Cheng, Jinghui; Cleland-Huang, Jane: Semantically Enhanced Software Traceability Using Deep Learning Techniques. In: 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering (ICSE), 2017.
- [CKV19] Csuvik, Viktor ; Kicsi, Andras ; Vidacs, Laszlo: Source Code Level Word Embeddings in Aiding Semantic Test-to-Code Traceability. In: 2019 IEEE/ACM 10th International Symposium on Software and Systems Traceability (SST), 2019.
- [LLS+19] Liu, Guangliang; Lu, Yang; Shi, Ke; Chang, Jingfei; Wei, Xing: Mapping Bug Reports to Relevant Source Code Files Based on the Vector Space Model and Word Embedding. In: IEEE Access 7 (2019), S. 78870-78881.
- [KSKW15] Kusner, Matt J.; Sun, Yu; Kolkin, Nicholas I.; Weinberger, Kilian Q.: From Word Embeddings To Document Distances. In: ICML, 2015



# Literatur

- [MPB+20] Moran, Kevin; Palacio, David N.; Bernal-Cardenas, Carlos ; McCrystal, Daniel; Poshyvanyk, Denys; Shenefiel, Chris ; Johnson, Jeff: Improving the Effectiveness of Traceability Link Recovery Using Hierarchical Bayesian Networks. In: arXiv:2005.09046 [cs] (2020), Mai.

# Worteinbettungen

## Eigenschaften

- Repräsentation eines Wortes als einen Vektor
- Vektordimension unabhängig von Vokabulargröße
- *Kodierung semantischer Ähnlichkeit durch die Distanz im Vektorraum*

### 2D-Einbettungsvektorraumbeispiel

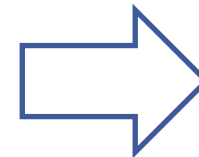
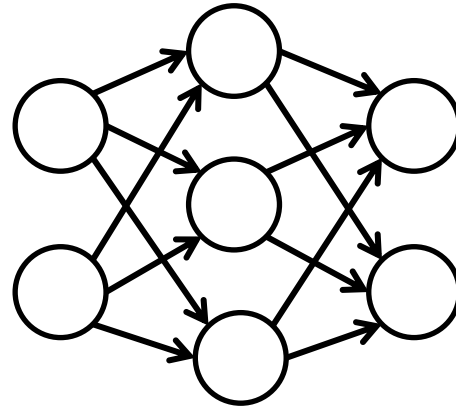
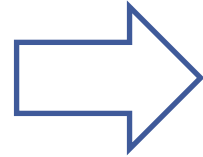


### IR-Vektorraummodellbeispiel

Apfel	$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$
Baum			
Restaurant			
Apfel		Baum	Restaurant

# Erzeugung von Worteinbettungen [BDVJ03] [MCCD13]

Fische \_\_\_\_ im See.



Wort	Wahrsch.
schwimmen	0,95
Tisch	0,2
tauchen	0,7

- Jedes Neuron hat pro Wort ein Gewicht
- Alle Gewichte eines Wortes bilden seine Worteinbettung

# Erweiterte Worteinbettungsverfahren

## fastText [BGJM17]

- Unterstützung von Out-of-Vocabulary-Wörter (OOV)

## BERT [DCLT19]

- Unterstützung von OOV
- Polysemieunterstützung
- Zur Einbettung eines Wortes muss der komplette Satz als Eingabe übergeben werden
- Kann auch als Klassifikator genutzt werden

# Anforderungseinbettungen

Ziel: Repräsentation einer Anforderung durch eine Einbettung

Erwünschte Eigenschaften

- *Ähnlichkeitseigenschaft: Kodierung der semantischen Ähnlichkeit*
- OOV-Unterstützung
- Polysemieunterstützung

## Anforderungseinbettungen (2)

Möglichkeiten, Anforderungseinbettungen zu erzeugen

- Existierendes Dokumenteneinbettungsverfahren nutzen
  - z. B. Doc2Vec [LM14]
- Neues Anforderungseinbettungsmodell trainieren
  - Trainingsaufgabe: z. B. Vorhersage der Wörter oder Sätze einer Anforderung

# Quelltexteinbettungen

Ziel: Repräsentation eines Quelltextelementes durch eine Einbettung

Erwünschte Eigenschaften

- *Ähnlichkeitseigenschaft*
- *Miteinbezug natürlichsprachiger Elemente*
- OOV-Unterstützung
- Polysemieunterstützung

## Quelltexteinbettungen (2)

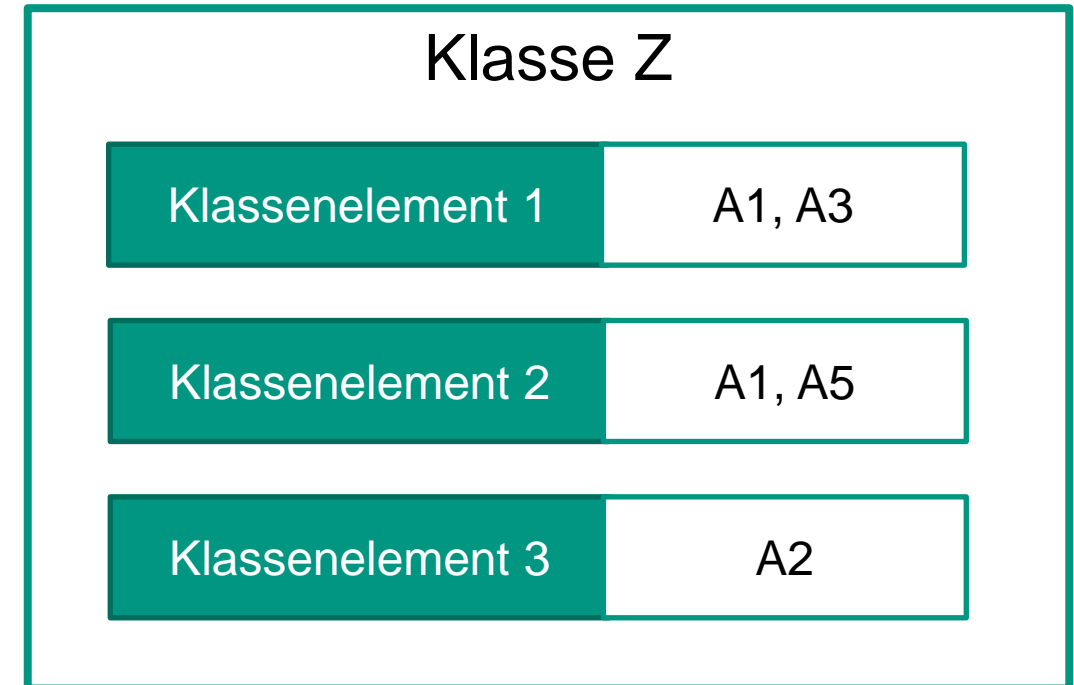
### Möglichkeiten der repräsentierten Quelltextelemente

