

# Praktikumsbericht: Entwicklung von Autoencodern für intelligente Agenten basierend auf neuartigen neuronalen Netzen

Dennis Loran

Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation (IPD)  
Betreuender Mitarbeiter: Daniel Zimmermann und Björn Jürgens

Ziel des Praktikums ist die Entwicklung mehrerer Autoencoder für das OpenAI-Procedural Generation Game Heist. Die Autoencoder werden anschließend in eine Gym-Umgebung gepackt, die für CTRNNs verwendet werden können. Dieses Dokument ist als Handbuch zu verstehen. Zunächst einmal werden grob die Anforderungen für die entwickelten Autoencoder gestellt. Danach folgt eine Erläuterung zu der gewählten Architektur. Die einzelnen Komponenten werden dann im weiteren Kapitel detaillierter vorgestellt. Abschließend folgt eine Bewertung der entwickelten Autoencoder, sowie eine kurze Zusammenfassung über die Ergebnisse des Praktikums.

## 1 Anforderungen

Ziel dieses Praktikums ist für das Procedural Generation Game Heist mehrere Autoencoder zu entwickeln. Die entwickelten Autoencoder sollten dann im nächsten Schritt in eine Gym-Umgebung gewrapped werden, damit sie für ein CTRNN verwendet werden können.

Ein Autoencoder ist ein Neuronales Netz das verwendet wird um effiziente Codierungen zu lernen. Üblicherweise bestehen Autoencoder aus einem Encoder und einem Decoder. Der Encoder erhält das Eingabebild und erzeugt eine komprimierte Repräsentation (Encoding). Der Decoder erhält eine komprimierte Repräsentation und versucht damit das Eingabebild zu rekonstruieren (Siehe Abbildung 1). Ziel ist es Decoder  $Dec$  und Encoder  $Enc$  so zu trainieren, dass  $I = Dec(Enc(I))$  gilt.

### 1.1 Funktionale Anforderungen

Folgende Funktionale Anforderungen wurden an die Entwicklung der Autoencoder gestellt.

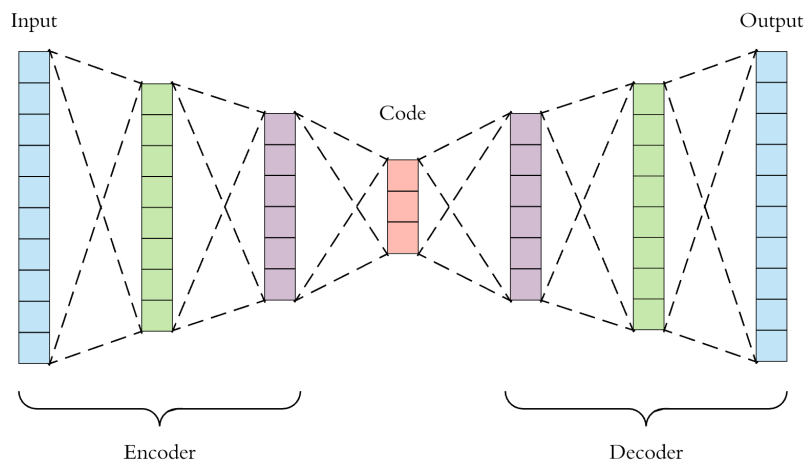


Abbildung 1: Typische Encoder-Decoder Architektur eines Autoencoders. Das Ergebnis der Codierung ist die benötigte Ausgabe eines Encoders

- /FA10/ Für das Progen Spiel Heist sollen mehrere Autoencoder entwickelt werden
- /FA20/ Für das Trainieren der Autoencoder müssen Trainingsdaten erstellt werden
- /FA30/ Die Autoencoder sollten trainiert werden können
- /FA40/ Die Autoencoder müssen nach dem Training evaluiert werden können
- /FA50/ Die Trainierten Autoencoder müssen in eine Gym Umgebung gewrapped werden

Da der Autoencoder in Kombination mit einem CTRNN's eingesetzt wird waren folgende Nicht Funktionale Anforderungen gestellt.

