

Künstliche Intelligenz

Maschinelles Lernen, Bildverarbeitung, Automatisierung

IT4School, 11. Juli 2022, 18:00 Uhr

Prof. Dr. Niels Landwehr

Arbeitsgruppe „Data Science“

Institut für Informatik

Stiftung Universität Hildesheim

Agenda

- Motivation: Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen
- Wie funktionieren Lernalgorithmen?
- Anwendungen: KI und Bildverarbeitung in der Landwirtschaft

Künstliche Intelligenz

- **Künstliche Intelligenz: was ist das?**

„Artificial intelligence is intelligence demonstrated by machines, as opposed to the natural intelligence of humans and animals“

Wikipedia: „Artificial Intelligence“, 28.06.2022

- Pragmatische Definition: Entwicklung von Computerprogrammen zur Lösung von Problemen, für die es keine offensichtliche Berechnungsvorschrift (Algorithmus) gibt, und die daher für Computer „schwierig“ sind
 - Verstehen von Bild- oder Videoinhalten
 - Verstehen oder Übersetzen von natürlicher Sprache
 - Komplexere Tätigkeiten wie Autofahren
 - ...
- Interessanterweise sind diese für Computer schwierigen Probleme oftmals für Menschen gar nicht allzu schwierig...

Beispiel: Bildinhalte verstehen

- Beispiel: Bildinhalte verstehen



Mensch: „Eine Katze!“

Was „sieht“ ein Computer?

Bild: Nikita (Flickr), CC-BY 2.0

Beispiel: Bildinhalte verstehen

- Beispiel: Bildinhalte verstehen



Mensch: „Eine Katze!“

Was „sieht“ ein Computer?

```
[[161 162 163 164 164 163 163 162 160 159 159 160 160 161 162 163]
[161 162 163 163 164 164 163 162 161 161 161 162 162 163 164 164]
[161 162 162 163 164 163 163 161 161 161 162 162 163 165 167 167]
[160 161 162 163 163 162 162 161 161 162 162 163 164 166 167 166]
[160 161 163 163 163 163 163 161 161 162 161 162 163 165 165 164]
[160 161 163 162 162 162 162 161 161 161 161 161 162 163 163 162]
[160 161 162 162 162 163 162 161 159 159 158 159 160 159 160 159]
[160 160 161 162 162 163 161 157 159 158 158 158 157 158 157 158]
[160 161 162 162 162 160 154 154 158 157 157 155 156 156 156 157]
[159 160 160 155 150 140 135 138 147 153 152 153 154 154 155 156]
[157 154 153 148 142 131 127 113 110 135 145 151 152 155 156 157]
[154 159 147 117 105 99 92 101 100 105 126 148 152 155 156 160]
[157 128 92 68 61 67 63 65 81 102 117 137 150 155 160 162]
[106 71 83 65 50 62 63 72 61 77 106 115 140 156 160 163]
[77 81 84 75 84 92 85 74 60 64 78 100 126 150 159 165]
[81 83 92 102 108 106 95 82 72 70 62 82 117 136 160 164]
[108 110 112 112 108 108 99 98 90 77 65 68 97 126 154 158]
[110 109 109 112 99 94 98 97 98 85 69 65 70 111 131 157]
[117 107 97 93 97 98 101 95 92 92 91 68 65 90 119 149]
[118 115 105 97 103 105 107 105 94 89 89 77 72 63 104 131]
[88 93 96 102 105 109 102 96 93 88 85 79 75 67 82 121]
[95 98 105 115 119 107 101 103 102 97 90 80 76 69 68 100]
[124 125 123 120 128 125 106 103 104 101 90 85 75 75 71 78]]
```

Für einen Computer ist ein Bild einfach eine große Matrix von Zahlenwerten:

- Jede Zahl gibt den Helligkeitswert für einen Pixel an
- Die Anzahl der Reihen und Spalten in der Matrix entspricht der Höhe und Breite des Bildes
- Bei Farbbildern gibt es separate Matrizen für rot/grün/blau

„Finde die Katze“

- Für einen Computer ist es ziemlich schwierig, von den Pixelwerten auf den Bildinhalt zu schließen
- Nehmen wir einmal an, wir möchten das Problem lösen, eine Katze auf einem Bild zu finden
- Wir suchen ein Computerprogramm, das folgendes Problem löst:

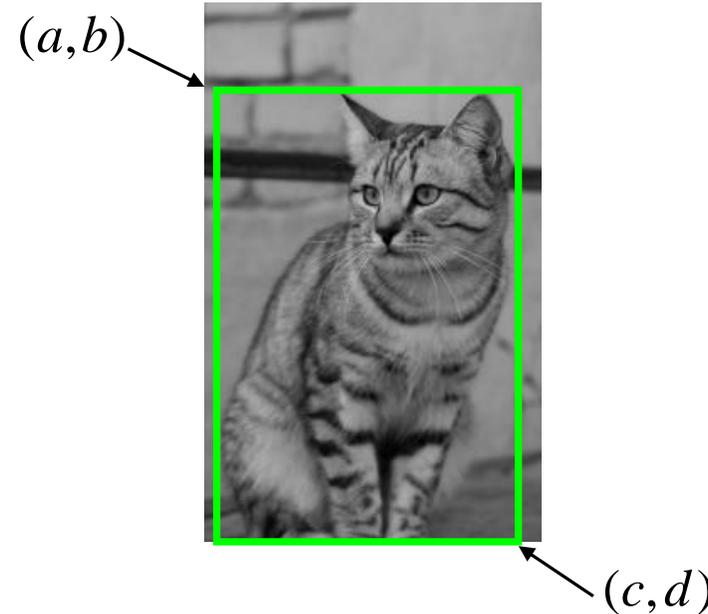
Eingabe: Ein Bild mit einer Katze,
als Matrix von Pixelwerten



Programm



Ausgabe: Ein Rechteck, gegeben
durch vier Koordinaten a, b, c, d



Manueller Algorithmus für „Finde die Katze“?

- **Klassischer Ansatz:**
 - Versuche, einen Algorithmus (d.h. eine Berechnungsvorschrift) zu finden, die das Problem löst
 - Implementiere dann den Algorithmus in einem Computerprogramm
- Können wir manuell einen Algorithmus „finde-katze“ für das Problem finden?
- **Versuch:** Eine Katze hat vier Beine, einen Kopf, und einen Schwanz. Finde diese im Bild.

Pseudo-code für Algorithmus "finde-katze":

1. kopf = finde-kopf(Bild)
2. beine = finde-beine(Bild)
3. schwanz = finde-schwanz(Bild)
4. $(a, b, c, d) = \text{rechteck}(\text{kopf}, \text{beine}, \text{schwanz})$

Muss Kopf aus Pixelwerten finden:
Vielleicht hellerer/dunklerer Kreis
vor Hintergrund?

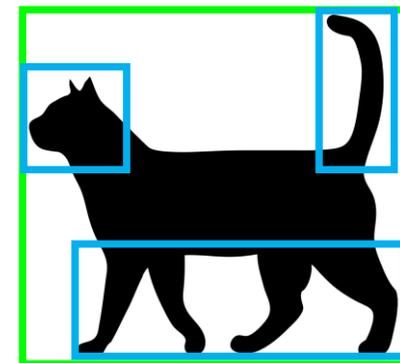
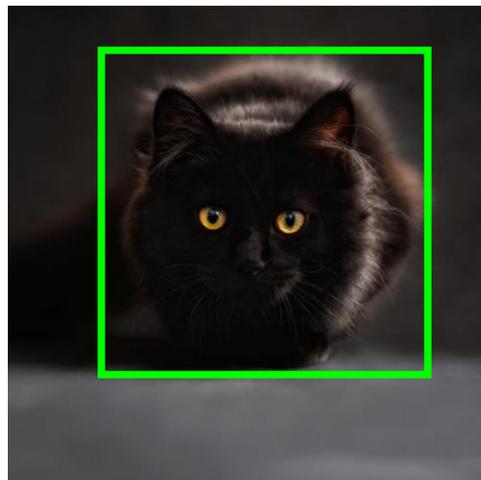


Bild: Karen Arnold, CC0 public domain

- Kein tauglicher Ansatz auf realen Bildern. Warum?