- Pakete
- *Klassen*
- *Methoden*
- Ausdrücke
- Instruktionen



## Ableitung aus der Elementebene durch Mehrheitsentscheid

- Klassenelemente stimmen für Anforderungen ab
- Zu Anforderungen mit den maximalen Stimmanzahlen eine Rückverfolgbarkeitsverbindung herstellen
- Vorteil: Nicht relevante Klassenelemente können überstimmt werden



↳ Verbinde Klasse Z mit A1

# Ableitung aus der Elementebene durch Mehrheitsentscheid

## Stimmenbestimmung

1. Klassenelemente und Anforderungen einbetten
2. Ähnlichkeiten zwischen Klassenelement und Anforderungen berechnen
- 3a. Stimmen per Schwellwert bestimmen oder
- 3b. Top-N ähnlichste Anforderungen als Stimmen bestimmen

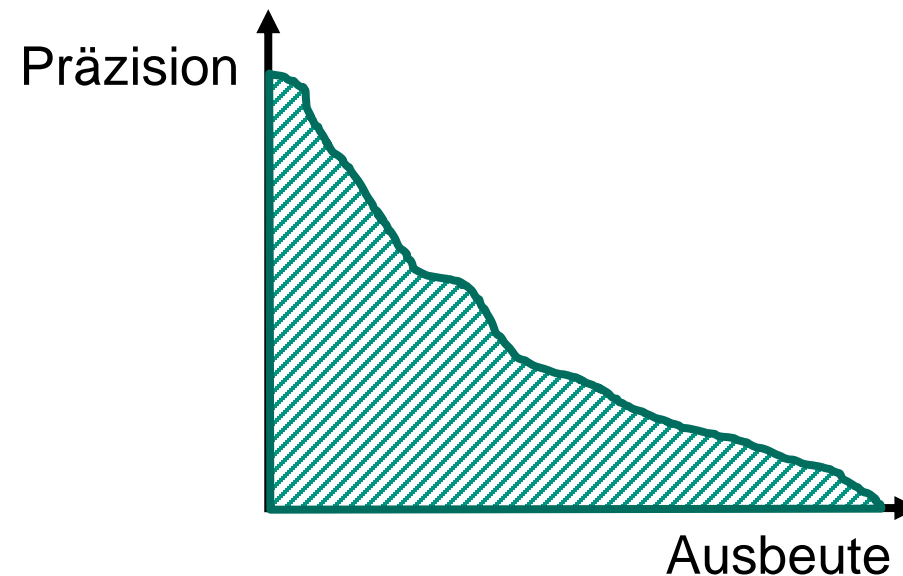
## Welche Klassenelemente?

- Klassenname
- Methoden
- Kommentare
- etc.

# Evaluationsmetriken

- Ausbeute, Präzision, F1
- Durchschnittliche Präzision

$$\text{Durchschnittliche Präzision} = \sum_n (\text{Ausbeute}_n - \text{Ausbeute}_{n-1}) \cdot \text{Präzision}_n$$

