Custos Mucoris

Systemplattform zur automatischen Detektion von Schimmelbildung an Kulturgütern mittels künstlicher Intelligenz

HIER: Training des neuronalen Netzwerkes

Gefördert durch die DBU - Aktenzeichen: 35604/01
Projektlaufzeit: 01.01.2020 – 31.12.2021

Stand: 2020-06-10

Sehen und Verstehen

- **Wenn ein Baby das erste Mal die Augen aufmacht, sieht es viele verschiedene Gegenstände.**

ixtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Sehen und Verstehen

- **Die Netzhaut mit über einer Millionen Pixeln überträgt diese Bilder über den Sehnerv zum Sehzentrum in der Großhirnrinde.**
- **Das Baby kann aber noch nichts damit anfangen.**

IXtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Sehen und Verstehen

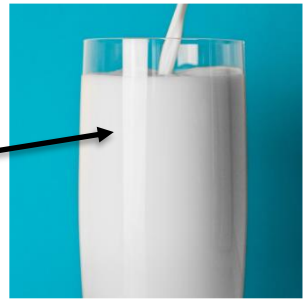
- **Erst durch überwachtes Lernen von den Eltern ergibt sich eine Verknüpfung von dem Gesehenen mit verstandenen Begriffen**

ixtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Sehen und Verstehen

- **Erst nach sehr langem Lernen versteht das Kind den Satz: Gehe zum Tisch, setze Dich auf den Stuhl und trink ein Glas Milch**

- **Tisch**
- **Stuhl**
- **Glas**



ixtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Sehen und Verstehen

- **Ermöglicht wird dies durch Neuronen im Gehirn (grün gezeichnet)**
- **Neuronen sind die Schaltzentralen zur Weiterleitung von Informationen**
- **Unser Gehirn besteht aus ca. 100 Milliarden Nerven-zellen, die mit über einer Trillion Synapsen mit einander verbunden sind**

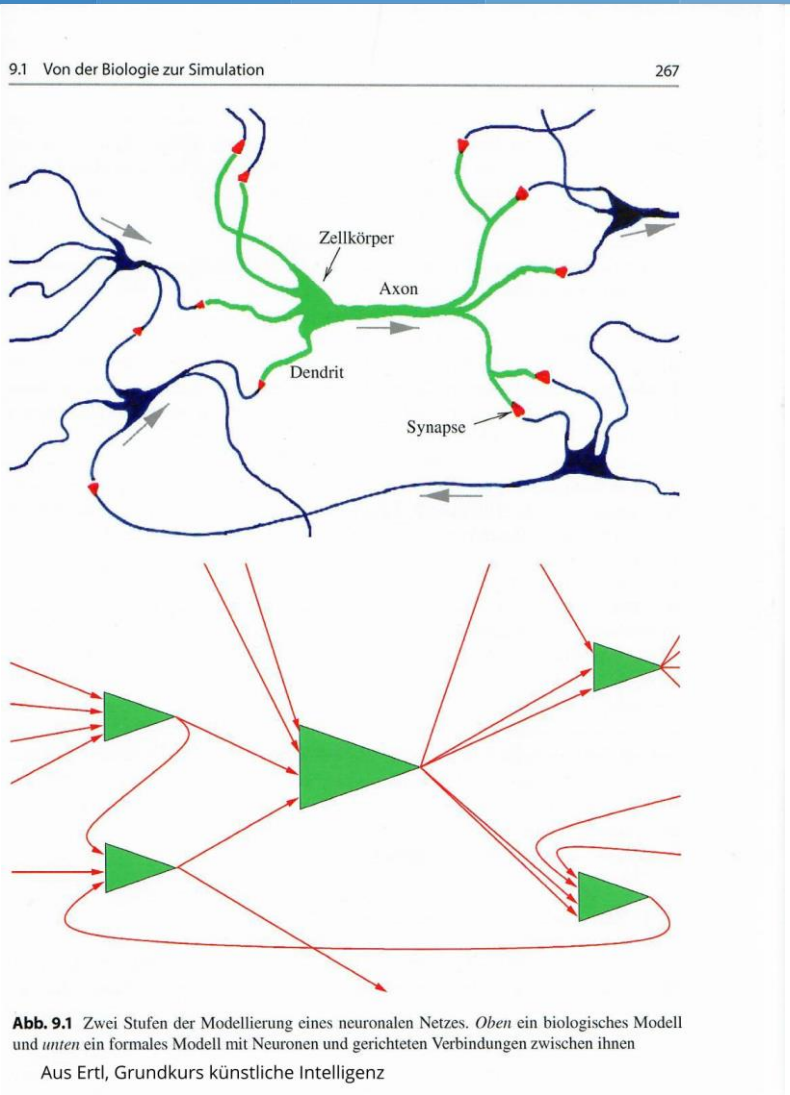


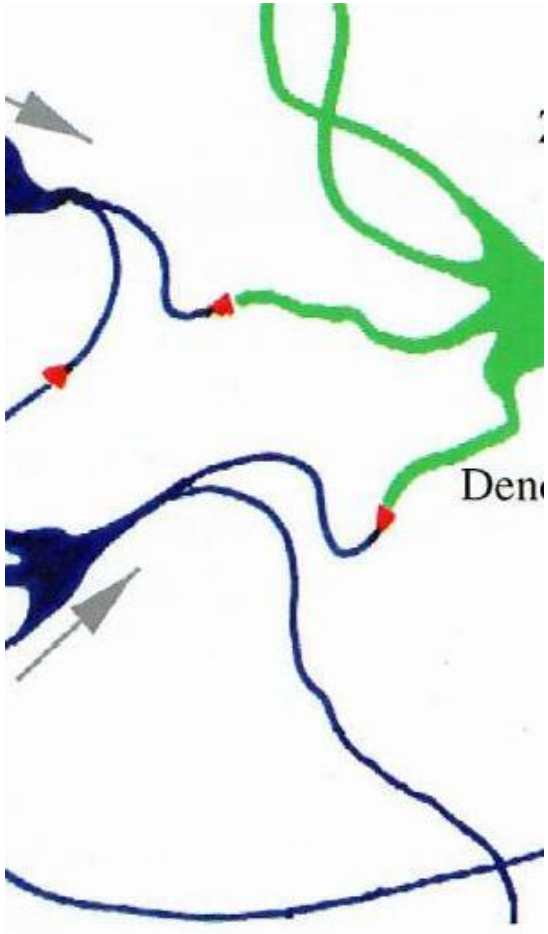
Abb. 9.1 Zwei Stufen der Modellierung eines neuronalen Netzes. *Oben* ein biologisches Modell und *unten* ein formales Modell mit Neuronen und gerichteten Verbindungen zwischen ihnen