Warum Bildanalyse schwierig ist

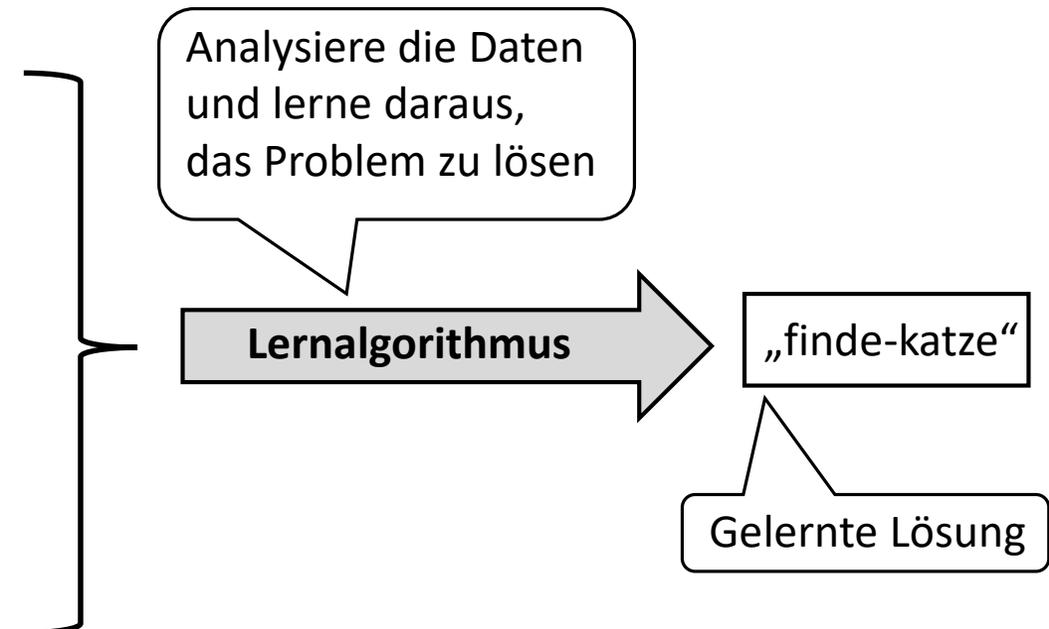
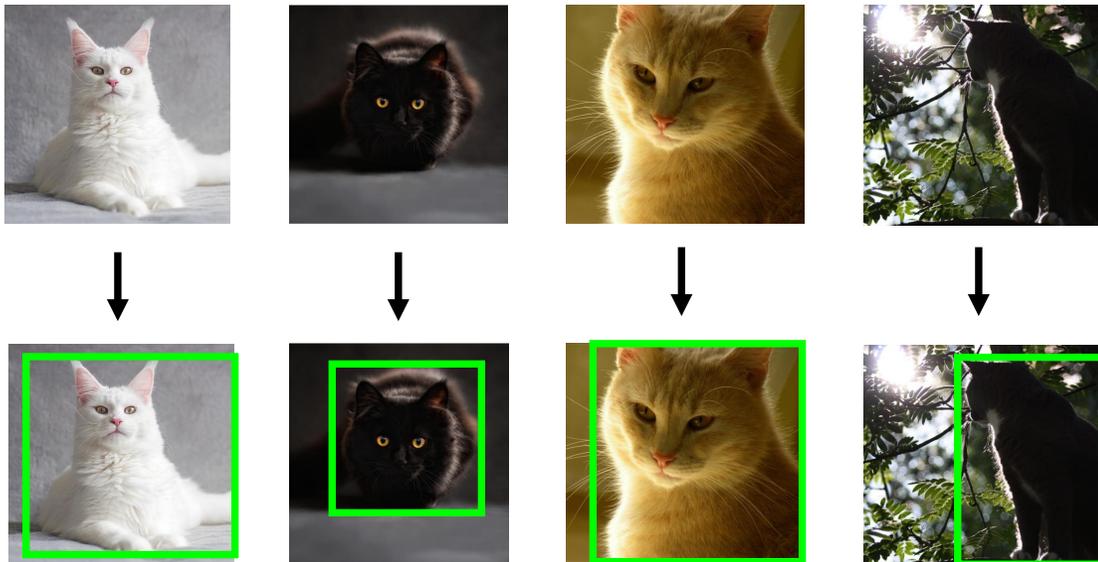
- Warum ist es schwierig, manuell Algorithmen zur Bildanalyse anzugeben?
- Es gibt nur einen sehr indirekten Zusammenhang zwischen Pixelwerten und Bildinhalt
 - Einerseits bestimmen zwar die Pixelwerte eindeutig das Bild und damit den Bildinhalt
 - Andererseits können sehr ähnliche Bildinhalte aber durch ganz andere Pixelwerte beschrieben werden
- Gründe: Variation über Farben, Perspektive, Beleuchtung
- Bildinhalt ist jeweils eine Katze, aber Pixelwerte in den Bildern sind sehr unterschiedlich