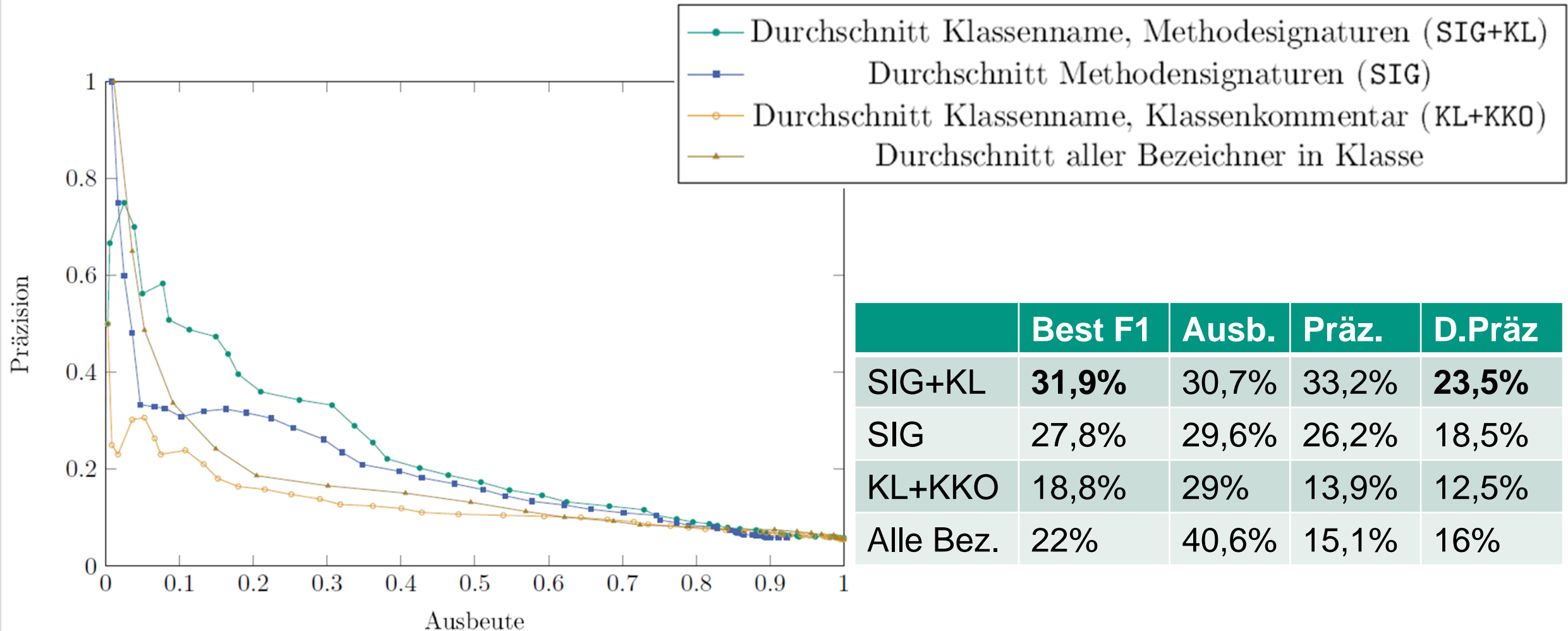


# Abbildung auf der Dateiebene - Konfiguration

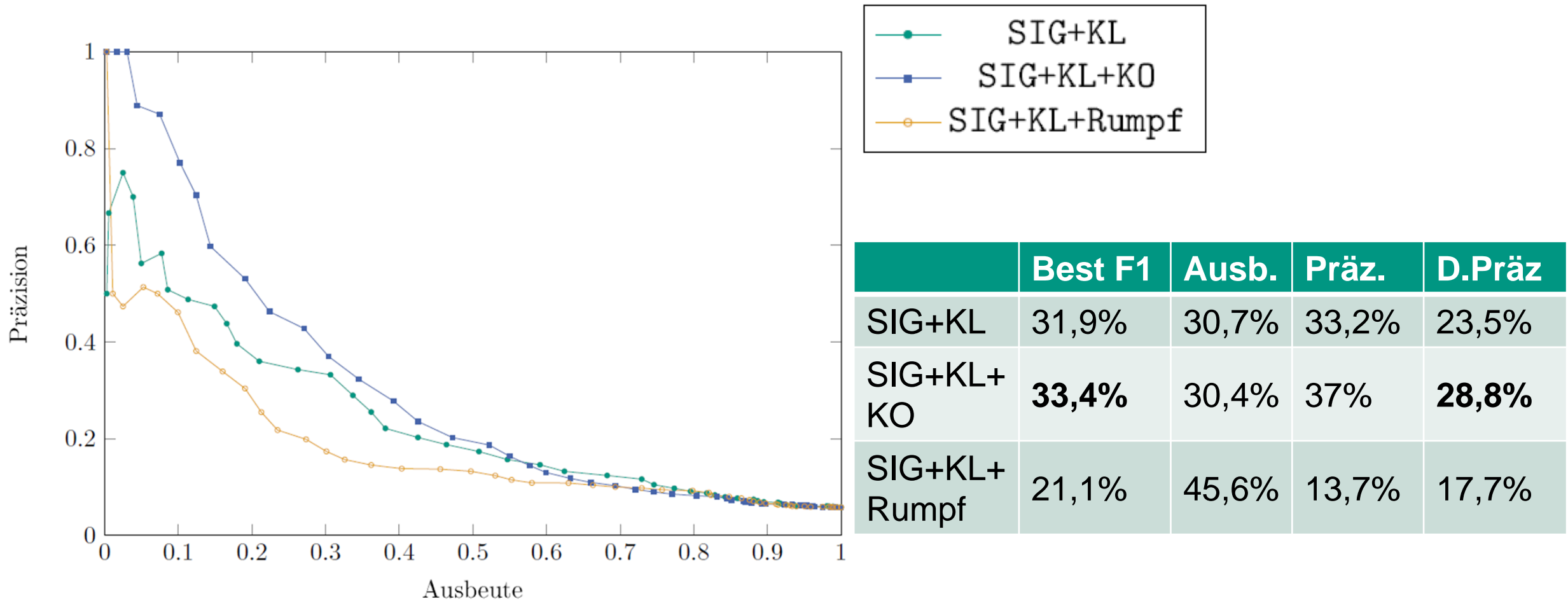
Im Folgenden

- fastText
- Anforderungsseite: Durchschnitt der Anforderungsworteinbettungen
- Quelltextseite: Durchschnitt der Einbettungen verschiedener Klassenelemente
- Ähnlichkeitsmetrik: Kosinusähnlichkeit
- Datensatz: eTour

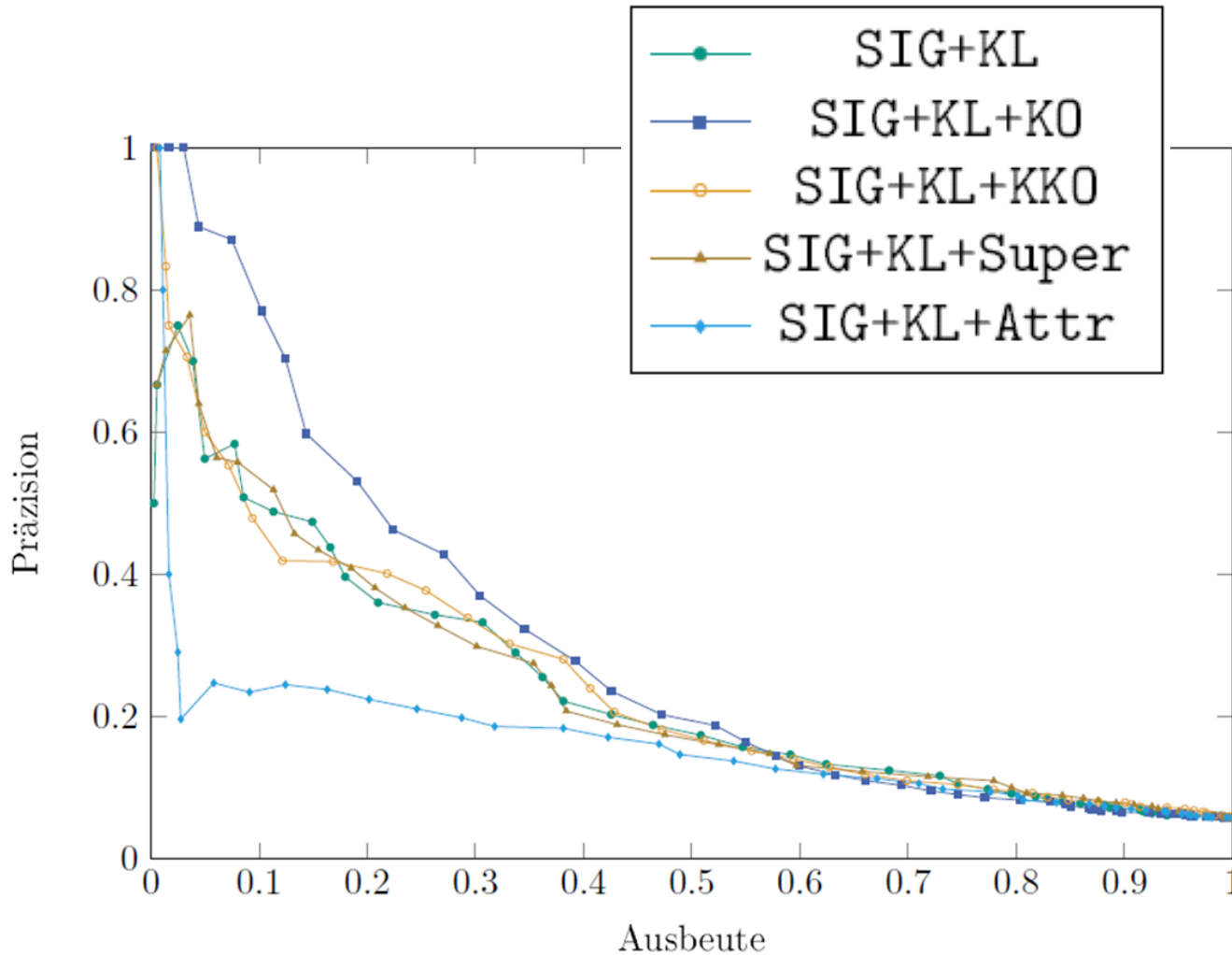
# Eval: Abbildung auf der Dateiebene



# Eval: Abbildung auf der Dateiebene (2)



# Eval: Abbildung auf der Dateiebene (3)



	Best F1	Ausb.	Präz.	D.Präz
SIG+KL	31,9%	30,7%	33,2%	23,5%
SIG+KL+KO	<b>33,4%</b>	30,4%	37%	<b>28,8%</b>
SIG+KL+KKO	32,3%	38,1%	28%	23,7%
SIG+KL+Super	30,9%	35,4%	27,5%	23,3%
SIG+KL+Attr	24,8%	38,1%	18,3%	15,8%