Aus Ertl, Grundkurs künstliche Intelligenz

IXtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Sehen und Verstehen

- **Die Verbindung zwischen 2 Neuronen sind die Synapsen (rote Rechtecke).**
- **Die Übertragung der Spannungsimpulse von einem Neuron zum anderen kann in den Synapsen mehr oder weniger gut erfolgen (also die Leitfähigkeit ändern)**
- **Synapsen, die viel benutzt werden, haben eine höhere Leitfähigkeit.**
- **Synapsen, die wenig oder gar nicht benutzt werden, können sogar sterben.**



Aus Ertel: Grundkurs künstlicher Intelligenz

IXtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Sehen und Verstehen als Blockschaltbild

- **Neuron i erhält von Neuronen x1 … xn Spannungsimpulse**
- **Jeder hereinkommende Impuls wird mit der Übertragungs-gewichtung der Synapsen wij multipliziert.**
- **Alle Spannungswerte werden dann aufaddiert**
- **Ist die Summe größer als ein bestimmter Schwellwert, feuert das Neuron i**
- **Ansonsten feuert es nicht.**

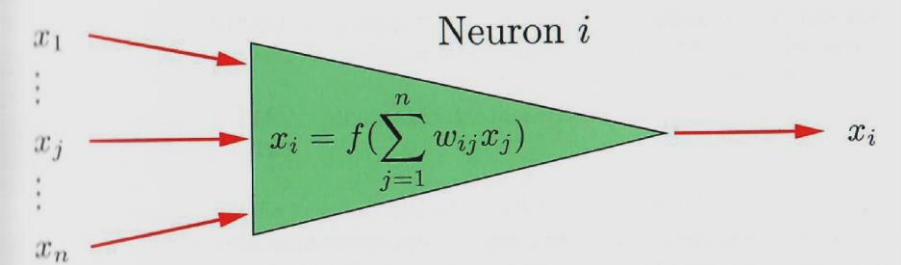


Abb. 9.2 Die Struktur eines formalen Neurons, das auf die gewichtete Summe aller Eingaben die Aktivierungsfunktion f anwendet

$$X_i = \begin{cases} 0 \; falls \; \sum_{j=1}^{n} w_{ij} x_j < Schwellwert \\ 1 \quad sonst \end{cases}$$

Aus Ertel: Grundkurs künstlicher Intelligenz

Mechatronics, Tools & Technologies

Sehen und Verstehen

- 1 Mio Sehzellen

- 1 Millionen Neu-ronen in Eingangs-schicht
- Trillionen Synap-sen mit Leit-fähig-keit W
- 100 Milliar--den Neu-ronen

- Trillionen Synap-sen mit Leit-fähig-keit W
- 100 Milliar--den Neu-ronen

- Überwachtes Lernen

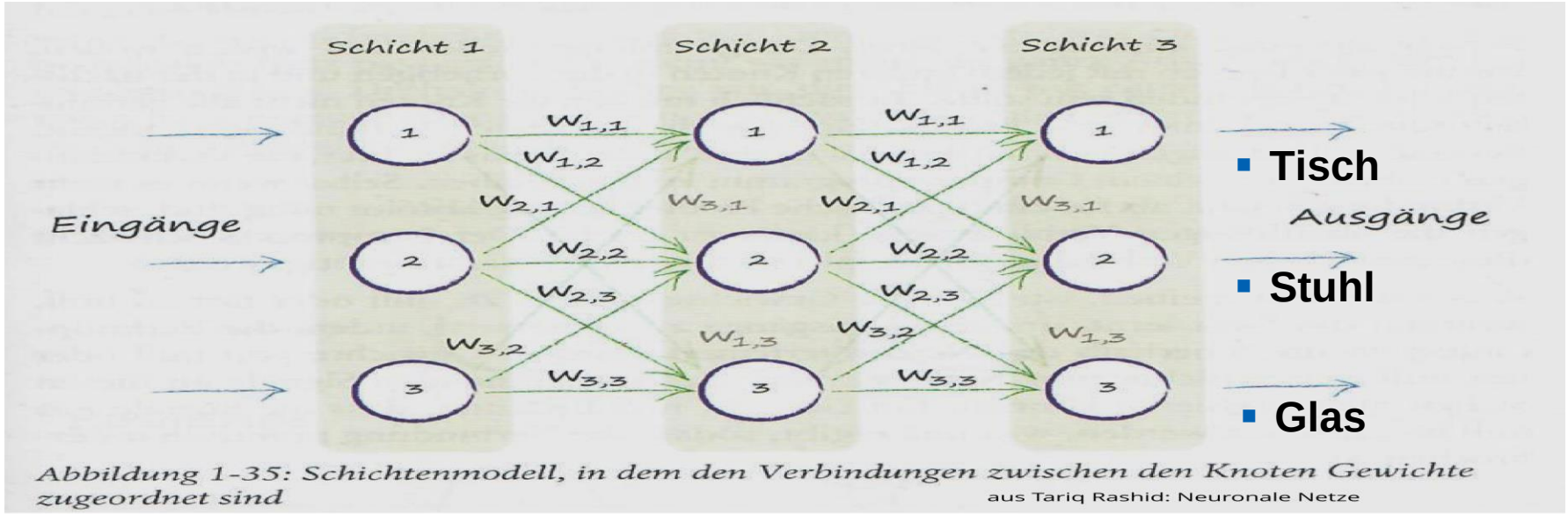


Abbildung 1-35: Schichtenmodell, in dem den Verbindungen zwischen den Knoten Gewichte zugeordnet sind

aus Tariq Rashid: Neuronale Netze

Mechatronics, Tools & Technologies

DBU-Projekt 35604 Künstliche Intelligenz und Schimmel (Hier als Neuronales Netz (NN) anstatt Convolutional NN dargestellt)