### 1.2 Nicht Funktionale Anforderungen an Autoencoder

- /NFA10/ Die Autoencoder sollten mithilfe des Rahmenwerks *pytorch* entwickelt werden
- /NFA20/ Die Codierung sollte *möglichst* klein sein. Ein Merkmalsvektor um die 100-Dimensionen war erstrebenswert, ein Merkmalsvektor der Größe 1200 allerdings auch noch akzeptabel.
- /NFA30/ Der Autoencoder sollte in der Lage sein auch in Echtzeit eingesetzt werden zu können. Als Echtzeitfähig wurde eine Laufzeit von 5 Millisekunden pro Eingabe auf einer herkömmlichen CPU angenommen.
- /NFA40/ Der Autoencoder sollte auch händisch anhand einiger Testdaten beurteilt werden. Dies liegt daran, dass der Durchschnittliche-Quadratische-Fehler als Messeinheit alleine nicht ausreicht. So kann Beispielsweise der Fehler klein sein, wesentliche Merkmale (Schlüssel, Schlösser, Kristalle) können aber fehlen.

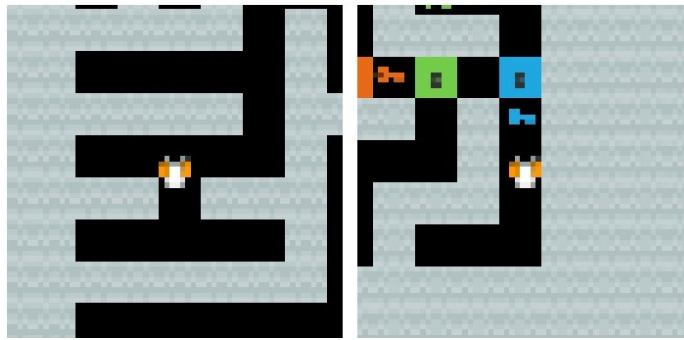


Abbildung 2: Zu sehen sind 2 Bilder, eins in dem der Agent keine Schlüssler sieht, rechts ein Agent der alle 3 Schlüssler sieht.

Es ist hier wichtig zu erwähnen, dass es sich um Konflikt zueinander stehenden Anforderungen handelt. Ein möglichst kleiner Merkmalsvektor benötigt ein relativ tiefes Neuronales Netz, was dazu führt, dass die Echtzeitfähigkeit nicht mehr garantiert werden kann. Wird hingegen auf Echtzeit optimiert, so können die Architekturen nicht mehr so tief sein, was dazu führt, dass auch der Merkmalsvektor länger sein muss, um gute Ergebnisse zu erzielen. Es ist also sinnvoll nicht nur einen Autoencoder zu entwickeln, sondern mehrere mit unterschiedlichen optimierten Architekturen. Ein Bild lässt sich dabei als Array der Größe  $[64 \times 64 \times 3]$  darstellen. Somit besitzt ein Eingabebild eine Dimension von  $64 \times 64 \times 3 = 12288$  Dimensionen.

## 1.3 Progen

Progen ist eine Open AI

### 1.3.1 Progen Spiel Heist

In diesem Praktikum sollte ein Autoencoder für das Progen Spiel Heist entwickelt werden. Der Spieler (Im weiteren Agent genannt) hat die Aufgabe in einem generierten Labyrinth 1-3 Schlüssler zu finden, damit die jeweiligen Türen zu öffnen um einen gelben Kristall zu schnappen. Es gibt 3 Schlüsselfarben, Rot, Grün und Blau. Auch die Schlösser haben die Farbe Rot, Grün und Blau. Zum Öffnen eines Schloss benötigt der Agent deshalb einen Schlüssel in zugehöriger Farbe. Der Agent hat bei der Suche einen beschränkten Sichtradius (Siehe Abbildung 2)

## 1.4 Ablauf Entwicklung

Bei der Entwicklung der Autoencoder wurde wie folgt vorgegangen

1. Erstellung des Training und Testdatensatzes
2. Implementierung gängiger Autoencoder
3. Trainieren der implementierten Autoencoder