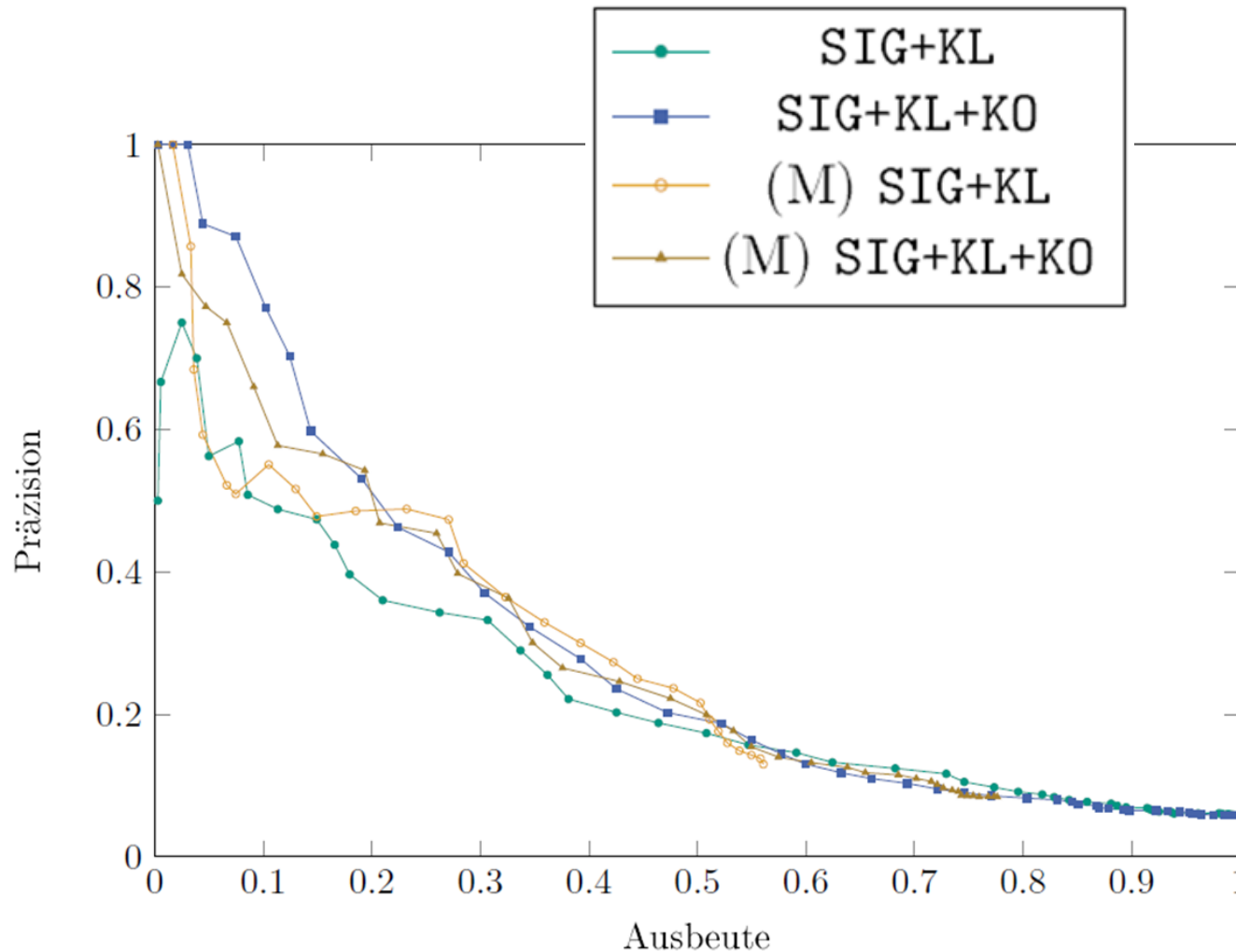
# Ableitung aus der Elementebene durch Mehrheitsentscheid - Konfiguration

## Im Folgenden

- Anforderungsseite: Durchschnitt der Anforderungsworteinbettungen
- Quelltextseite: Pro Klassenelement Durchschnitt ihrer Worteinbettungen
- Stimmenbestimmung: Schwellwert
- Ähnlichkeitsmetrik: Kosinusähnlichkeit
- Datensatz: eTour

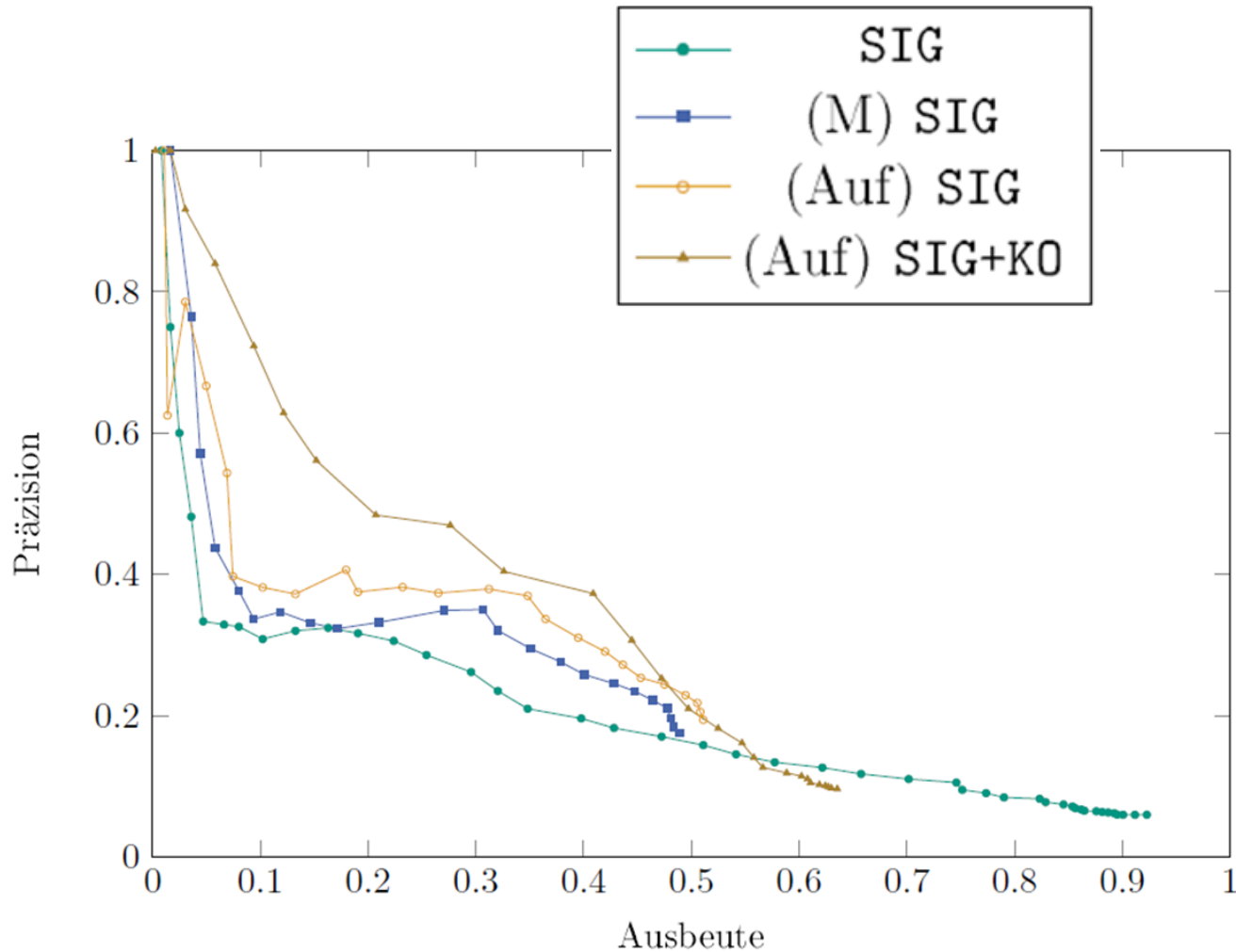


# Eval: Ableitung aus der Elementebene durch Mehrheitsentscheid



	Best F1	Ausb.	Prüz.	D.Prüz
SIG+KL	31,9%	30,7%	33,2%	23,5%
SIG+KL+KO	33,4%	30,4%	37%	<b>28,8%</b>
(M) SIG+KL	<b>35,9%</b>	30,1%	44,4%	22,9%
(M) SIG+KL+KO	34,4%	32,4%	35,5%	25,8%