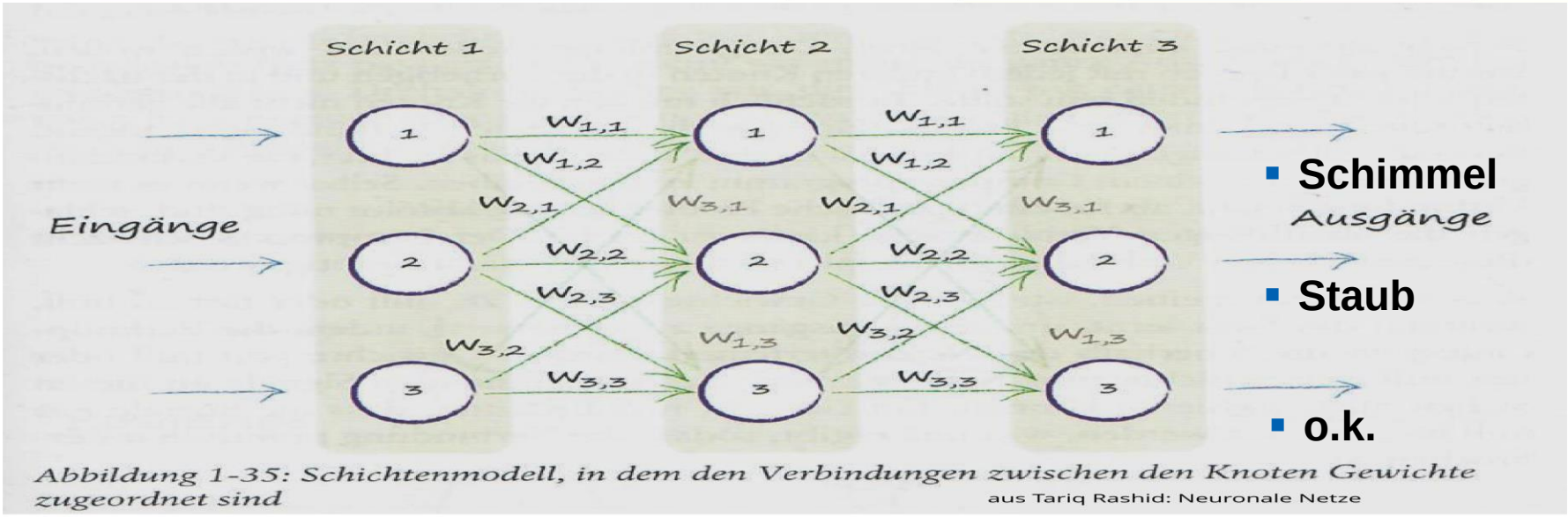


Abbildung 1-35: Schichtenmodell, in dem den Verbindungen zwischen den Knoten Gewichte zugeordnet sind

aus Tariq Rashid: Neuronale Netze

- 20 Mpixel

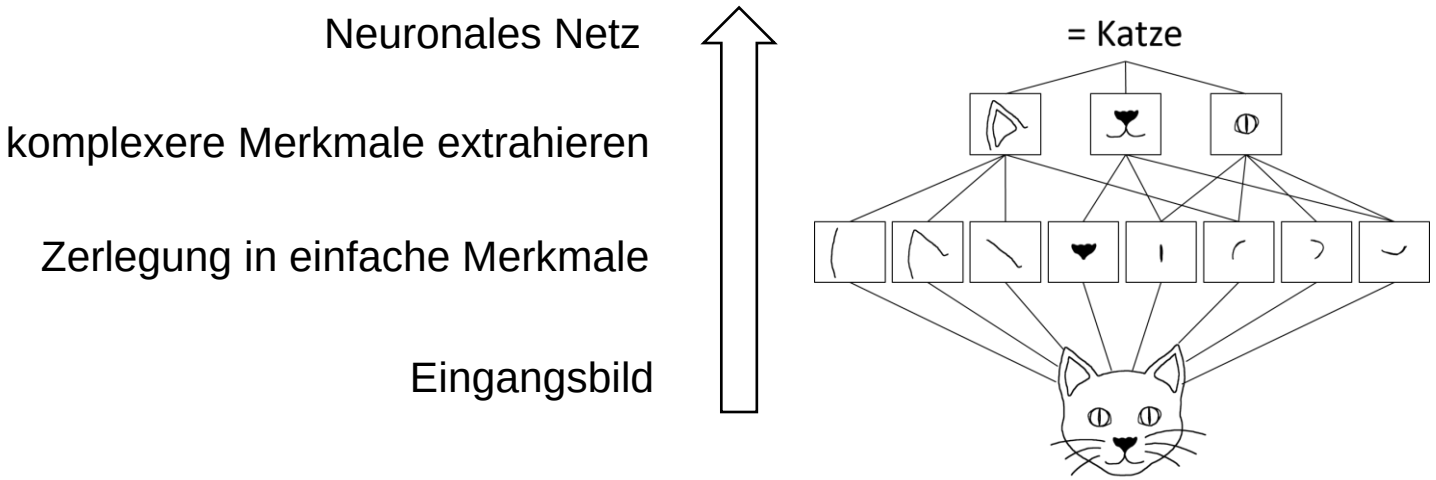
- Zerschnitten auf 256x256 Pixel = 62500 Neuronen
- 4 Milliarden Synapsen
- 62500 Neuronen
- 4 Milliarden Synapsen
- 62500 Neuronen
- Überwachtes Lernen

Zahlen sind Anfangs-Beispiele, die wirklichen Zahlen kommen später nach einer intensiven Trainingsphase: aktuell 38.650.337 Parameter

IXtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

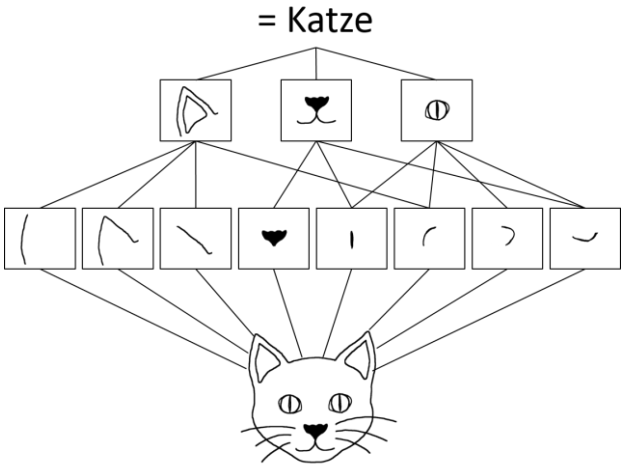
Bilderkennung mit Convolutional Neural Networks

- **Für die Bildverarbeitung werden neuronale Netze um eine weitere Eigenschaft (Faltung) ergänzt**
- **Das Eingangsbild wird stufenweise gefiltert und in seine Merkmale von einfach bis komplex zerlegt**
- **Neuronales Netz identifiziert aus den komplexen Merkmalen das Eingangsbild**
- **Beispiel: Bild einer Katze**