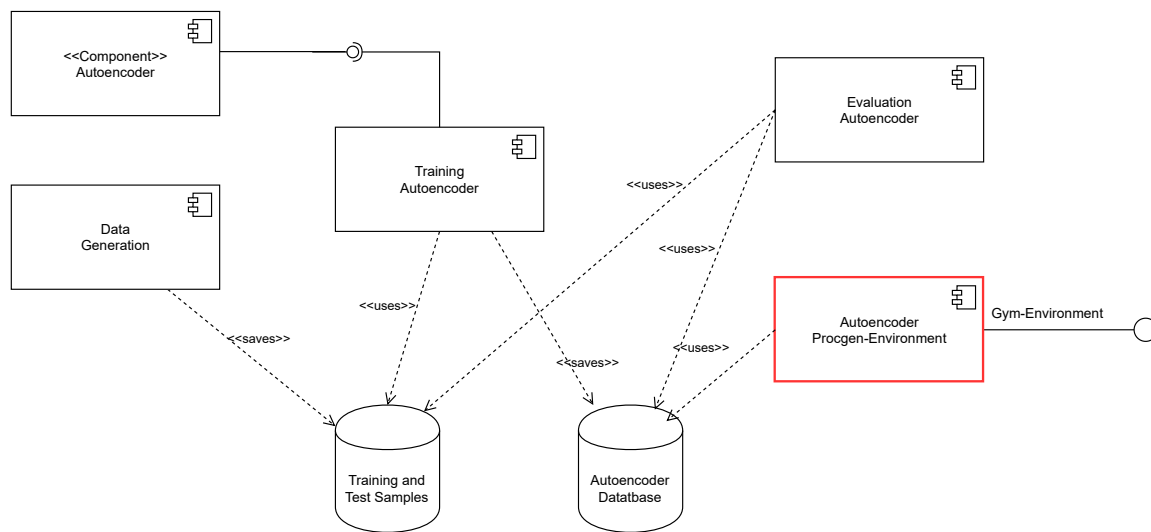


Abbildung 3: Informelles Komponenten Diagramm. Die rot gekennzeichnete Komponente ist die wesentliche Komponente die von einem CTRNN Anschließend verwendet werden kann

4. Evaluierung der trainierten Autoencoder
5. Erstellen der Progen-Umgebungen mit den Autoencodern

## 2 Architektur

Die Architektur wird in Abbildung 3 beschrieben. Die Grundsätzliche Pipeline läuft wie folgt ab. Zunächst einmal werden mithilfe der Data Generation Komponente Trainings und Testdaten generiert. In dieser sind die Trainings- und Testdaten für das Progen Spiel Heist. Diese Daten werden dann auf die Festplatte gespeichert. Anschließend wird eine «component» Autoencoder erstellt. Diese Komponente definiert dabei das Gerüst des Autoencoders. Nach Erstellung des Autoencoders muss dieser trainiert werden. Dazu ist Komponente Training Autoencoder verantwortlich. Dazu benötigt diese einen «component» Autoencoder und auch die Trainings und Testdaten. Nach dem Training wird der trainierte Autoencoder auf die Festplatte gespeichert. Danach wird der Autoencoder nach ausgewählten Kriterien evaluiert. Dafür ist die Evaluation Autoencoder Komponente verantwortlich.

Der Trainierte Autoencoder wird dann verwendet um eine Gym-Umgebung zu erstellen. Das passiert innerhalb der Autoencoder Progen-Environment Komponente. Diese Komponente ist diejenige die dann von einem CTRNN weiter verwendet werden kann.

Hier folgt eine Erklärung der jeweiligen Komponenten:

- **«Component» Autoencoder:** Eine Autoencoder Komponente. Diese wird mithilfe des Rahmenwerks pytorch realisiert.

- **Data Generation:** Diese Komponente ist verantwortlich für das Generieren von Trainings und Testdaten. Die Daten werden anschließend auf der Festplatte abgespeichert
- **Training Autoencoder:** Diese Komponente erhält einen Autoencoder und trainiert diesen. Der Trainierte Autoencoder wird dann abschließend auf der Festplatte gespeichert.
- **Evaluation Autoencoder:** Diese Komponente lädt einen Autoencoder von der Festplatte und Evaluert diesen Anhand ausgewählter Kriterien
- **Autoencoder Procgen-Environment:** Diese Komponente lädt einen Autoencoder und baut mit diesem eine Gym-Environment.

## 2.1 Data Generation

Zur Realisierung der Data Generation stehen 2 Skripte zu Verfügung.