# Eval: Ableitung aus der Elementebene durch Mehrheitsentscheid mit Aufrufabhängigkeiten



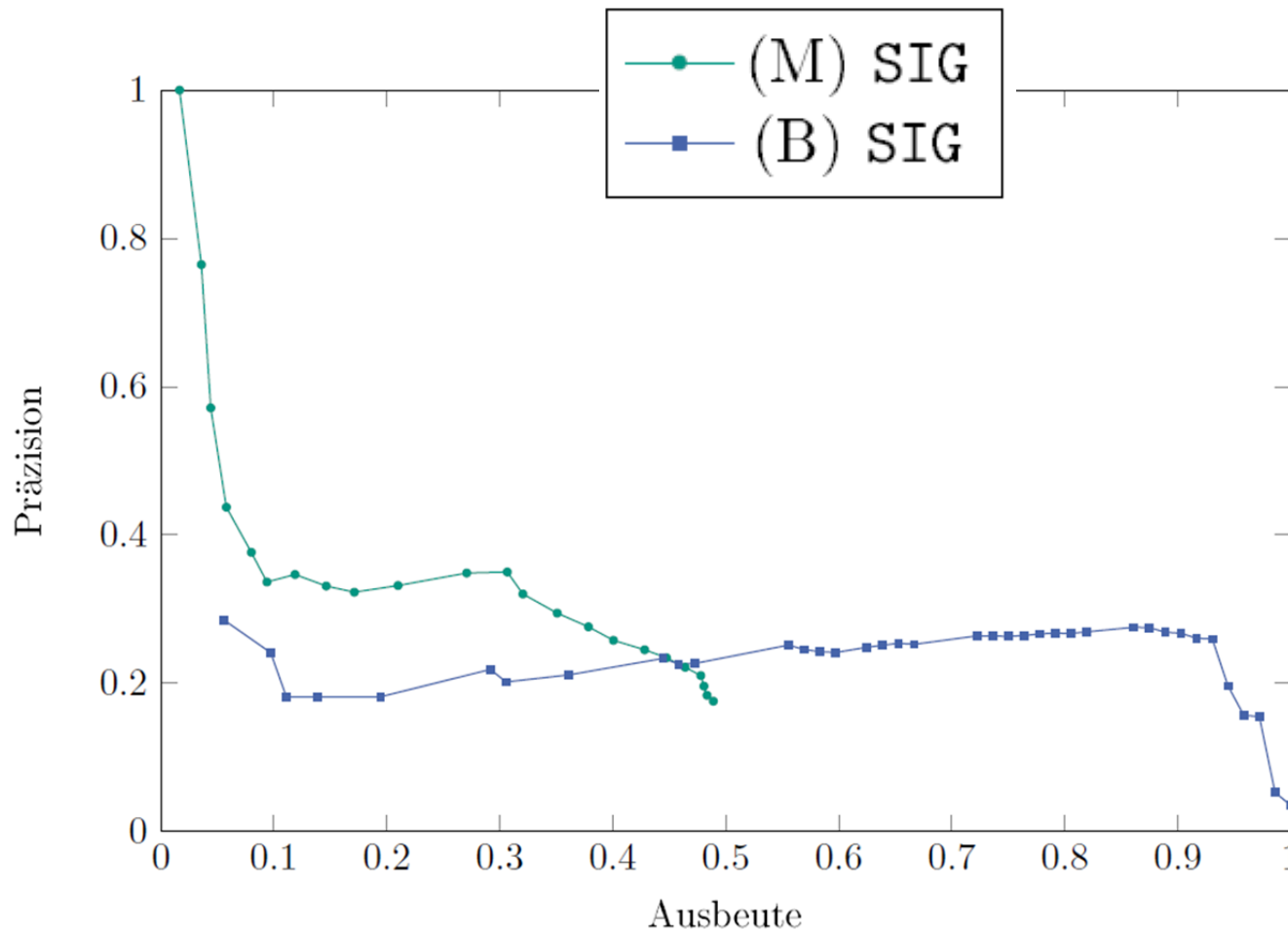
	Best F1	Ausb.	Prüz.	D.Prüz
SIG	27,8%	29,6%	26,2%	18,6%
(M) SIG	32,7%	30,7%	35%	17,4%
(Auf) SIG	36%	34,8%	37,3%	20%
(Auf) SIG+KO	<b>39%</b>	40,9%	37,3%	<b>26,5%</b>