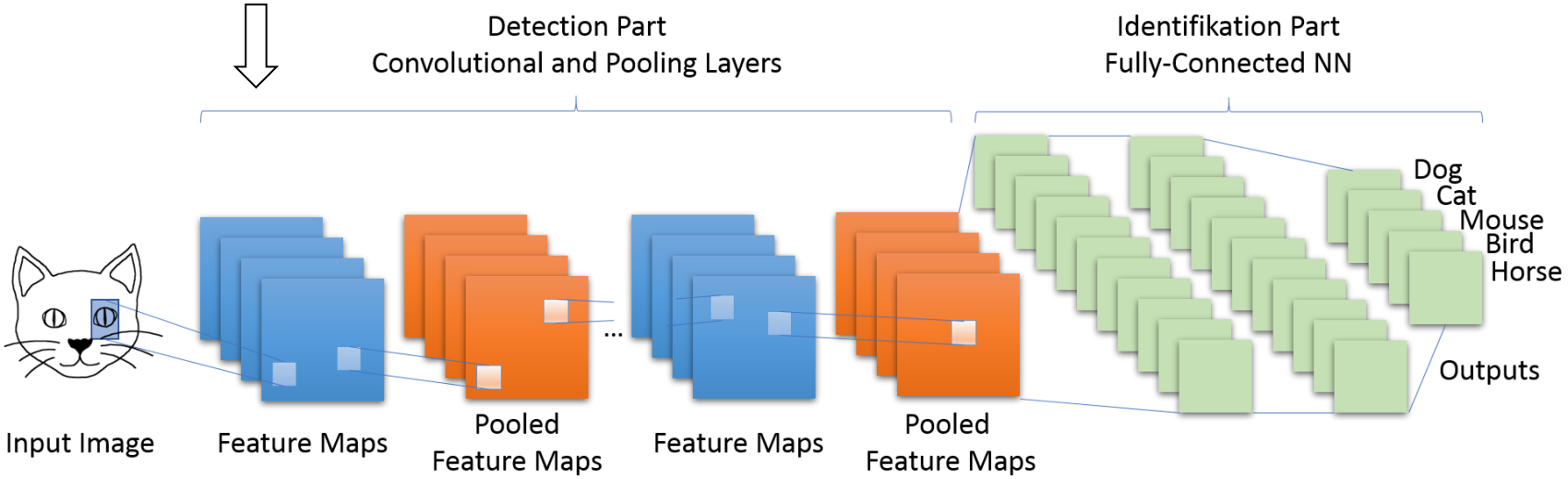


IXtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Bilderkennung mit Convolutional Neural Networks



- Eingangsbild wird im Detektionsteil stufenweise gefiltert und in seine Merkmale von einfach bis komplex zerlegt
- Identifikationsteil (NN) extrahiert die zu erkennenden Eigenschaften aus den Bild



Mechatronics, Tools & Technologies

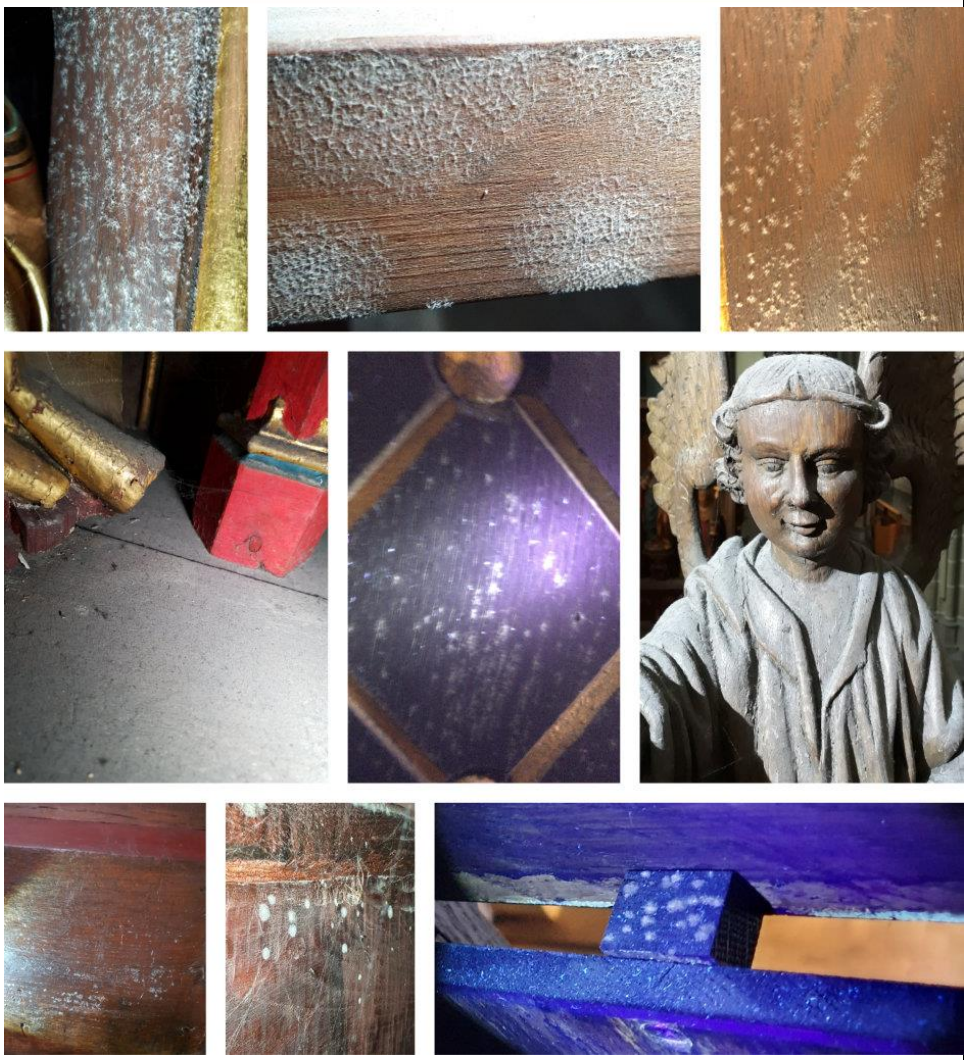
Anwendung auf unser Projekt DBU-35604

- **Höchstmögliche Zahl an Bildern sammeln von**
  - Schimmel
  - Staub
  - O.k.
  - Wasser
  - Spalt
  - Insekten
  - Dreck …..
- **Auf verschiedenen Trägern**
  - Holz
  - Textile
  - Glas
- **Auf verschiedenen Objekten wie**
  - Altäre
  - Orgeln
  - Gestühle
  - Skulpturen
  - Gemälde
  - …

ixtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 1: Speichern der Originalbilder