`sample_generator_heist_basic.py` und `sample_generator_heist.py`

Für das Trainieren von Autoencoder benötigt man eine große Menge an Trainings und Testdaten. Diese lassen sich durch das Verwenden der Gym-Umgebung von Heist automatisch generieren. Dazu wird das Python Skript `sample_generator_heist_basic.py` verwendet. Die Grundlegende Idee ist es, ein Level zu laden, das Frame zu speichern und das nächste Level zu laden. Damit der Agent nicht ständig an der gleichen Stelle steht wird der Agent zusätzlich für 10 Frames zufällig bewegt.

Dieser Ansatz funktioniert bereits ausgesprochen gut. Es hat sich aber beim Training herausgestellt, dass die Trainierten Autoencoder das Labyrinth perfekt darstellten, Schlüssel und Schlösser aber dafür häufig nicht beachtet werden. Das könnte daran liegen, dass die naive Generierung von Bildern zu einer ungleich Verteilten Menge an Bildern führen, bei denen die meisten Bilder keine Schlüssel und Schlösser enthalten. Um dieses Problem zu kompensieren wird das Skript `sample_generator_heist.py` verwendet.

Dabei wird zusätzlich für jedes generierte Bild überprüft, ob auf diesem ein Schlüssel oder Schloss dargestellt ist. Implementiert wurde diese Funktion mithilfe es Template Matching von OpenCV. Dazu wurden händisch einige Schlüssel und Schlösser ausgeschnitten und abgespeichert. Für ein Bild wird dann überprüft, ob dieses Template zu finden ist. Zu beachten ist dabei, dass das Template Matching einen hohen Rechenaufwand benötigt. Die Zeit für das Erstellen des Datensatz erhöht sich dadurch um den Faktor 20.

Nach dem Ausführen des Skriptes entstehen 2 Dateien, `training_samples_memory.npy` und `test_samples_memory.npy`. Das Testverhältnis kann in den beiden Skripten verändert werden, Standardmäßig beträgt es 9:1.

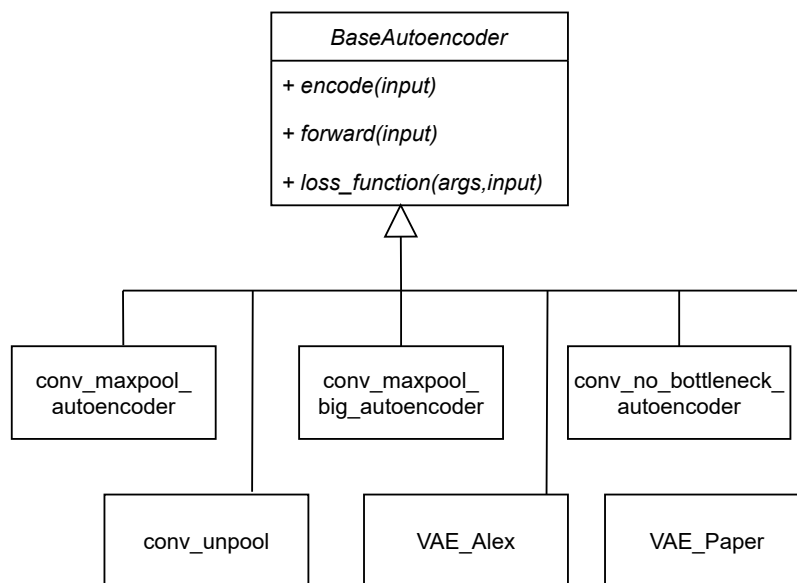


Abbildung 4: Klassendiagramm Autoencoder. Jede Erbende Klasse stellt dabei eine Autoencoder-Komponente dar

## 2.2 «Component» Autoencoder

Für die Implementierung der Autoencoder wurde das Rahmenwerk *pytorch* verwendet. Um die Autoencoder möglichst polymorph einsetzen zu können, wurde sich dafür entschieden eine Oberklasse *BaseAutoencoder* zu verwenden, von denen alle entwickelten Autoencoder erben (Siehe Abbildung 4)

### 2.2.1 Abstrakte Klasse *BaseAutoencoder.py*

Für das Training von Autoencodern mit *pytorch* ist es wichtig, dass jeder Autoencoder sowohl eine *forward* Funktion als auch eine *loss* Funktion besitzt. Zusätzlich ist für unseren Anwendungsfall natürlich wichtig, dass die Autoencoder eine Eingabe codieren können. Deshalb besitzt die Abstrakte Klasse folgende abstrakte Methoden:

- *encode(input)*: Methode die einen Batch an Bilder bekommt. Die Bilder werden durch den Encoder codiert. Das Ergebnis ist ein Batch mit den jeweiligen Codierungen
- *forward(input)*: Für das Training ist vom Rahmenwerk vorgeschrieben, dass eine *forward* Methode implementiert ist, die angibt, was bei einen Forward-Pass im Training passieren soll.
- *loss\_function(args, input)*: Damit ein Netz überwacht trainiert werden kann ist es notwendig eine Bewertung für die jeweilig generierte Ausgabe zu geben. Dazu ist eine Fehlerfunktion notwendig. *args* enthält die Ausgabe des Netzes als auch weitere benötigte Parameter.

### 2.2.2 Autoencoder

Die Architekturen der jeweiligen Autoencoder kann dem Anhang entnommen werden. Folgende Tabelle gibt für einen Autoencoder eine kleine Beschreibung sowie die Größe des Ausgabevektor.

<b>Autoencoder Name</b>	<b>Größe Ausgabevektor</b>
conv_maxpool_autoencoder	32
conv_maxpool_big_autoencoder	32
conv_no_bottleneck_autoencoder	128
conv_unpool	[32x6x6]
VAE_Alex	64
VAE_Paper	22

## 2.3 Training Autoencoder

Für das Training der Autoencoder steht das Skript `autoencoder_training.py` zur Verfügung. Zugehörige Hyperparameter können im `training_hyperparameter.yaml` modifiziert werden. Es folgt eine kurze Erklärung zu den jeweiligen Parametern:

- Daten-Parameter
  - `training_filepath`: Dateipfad zur Trainingsdatei
  - `test_filepath`: Dateipfad zur Testdatei
- Training-Parameter:
  - `batch_size`: Größe eines Batches
  - `epochs`: Anzahl an Epochen für das Training
  - `LR`: Lernrate im Training
  - `weight_decay`: Größe Verkleinerung des Einflusses der Gewichtsänderung jedem Gradient Descent Schritt.
  - `log_interval`: Wie häufig innerhalb einer Epoche eine Meldung zum Stand des Trainings gegeben wird.
  - `early_stopping`: Nach wie vielen konsekutiven Epochen ohne Testfehlerverbesserung das Training beendet werden soll.
- Logging-Parameter
  - `save_dir`: Ort an dem das Trainierte Model, sowie zugehörige Checkpoints gespeichert werden soll.
  - `seed`: interner Seed für Pytorch.

Generell verwendet das Training den Optimierer Adam. Die Trainingsdaten werden mithilfe des Skripts `NumpyDataLoader.py` in eine für pytorch verständliche Repräsentation gebracht. Während dem Training wird jeweils das momentan beste Model zusätzlich abgespeichert. Nach dem Training wird das Model evaluiert. Dazu wird das Skript `performance_eval.py` verwendet.

### 2.4 Evaluation Autoencoder



Abbildung 5: Auszug des Evaluation-Videos. Links zu sehen ist das Eingabebild. Rechts die Ausgabe des Autoencoders. Oben rechts ist zusätzlich der zugehörige Fehler abgebildet.

Für die Evaluation wird das Skript `performance_eval.py` verwendet. Folgende Aspekte werden Evaluert:

- Laufzeit des Encoders auf einer CPU mit Batch-Size 1 und 64
- Laufzeit des Encoders auf einer GPU mit Batch-Size 1 und 64
- Es wird ein Video erstellt, wo für jede Testbild die Ausgabe des Encoders und der zugehörige Fehler dargestellt wird (Siehe Abbildung)
- Trainings und Test Loss werden in einem Diagramm dargestellt.

Es wird eine Video Datei erstellt, sowieso eine `summary.txt` wo die Laufzeiten und die Model-Architektur abgespeichert werden.

### 2.5 Procgen Umgebungen aus den Autoencoder

- Wie wird das gemacht? - Was ist das Ergebnis?