# Andere Ähnlichkeitsmetriken

## Im Folgenden

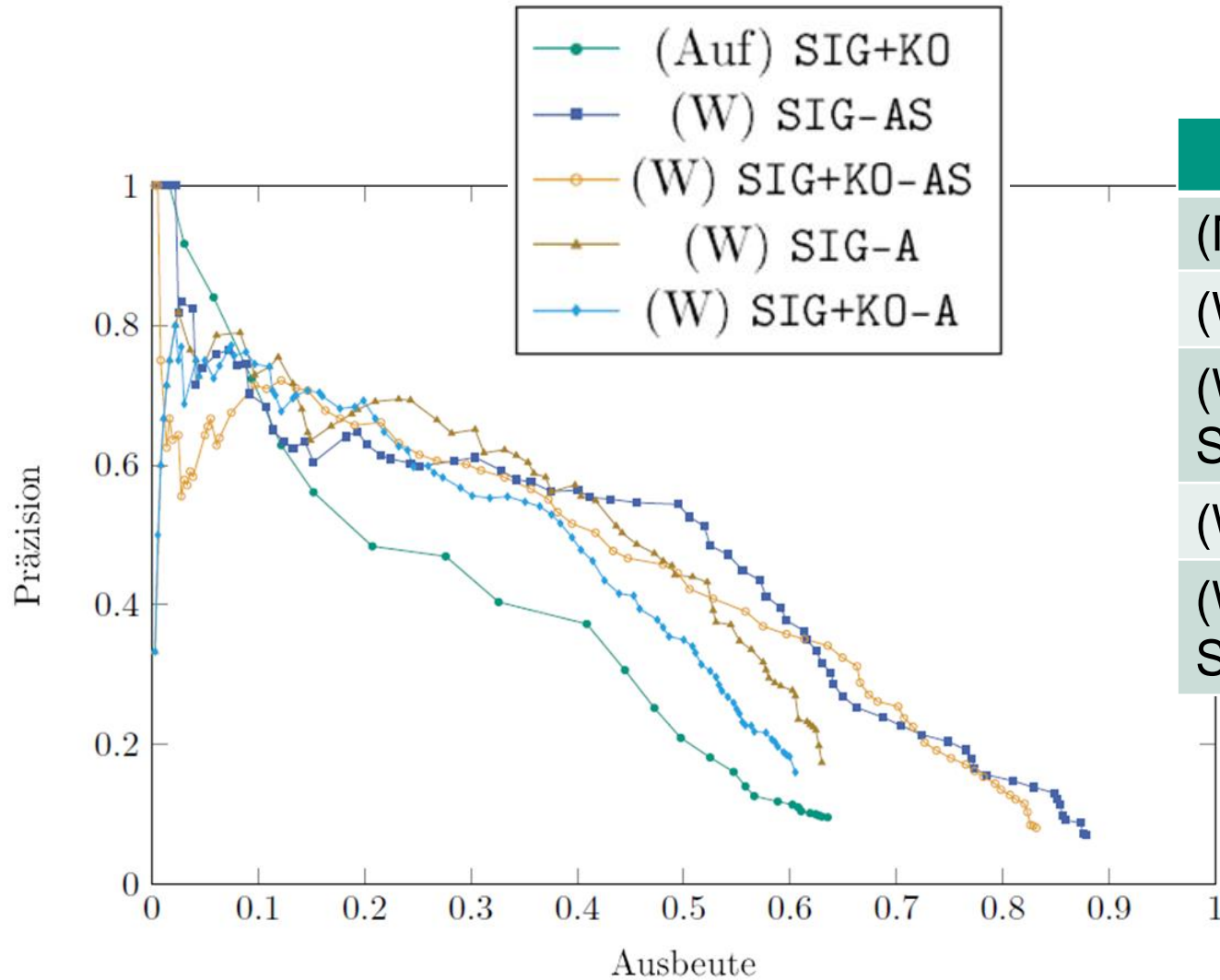
- Mehrheitsentscheid mit Ähnlichkeit durch BERT-Klassifikator
- Mehrheitsentscheid mit WMD
- Datensatz: eTour

# Eval: Mehrheitsentscheid mit BERT-Klassifikator



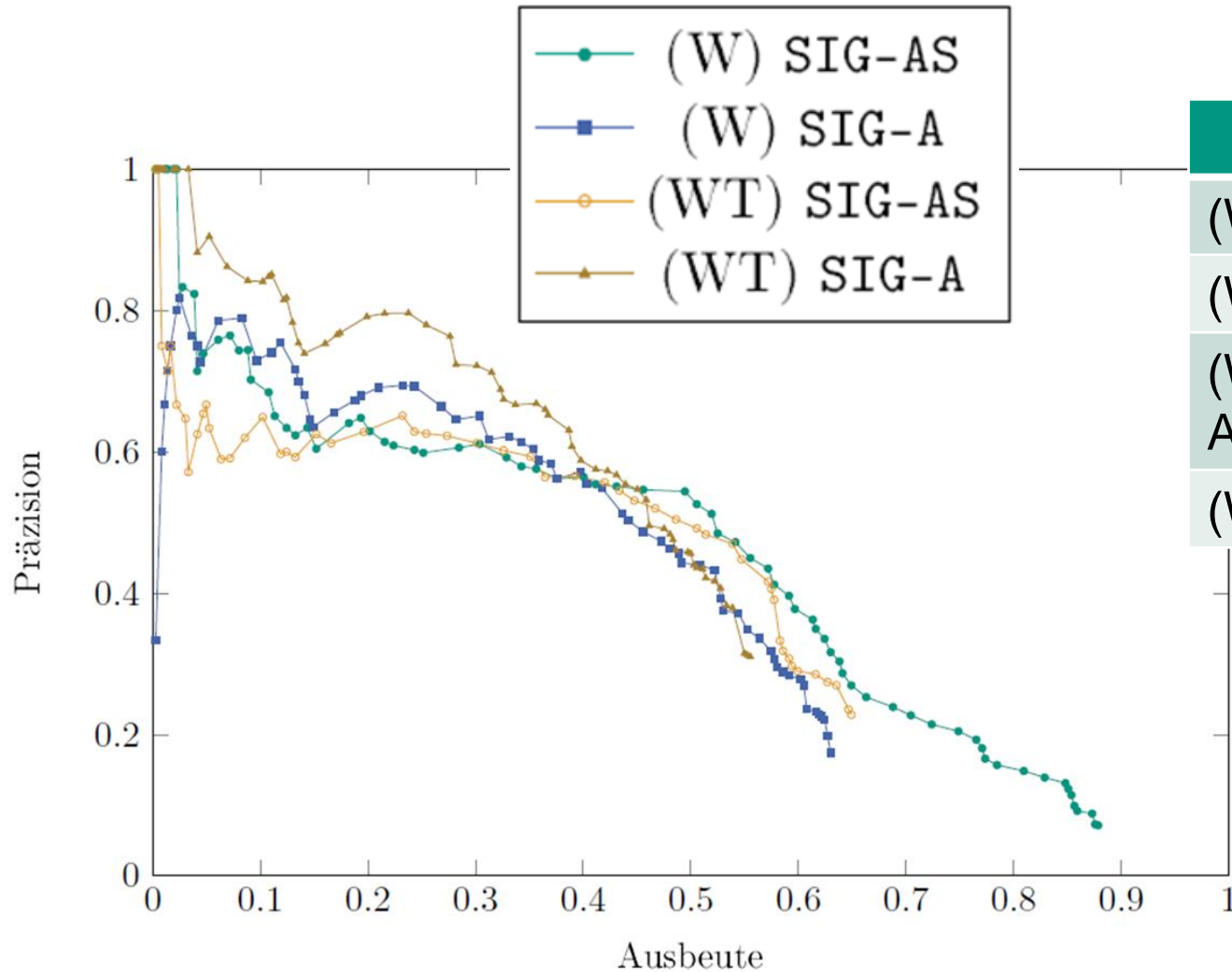
	Best F1	Ausb.	Präz.	D.Präz
(M) SIG	32,7%	30,7%	35%	<b>17,4%</b>
(B) SIG	<b>41,9%</b>	87,5%	27,5%	9%

# Eval: Mehrheitsentscheid mit WMD



	Best F1	Ausb.	Präz.	D.Präz
(M) SIG	32,7%	30,7%	35%	17,4%
(W) SIG-AS	<b>51,8%</b>	49,4%	54,4%	<b>41,9%</b>
(W) SIG+KO-AS	46,9%	48,1%	45,8%	39,1%
(W) SIG-A	47,3%	52,2%	43,2%	36,2%
(W) SIG+KO-A	44,1%	38,4%	51,7%	32,3%

# Eval: Mehrheitsentscheid mit WMD (2)



	Best F1	Ausb.	Präz.	D.Präz
(W) SIG-AS	<b>51,8%</b>	49,4%	54,4%	<b>41,9%</b>
(W) SIG-A	47,3%	52,2%	43,2%	36,6%
(WT) SIG-AS	50,5%	47%	54,7%	35,6%
(WT) SIG-A	49,4%	45%	54,7%	38,5%