- **Viele Bilder wurden selbst gemacht, aber es gab auch viele Bilder von Unterstützern des Projektes**
- **Alle Bilder wurden in Ordnern gesammelt folgender Namensgebung:**
  - Ort_Bauwerkname_Objekt_Objektname_Traeger_Person_Beleuchtung_Spektralbereich
- **Es liegen mittlerweile über 2000 Bilder vor, die sich primär auf Schimmel und dann Staub sowie Insekten konzentriert haben.**



Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 2: Aussondern schlechter Bilder

- **Alle Bilder werden in einen Ordner mit der Bezeichnung „hohe Qualität“ kopiert**
- **Mehrere Läufe sortieren nun Bilder schlechter Qualität aus:**
  - 1. Lauf: unscharfe Bilder werden gelöscht
  - 2. Lauf: manuelle Formatänderung auf .jpg,
  - 3. Lauf: manuelles Ausschneiden unrelevanter Hintergründe (Wand, Boden, Fenster)
- **Die Bilder werden gezippt und auf den iXtronics-Server hochgeladen und dort im Ordner „02 Bilder“ abgespeichert**
- **Die folgende Bearbeitung geschieht automatisch mithilfe von Skripten**
- **Die hier verwendeten Skripte wurden in der Programmiersprache Python erstellt.**

iXtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 3: Uebertragen der Bilder in die Bilddatenbank

- **Skript zum Übertragen der Bilder in eine Datenbank**
- **Ziel des Skriptes:**
  - Entzippen der Ordner mit den Bildern und speichern im Ordner „custos_original_images“
  - Einlesen der Bilder, der EXIF- und GPS-Daten aus den Kamera-Bild-Informationen
  - Abspeichern aller Daten in der neu erstellten MySQL-Datenbank
  - Vergabe eines neuen Bildnamens und einer eineindeutigen Nummer “Ort_Gebäude_Objekt_Träger_eindeutige Nummer.jpg”
  - Abspeichern der Bilder in “custos_data_base_original_images”

Result Grid | Filter Rows: | Edit: | Export/Import: | Wrap Cell Content:

ID	site	building	object_name	object_type	substrate	author	damage	date	creation_date	image_name
1	Ebersdorf	church-Stiftskirche	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	dust	2020-08-25 16:12:50	2020-06-03 09:54:52	Ebersdorf_Organ_dust.0.jpg
3	Ebersdorf	church-Stiftskirche	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	mould	2020-08-25 16:12:50	2020-06-03 09:53:08	Ebersdorf_Organ_mould.0.jpg
4	Ebersdorf	church-Stiftskirche	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	mould	2020-08-25 16:12:51	2020-06-03 09:53:04	Ebersdorf_Organ_mould.1.jpg
17	Gloesa	church-St.Jokokus	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	dust	2020-08-31 10:57:21	2020-06-03 09:13:23	Gloesa_Organ_dust.0.jpg
19	Gloesa	church-St.Jokokus	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	mould	2020-08-31 10:57:22	2020-06-03 09:05:37	Gloesa_Organ_mould.0.jpg
20	Gloesa	church-St.Jokokus	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	mould	2020-08-31 10:57:22	2020-06-03 09:03:06	Gloesa_Organ_mould.1.jpg
21	Gloesa	church-St.Jokokus	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	mould	2020-08-31 10:57:22	2020-06-03 09:02:59	Gloesa_Organ_mould.2.jpg
22	Gloesa	church-St.Jokokus	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	mould	2020-08-31 10:57:22	2020-06-03 09:04:02	Gloesa_Organ_mould.3.jpg
23	Gloesa	church-St.Jokokus	Jehmlich	Organ	wood	Weiss-Loether	mould	2020-08-31 10:57:22	2020-06-03 09:04:06	Gloesa_Organ_mould.4.jpg