Lernen aus Daten statt manueller Lösung

- Bildanalyse ist ein schwieriges Problem: unklar, wie man einen Algorithmus zur Lösung entwickelt
- **Statt manuell entwickeltem Algorithmus: Computer lernt aus Daten, das Problem zu lösen**
 - Wir geben dem Computer Beispiele für Lösungen des Problems
 - Der Computer analysiert die Daten und lernt daraus eine Lösung

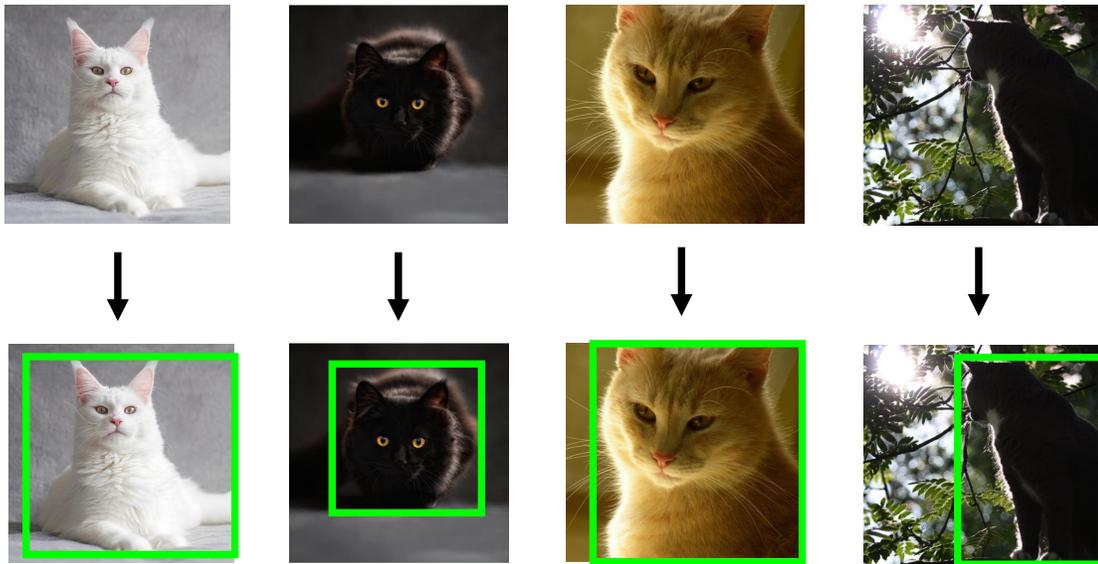
Beispiele für Lösungen:



Lernen aus Daten statt manueller Lösung

- Bildanalyse ist ein schwieriges Problem: unklar, wie man einen Algorithmus zur Lösung entwickelt
- **Statt manuell entwickeltem Algorithmus: Computer lernt aus Daten, das Problem zu lösen**
 - Wir geben dem Computer Beispiele für Lösungen des Problems
 - Der Computer analysiert die Daten und lernt daraus eine Lösung

Beispiele für Lösungen:



Lernansätze als „Game Changer“ in der KI

- Lernansätze haben in den letzten 5-10 Jahren zu gewaltigen Fortschritten bei vielen schwierigen KI-Problemen geführt
- Beispiel Bildanalyse: sortiere Bilder in eine von 1000 Klassen („ImageNet“)
 - Starke Verbesserung der Genauigkeit über die letzten 10 Jahre
 - Seit 2015 geringere Fehlerraten als Menschen