## Bestes Verfahren pro Projekt

Projekt	Verfahren	Naiver F1	Best F1	Ausb.	Präz.	D.Präz
eTour	(W) SIG-AS	10,4%	51,8%	49,4%	54,4%	41,9%
iTrust	(M) SIG+KL+KO+KKO+R	2%	26,1%	24,5%	28%	14,2%
LibEST	(W) SIG+KO-AS	43,8%	60,1%	75%	50,1%	48,4%

- eTour-Anforderungen sind Anforderungsfälle mit aussagekräftiger Überschrift
- Kommentare in eTour sind oft weniger hilfreich
- iTrust hat viele Klassen, die vom gleichen Superklassifizierer erben
  - Schlechte Differenzierbarkeit, da geerbte Methodensignaturen gleich

## Bestes Verfahren über alle Projekte

Verfahren	D. F1	eTour	iTrust	LibEST
(W) SIG+KO-AS	39,4%	39,4%	22,9%	55,9%

- Für jede Schwellwertkombination F1-Werte für die drei Projekte berechnen
- Durchschnitt bilden
- Maximaler Durchschnitt suchen



## Vergleich mit verwandter Arbeit

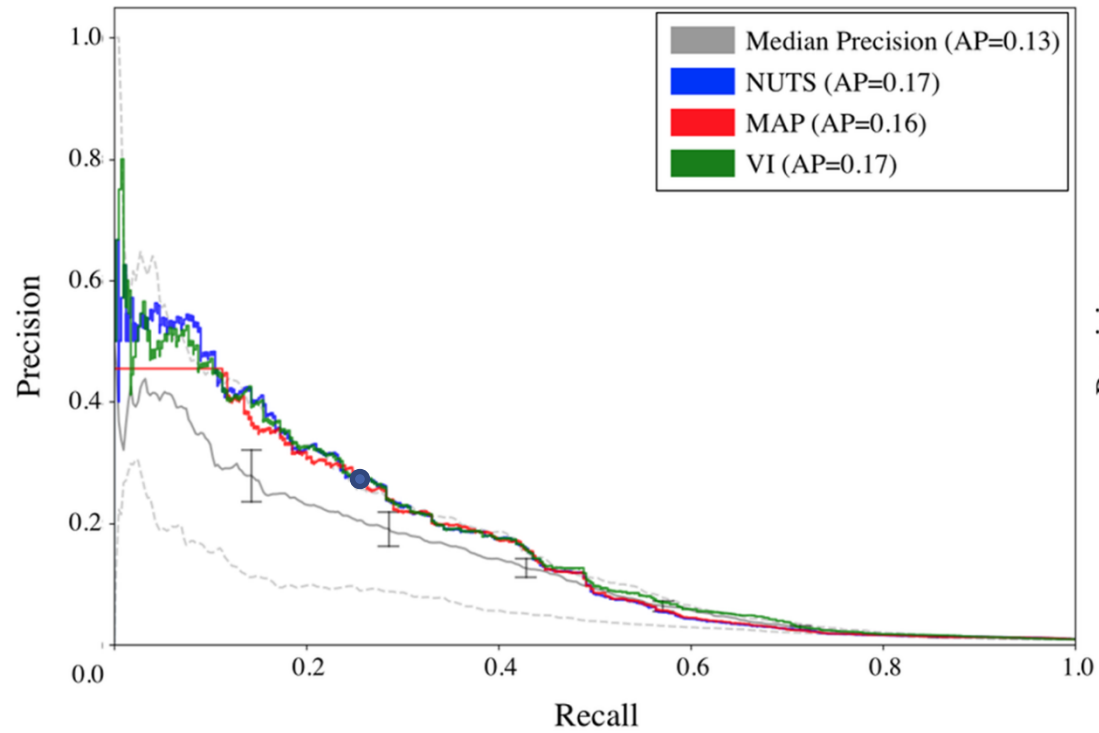
- Vergleich mit Moran et al. [MPB+20]
  - Anforderung-zu-Quelltextrückverfolgbarkeit durch IR-Techniken
- Vergleich der durchschnittlichen Präzision

Projekt	Best Base	Median Base	Moran	Einb.	Verfahren
eTour	40%	30%	38%	<b>42%</b>	(W) SIG-AS
iTrust	<b>17%</b>	13%	<b>17%</b>	15,4%	SIG+KL+KO+KKO
LibEST	<b>69%</b>	55%	63%	56,3%	(W) SIG+KO-AS

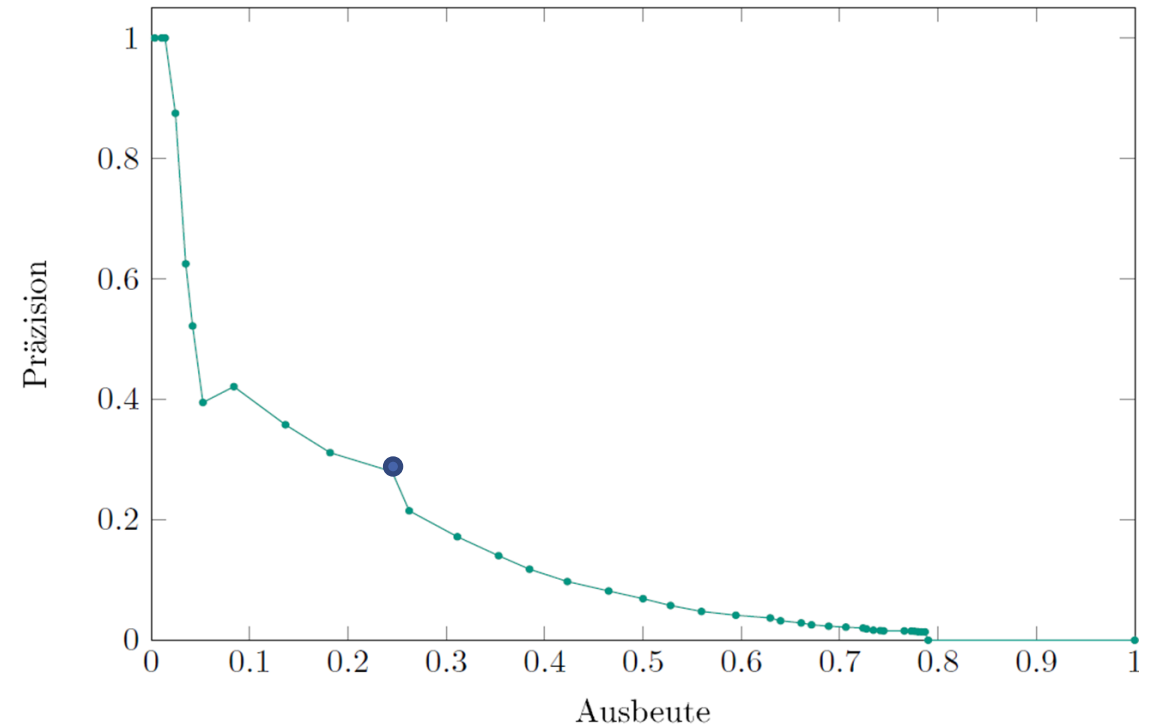
## Mögliche Verfälschung der Ergebnisse

- Datensatzzusammensetzung teilweise unterschiedlich
- Durchschnittliche Präzision ist keine gute Vergleichsmetrik