755 Bilder sind übrig geblieben

IXtronics
Mechatronics, Tools & Technologies

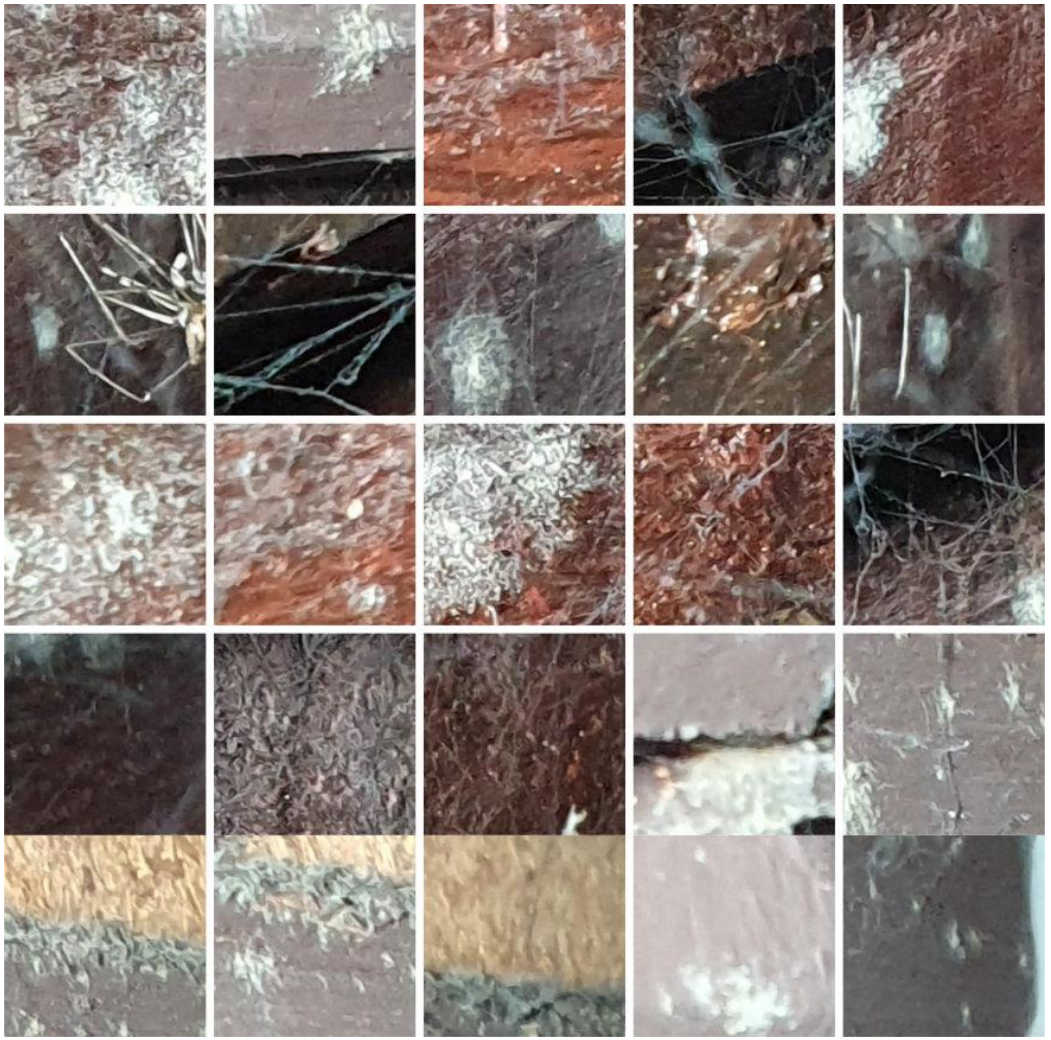
Stufe 4: Zerschneiden der Bilder

- **Motivation:**
  - Ziel ist es, dem neuronalen Netz beizubringen, wie Schimmel aussieht und wie etwas aussieht, dass nicht Schimmel ist.
  - Auf einem einzigen Bild kommen aber sehr viele Informationen vor:
    - Staub
    - Schimmel
    - Ok
    - Insekten
    - gemischtes
  - Um die Bildmotive den neuronalen Ergebnisklassen zuzuordnen und die Grösse der neuronalen Netze zu begrenzen werden die Bilder zerschnitten.

Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 4: Zerschneiden der Bilder

- **Skript zum Zerschneiden**
- **Ziel des Skriptes:**
  - Einlesen des Bildes aus „custos_data_base_original_images ”
  - Zerschneiden in 256x256-Pixel Bilder
  - Abspeichern der Bilder in “custos_splitted_images”
- **Aus einem Kamerabild werden dann ca. 200 kleine Bilder**
  - Die Namensgebung beihaltet nun auch die Bildnummer und die Zeilen- und Spaltennummer

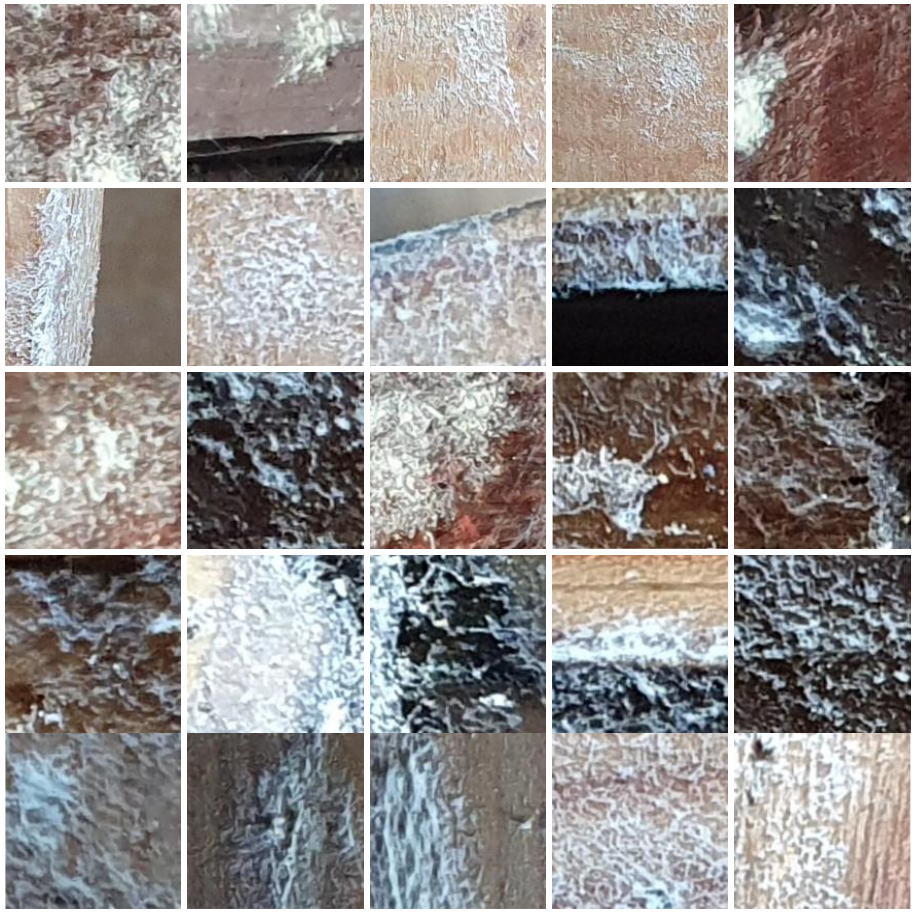


Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 5: Sortieren in Ergebnisklassen

- **Skript zur Sortierung in Ergebnisklassen**
- **Alternativ: manuelles verschieben**
- **Ausgangsorder: Custos_split_images**
- **Zielordner: custos_inspected_images**
- **Unterordner:**
  - Crack
  - Dust
  - Insect
  - Mould
  - Multiple
  - Water
  - Ok
  - Delete