Nachdem die Autoencoder Trainiert worden sind, müssen diese noch in eine Gym-Umgebung gewrapped werden. Dies wird ähnlich wie in Abbildung 4 geregelt. Für jeden Autoencoder wird eine zugehörige Klasse erstellt. Diese erben alle von `AutoencoderBasicEnv.py`.



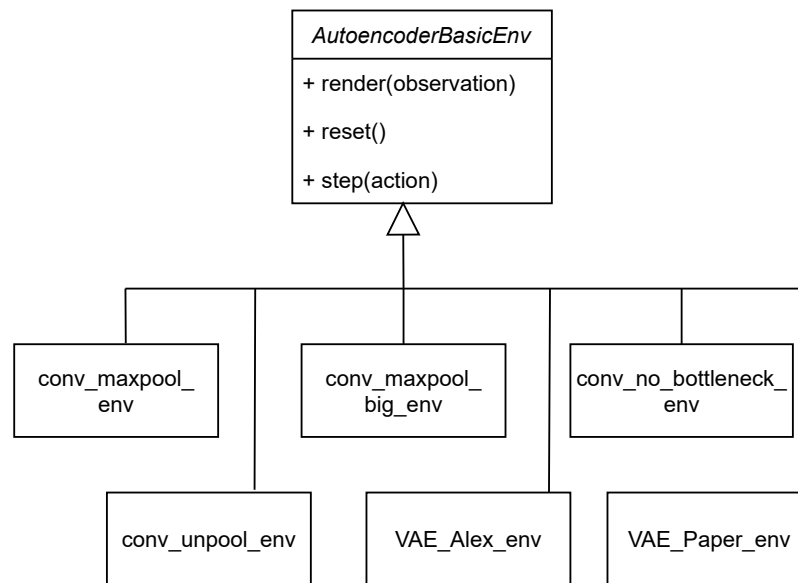


Abbildung 6: Informelles Komponenten Diagramm. Die rot gekennzeichnete Komponente ist die wesentliche Komponente die von einem CTRNN Anschließend verwendet werden kann

Diese stellt bereits die Methoden `render`, `reset` und `step` zur Verfügung und müssen nicht überschrieben werden. Die Unterklassen müssen lediglich einen Pfad für das SSkelett" des Autoencoders (`path_stub`), einen Pfad für den gespeicherten Autoencoder (`path_model`) und die Größe der Codierung (`shape`) angeben. Abschließend müssen die Autoencoder noch in der `__init__.py` initialisiert werden.

### 3 Bewertung

In diesen Abschnitt soll eine kurze Bewertung der entwickelten Modelle, sowie Rückschlüsse für weitere Arbeiten gezogen werden.

Es hat sich in der Arbeit gezeigt, dass Varitonale Autoencoder tendenziell besser funktionieren als gewöhnliche Autoencoder. Der `VAE_Paper` funktioniert deutlich besser als die gewöhnlichen Autoencoder (`conv_maxpool_autoencoder`, `conv_maxpool_big_autoencoder`, `conv_no_bottleneck_autoencoder`) bei gleicher Anzahl an Codierung Dimensionen. Der Hyperparameter `lamda_kl_loss` ist aber vergleichsweise schwer zu optimieren, ohne dass es zum "Posterior Collapse" kommt. Dennoch reicht diese Art von Autoencoder für das Heist Spiel nicht aus. Das liegt aber nicht an den Autoencodern sondern am Spiel Heist selbst. Die Schlüssel sind die entscheidenden Elemente des Spiels. Diese sind aber nur einige Pixel groß, sodass ein Autoencoder diese eher ignoriert, da sie nicht groß zum gesamten Fehler beitragen. Ein Neuronales Netz optimiert deshalb eher darauf, dass das Labyrinth gut dargestellt wird.

Eine Möglichkeit diesen Fehler ein wenig zu verbessern wurde im `VAE_Alex` implementiert, in dem durch ein zusätzliches Neuronales Netz der Perceptual Loss eines Bildes

berechnet wird. Dies führt zu deutlich besseren Ergebnissen, die Schlüssel werden deutlich häufiger erkannt.

In der Arbeit hat sich herausgestellt, dass der Conv\_Unpool Autoencoder mit Abstand die besten Ergebnisse erzielt. Dies liegt sicherlich auch an den deutlich größeren Merkmalsvektor, als auch tieferes Neuronales Netz.