Fehlerrate Mensch: etwa 5%

Agenda

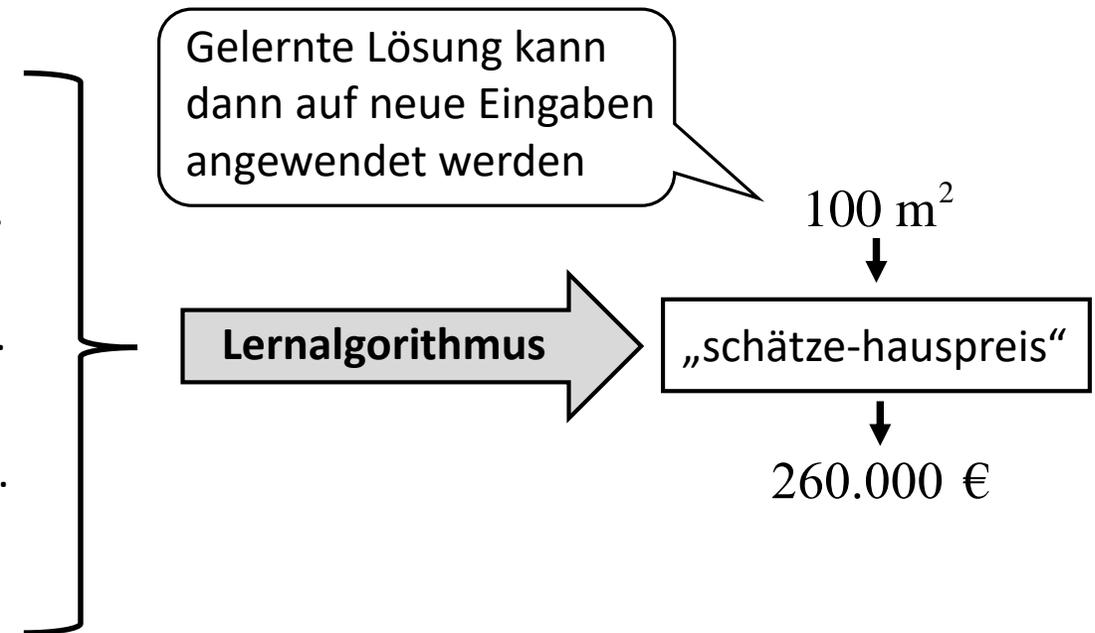
- Motivation: Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen
- Wie funktionieren Lernalgorithmen?
- Anwendungen: KI und Bildverarbeitung in der Landwirtschaft

Lernprobleme: Einfaches Beispiel

- Wie funktioniert ein Lernalgorithmus?
- Zur leichteren Veranschaulichung betrachten wir ein sehr einfaches Beispiel: Hauspreisvorhersage
- **Problem:** Gegeben die Größe eines Hauses in Quadratmeter, schätze den Verkaufspreis