Bilder mit Schimmel

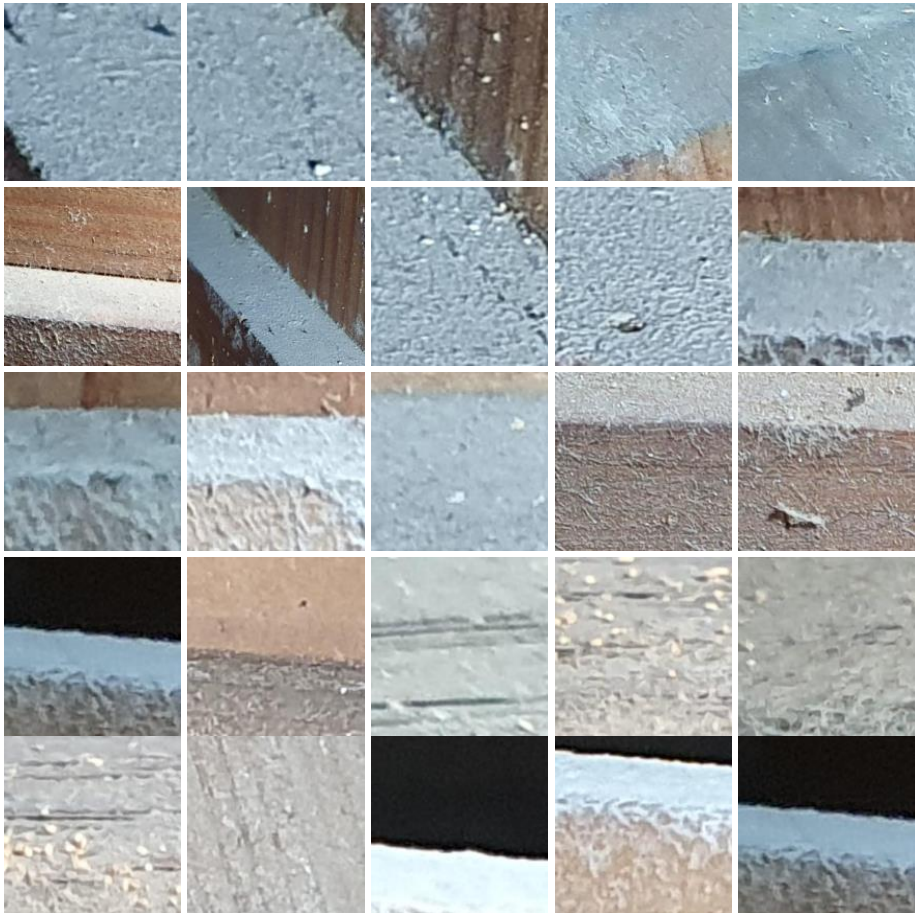


Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 5: Sortieren in Ergebnisklassen

- **Skript zur Sortierung in Ergebnisklassen**
- **Alternativ: manuelles Verschieben**
- **Ausgangsorder: Custos_split_images**
- **Zielordner: custos_inspected_images**
- **Unterordner:**
  - Crack
  - Dust
  - Insect
  - Mould
  - Multiple
  - Water
  - Ok
  - Delete

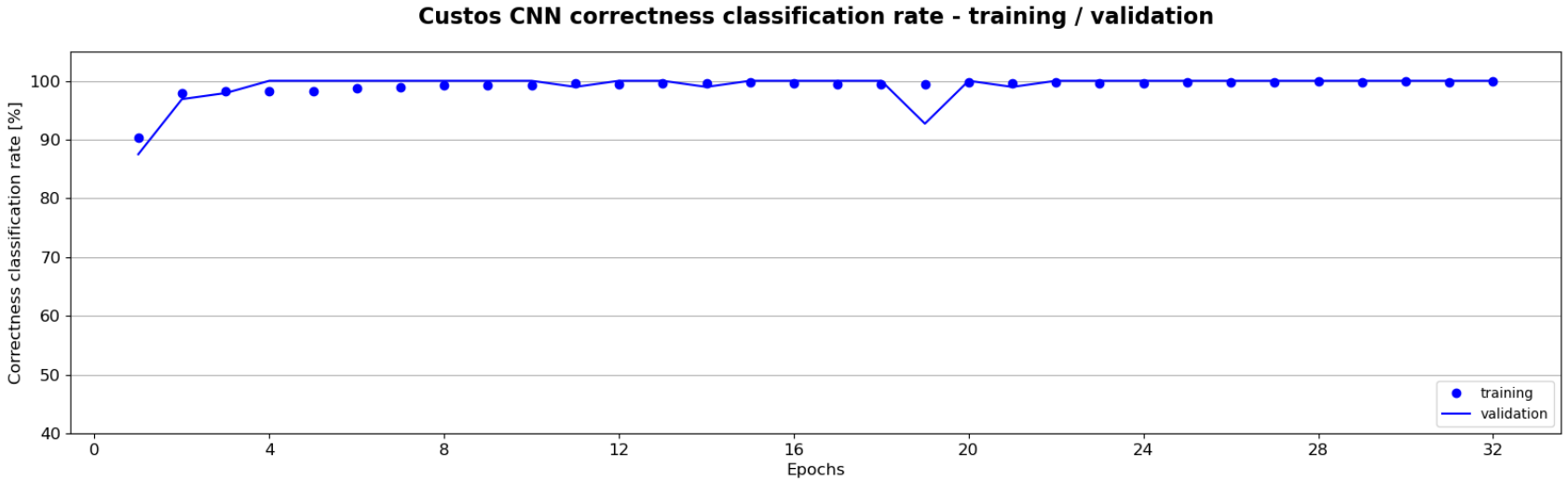
Bilder mit Staub



Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 6: Training des neuronalen Netzes

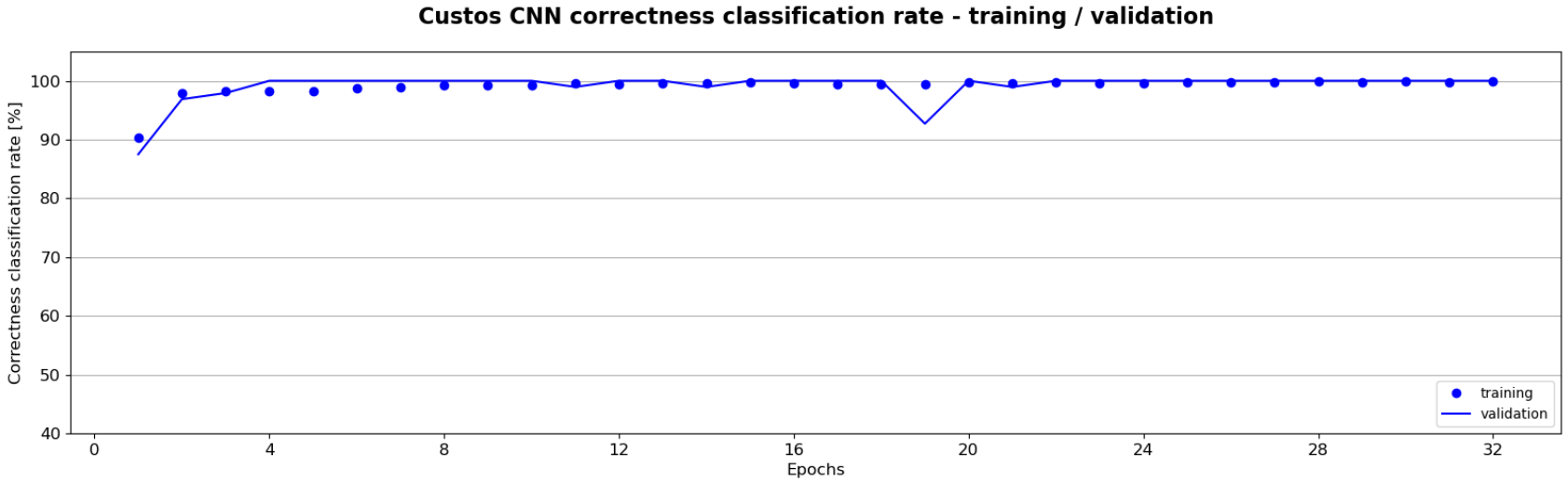
- **Skript zum Training der neuronalen Netze (1. Version)**
- **Ablauf:**
  - Zeige dem Neuronalen Netz je 2000 Trainings-Bilder von Schimmel oder Staub und bewerte das Ergebnis als korrekt oder nicht korrekt. Die Korrektheitsrate gibt an, wie gut die Erkennungsrate ist. Je höher der Wert desto besser die Erkennungsrate. 0 % kein Bild wird erkannt, 100 % alle Bilder werden erkannt.
  - Nach dem ersten Durchlauf (Epoche) liegt der Wert bei etwa 90%. Diese Zahl bezieht sich auf die Erkennungsrate aller beliebig gezeigten Bilder mit Schimmel oder Staub.
  - Nun werden je 100 andere Bilder, die nicht im Training verwendet wurden, zur Validierung eingegeben. Beim ersten Durchlauf liegt die Erkennungsrate bei 87%



Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 6: Training des neuronalen Netzes

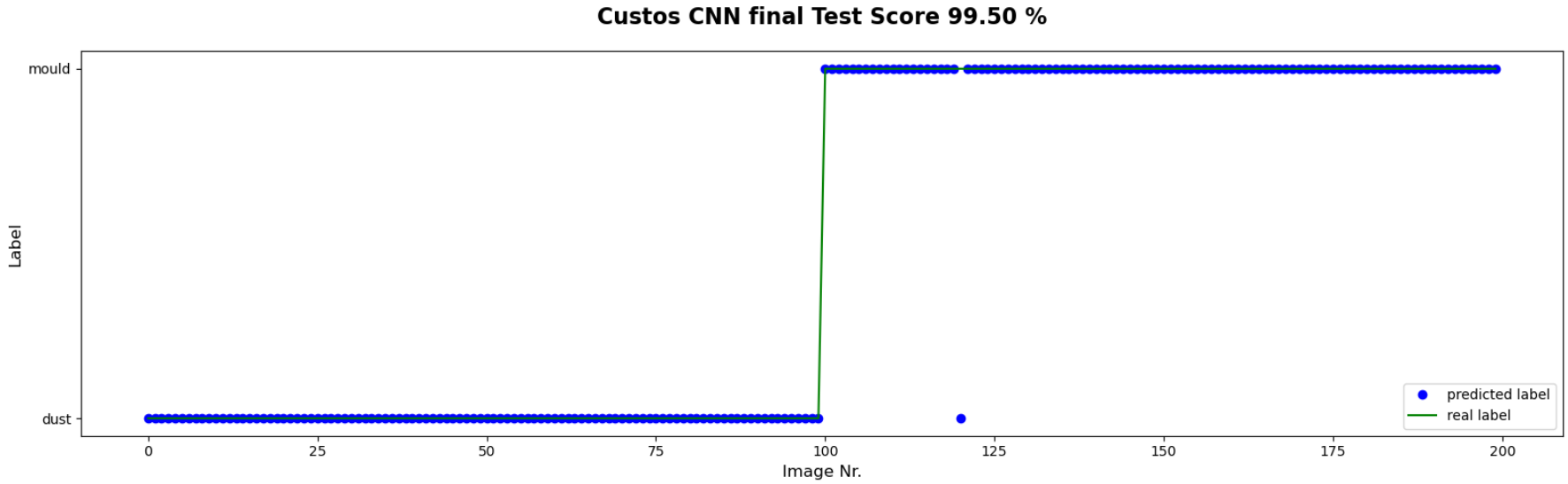
- **Skript zum Training der neuronalen Netze**
- **Ablauf:**
  - Nun finden weitere Durchgänge (Epochen) statt.
  - Wieder werden die gleichen Trainingsbilder (anders gemischt und mit Datenaugmentation leicht verändert) gezeigt und die Korrektheitsrate steigt über 95% bis ca. 100% an.
  - Die Validierungsergebnisse (diese Bilder sind immer gleich) schwanken.
  - Es werden insgesamt 32 Epochen durchgeführt (keine weitere Ergebnisverbesserung)
  - Dann wird der Datensatz genommen, der das beste Ergebnis fuer die Validierung brachte. Hier z.B. : Datensatz 10



Mechatronics, Tools & Technologies

Stufe 7: Ergebnis des Training

- **Mit den Gewichtsfunktionen von Datensatz 10 werden nun ganz neue Bilder bewertet.**
  - Je 100 dem System unbekannte Testbilder mit Schimmel und Staub werden eingelesen und die Abweichung im unten stehenden Bild dargestellt. Staub liegt bei Label 0 und Schimmel liegt bei Label 1. Es zeigen sich kleine Abweichungen, aber beide Klassen werden sehr gut erkannt (Stand 20.10.2020)
- **Ergebnis: Bereits bei der ersten Version des Skriptes für das Training der Neuronalen Netze und dem zweiten Durchlauf mit inspizierten Bildern wird eine überraschend hohe Erkennungsrate erreicht.**



Mechatronics, Tools & Technologies

Die nächsten Schritte

- **Bisher wurden erst 2.200 Bilder benutzt, 150.000 Bilder liegen noch vor uns**
- **Optimierung der Inspektionsarbeiten**
  - 150.000 Bilder zu bewerten kostet Wochen
  - Es werden zur Zeit Methoden evaluiert, diese Bewertungen zusammenzufassen und zu beschleunigen
- **Verfahren finden, die richtigen Bilder für das Training auszuwählen**
- **Optimierungsarbeiten des Trainings, um die Effizienz und Geschwindigkeit zu steigern und die Trefferquote zu verbessern**
- **Mehr Bilder erforderlich, um die Erkennungsrate zu verbessern.**
- **Möglichst früh Life-Test in z.B. Xanten und Münster, selbst wenn die Hardware-Muster noch nicht dem angestrebten Endstand entsprechen.**

ixtronics
Mechatronics, Tools & Technologies