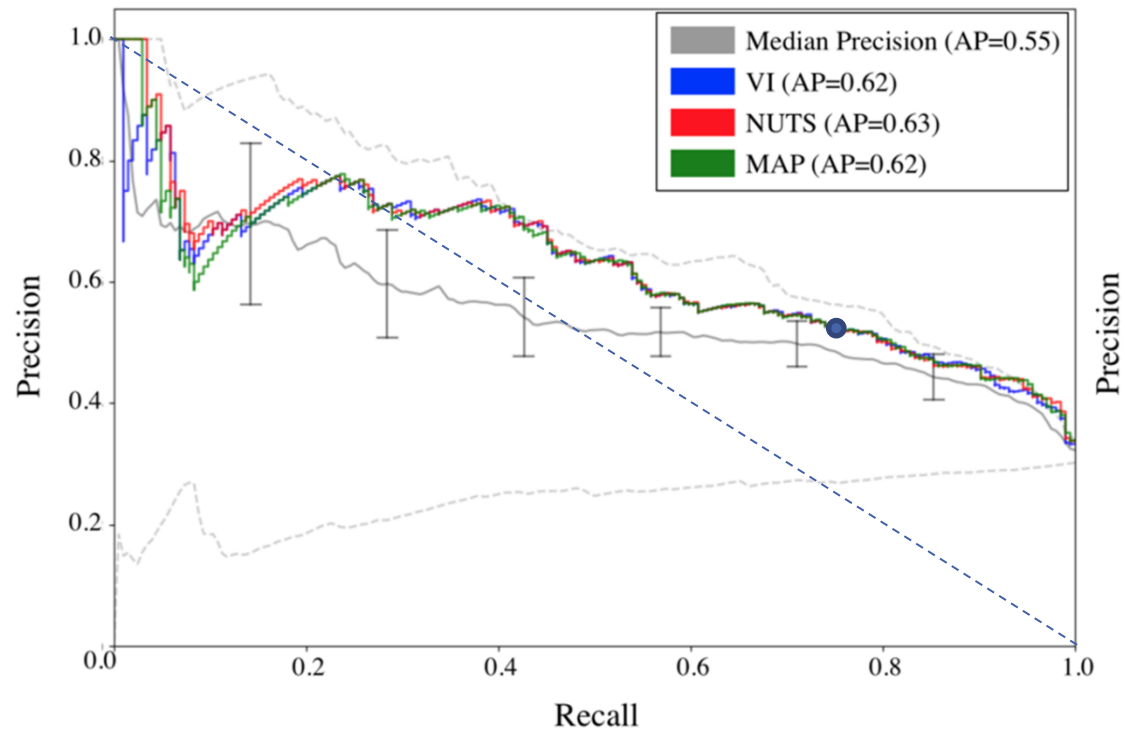
# Vergleich mit Moran et al.: iTrust



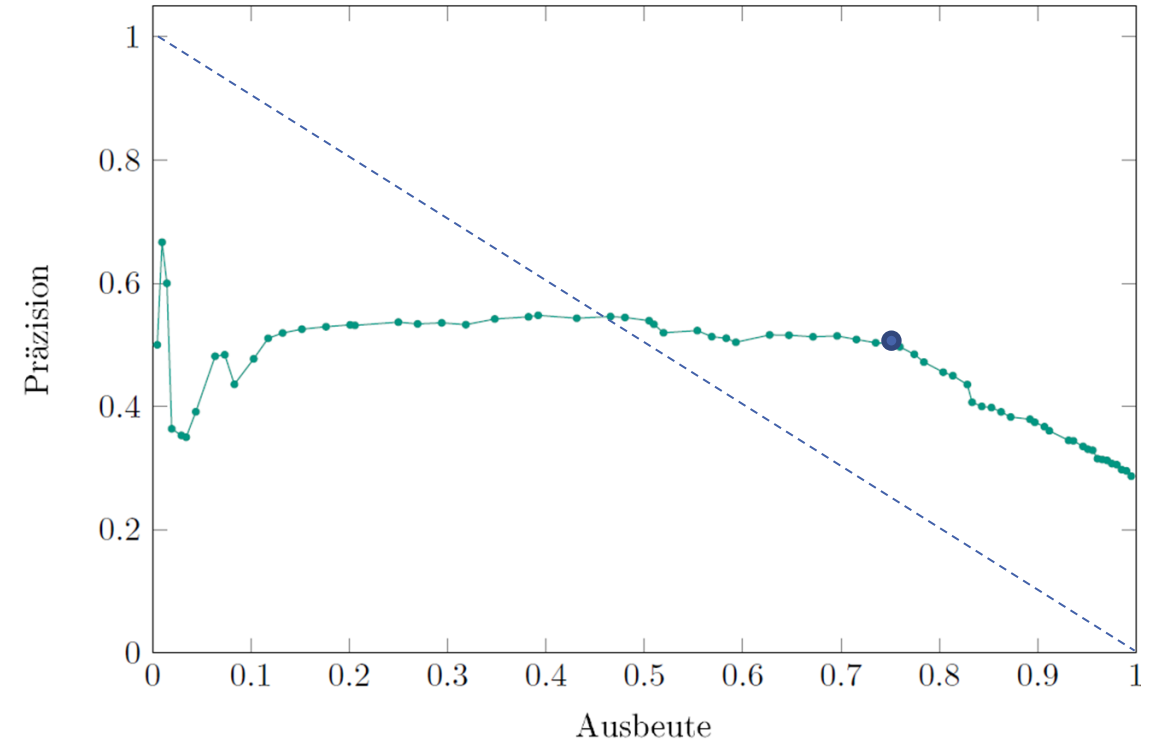
P/R Curve for iTrust: Rq  $\rightarrow$  Src



# Vergleich mit Moran et al.: LibEST



P/R Curve for LibEST:  $R_q \rightarrow Src$



# Parameter des Mehrheitsentscheids

## Stimmenbestimmung

- Schwellwert
- Top-N

## Anforderungsähnlichkeitsreduktionsfunktion

- Durchschnitt
- Maximum

## Quelltextähnlichkeitsreduktionsfunktion

- Durchschnitt
- Maximum

# Miteinbeziehung von Aufrufbeziehungen

## Doppelter Mehrheitsentscheid

- Aktuelle Methode und Nachbarn stimmen für Anforderung ab, für die die aktuelle Methode im zweiten Mehrheitsentscheid abstimmen soll

## Ähnlichkeitssumme

- Berechne Ähnlichkeiten zw. aktuelle Methode/Nachbarn zu allen Anforderungen
- Ähnlichkeiten zu Anforderungen aufsummieren

## Vektorsumme

- Berechne Methodeneinbettungen für aktuelle Methode und Nachbarmethoden separat
- Einbettungen von aktueller Methode und Nachbarn gewichtet aufsummieren