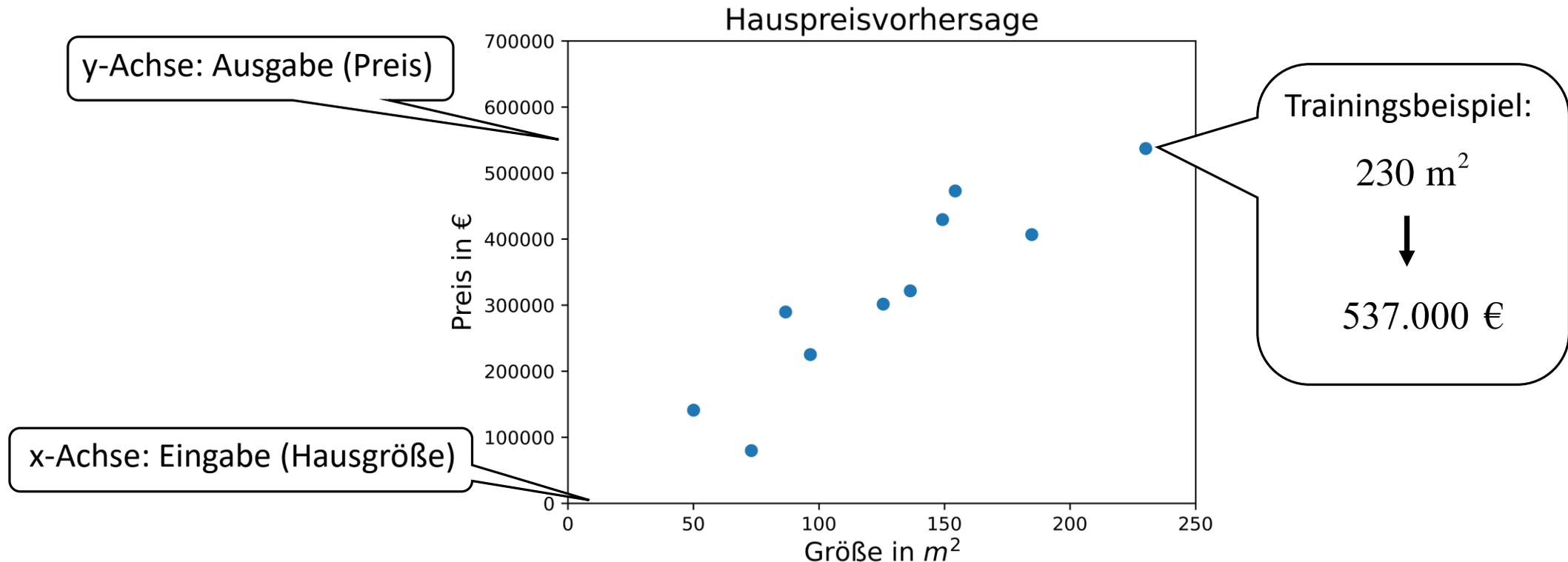
Beispiele für Lösungen („Trainingsbeispiele“):

230 m ²	50 m ²	125 m ²	150 m ²	...
↓	↓	↓	↓	...
537.000 €	141.000 €	300.000 €	430.000 €	...



Trainingsbeispiele: Visualisierung

- Wir können die Trainingsbeispiele wie folgt graphisch darstellen:



- Mathematisch gesehen:** die Lösung „schätze-hauspreis“ ist eine Funktion $y = f(x)$

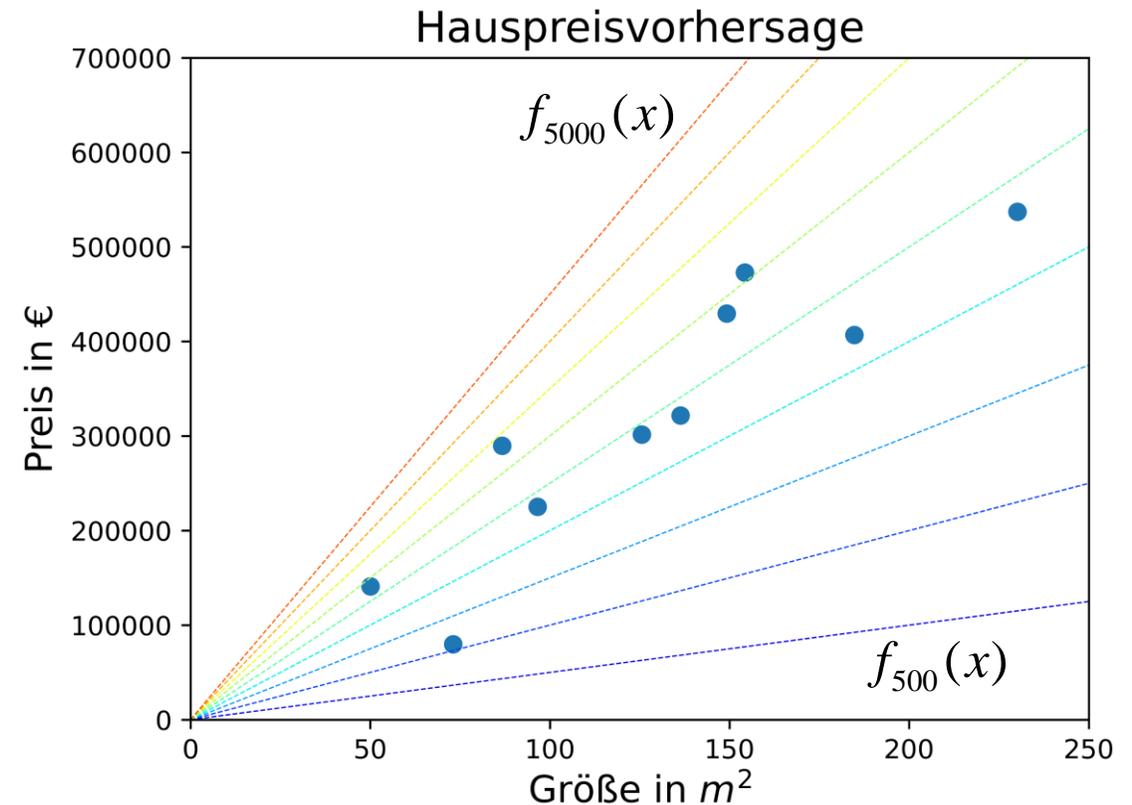
Definiere die Menge der möglichen Lösungen

