

M05d - Multi-Head-Attention

Stand: 03.2025

1 Fünf mögliche Köpfe und ihre Spezialisierungen:

1.1 Kopf 1 – Grammatikalische Struktur

- Erkennt die Beziehungen zwischen Subjekt, Prädikat und Objekt.
- Z. B. "Katze" → "jagt" (Subjekt-Prädikat), "jagt" → "Maus" (Prädikat-Objekt).

Beispiel Attention-Matrix:

	Die	Katze	jagt	eine	kleine	Maus
Die	□□□□□□					
Katze	□	■	□□□□			
jagt	□□	■	□□□□			
eine	□□□□□□					
kleine	□□□□		■	□		
Maus	□□□□□		■			

👉 Fokus auf Verb-Beziehungen ("Katze jagt", "jagt Maus").

1.2 Kopf 2 – Semantische Beziehungen (Synonyme, Kategorien)

- Erkennt, dass "Katze" und "Maus" beides Tiere sind.
- Verstärkte Verbindungen zwischen ähnlichen Wörtern.

Beispiel Attention-Matrix:

	Die	Katze	jagt	eine	kleine	Maus
Die	□□□□□□					
Katze	□	■	□□□□			■
jagt	□□□□□□					
eine	□□□□□□					







kleine 
 Maus 

👉 "Katze" und "Maus" haben eine semantische Verbindung.

1.3 Kopf 3 – Bestimmung von Modifikatoren (Adjektive & Artikel)

- Achtet auf die Beziehungen zwischen Hauptwort und seinen Modifikatoren.
- Z. B. "eine" und "kleine" beziehen sich auf "Maus".

Beispiel Attention-Matrix:







	Die	Katze	jagt	eine	kleine	Maus
Die						
Katze						
jagt						
eine						
kleine						
Maus						

👉 "eine" und "kleine" sind wichtig für "Maus".

1.4 Kopf 4 – Fokus auf das Verb (wichtige Handlung)

- Achtet auf das Verb und dessen direkte Verknüpfung mit dem Subjekt und Objekt.
- "Katze jagt Maus" bekommt hohe Gewichtung.

Beispiel Attention-Matrix:

	Die	Katze	jagt	eine	kleine	Maus
Die						
Katze						
jagt						
eine						
kleine						
Maus						

👉 Das Verb "jagt" verbindet "Katze" mit "Maus".

1.5 Kopf 5 – Langfristiger Kontext (Zusammenhang im ganzen Satz)

- Verteilt die Aufmerksamkeit gleichmäßig, um den gesamten Satzkontext zu behalten.
- Hilft z. B. dabei, das Hauptthema zu erkennen (eine Jagdszene).

Beispiel Attention-Matrix:

	Die	Katze	jagt	eine	kleine	Maus
Die	■	■	■	■	■	■
Katze	■	■	■	■	■	■
jagt	■	■	■	■	■	■
eine	■	■	■	■	■	■
kleine	■	■	■	■	■	■
Maus	■	■	■	■	■	■

👉 Jedes Wort erhält Kontext zu allen anderen Wörtern.

1.6 Fazit

Jeder Attention-Kopf lernt eine andere Beziehung zwischen Wörtern:

1. **Grammatik** (Subjekt-Prädikat-Objekt)
2. **Semantische Ähnlichkeit** (Bedeutung von Wörtern)
3. **Adjektiv- und Artikel-Beziehungen** (Bestimmungswörter)
4. **Handlungsfokus** (Verb & beteiligte Akteure)
5. **Globaler Kontext** (Verbindung zwischen allen Wörtern)

Durch diese verschiedenen Blickwinkel wird das Modell viel leistungsfähiger, als wenn es nur eine einzige Gewichtungsmatrix hätte.

2 Code-Beispiel für eine echte Visualisierung

```
import torch
from transformers import BertTokenizer, BertModel
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Vortrainiertes BERT-Modell und Tokenizer laden
model_name = "bert-base-german-cased"
tokenizer = BertTokenizer.from_pretrained(model_name)
model = BertModel.from_pretrained(model_name, output_attentions=True)

# Beispiel-Satz
sentence = "Die Katze jagt eine kleine Maus."

# Tokenisierung und Modell-Eingabe vorbereiten
inputs = tokenizer(sentence, return_tensors="pt")
```

```

with torch.no_grad():
    outputs = model(**inputs)

# Attention-Matrizen extrahieren (Layer 0, weil es Multi-Head Attention auf
Token-Ebene ist)
attentions = outputs.attentions[0] # Erste Schicht
attentions = attentions.squeeze().numpy() # Entferne Batch-Dimension

# Tokens für Achsenlabels
tokens = tokenizer.convert_ids_to_tokens(inputs["input_ids"].squeeze())

# Visualisierung der Attention-Gewichte für 5 Köpfe
fig, axes = plt.subplots(1, 5, figsize=(20, 5))

for i in range(5): # Erste 5 Köpfe visualisieren
    ax = axes[i]
    ax.imshow(attentions[i], cmap="Blues")
    ax.set_xticks(range(len(tokens)))
    ax.set_yticks(range(len(tokens)))
    ax.set_xticklabels(tokens, rotation=45)
    ax.set_yticklabels(tokens)
    ax.set_title(f"Kopf {i+1}")

plt.tight_layout()
plt.show()

```

Visual