- Wie können wir die gesuchte Funktion $y = f(x)$ aus den Daten lernen?
- Wir definieren eine Menge möglicher Funktionen, und suchen davon die Funktion aus, die am besten zu den Daten passt

Beispiel für einfache Menge von Funktionen:
lineare Funktionen mit Steigung w

$$f_w(x) = w \cdot x$$

Wir betrachten als Raum möglicher Lösungen
die Funktionen $f_w(x)$ für alle möglichen $w \in \mathbb{R}$



Wie gut passt Funktion zu Daten?

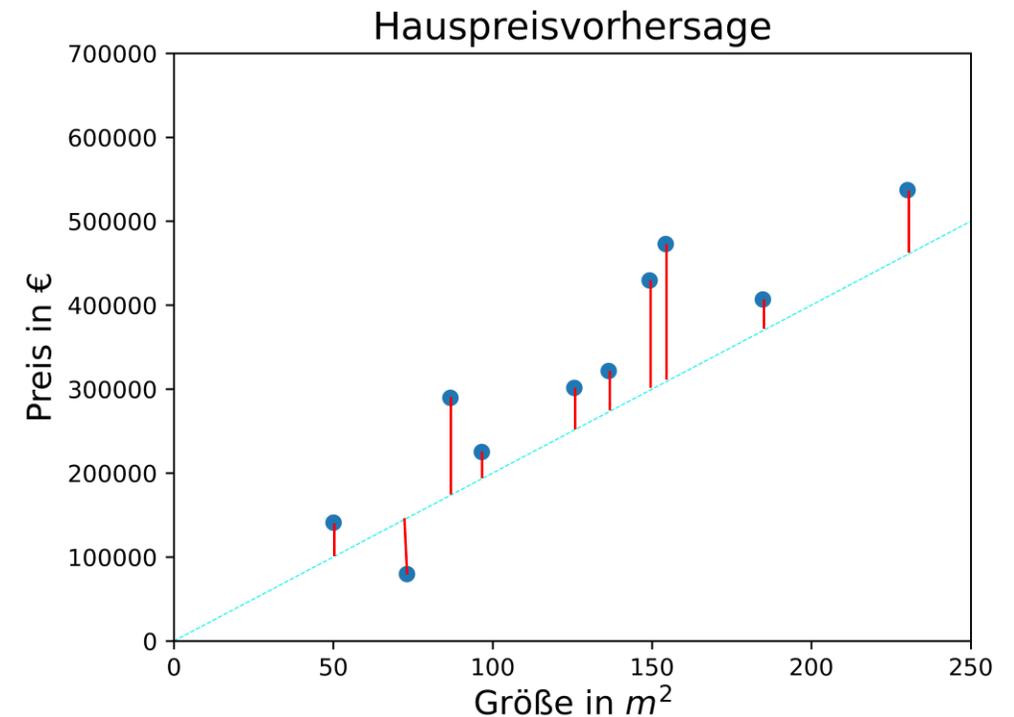
- Wir wollen die Funktion auswählen, die am besten zu den Daten passt
- Für eine gegebene Funktion $f_w(x)$ können wir den Fehler messen: durchschnittliche Abweichung zwischen Vorhersage $f_w(x)$ und Lösung y in den Trainingsbeispielen

Fehler der Funktion mit Parameter w auf den Trainingsdaten:

$$L(w) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |f_w(x_n) - y_n|$$

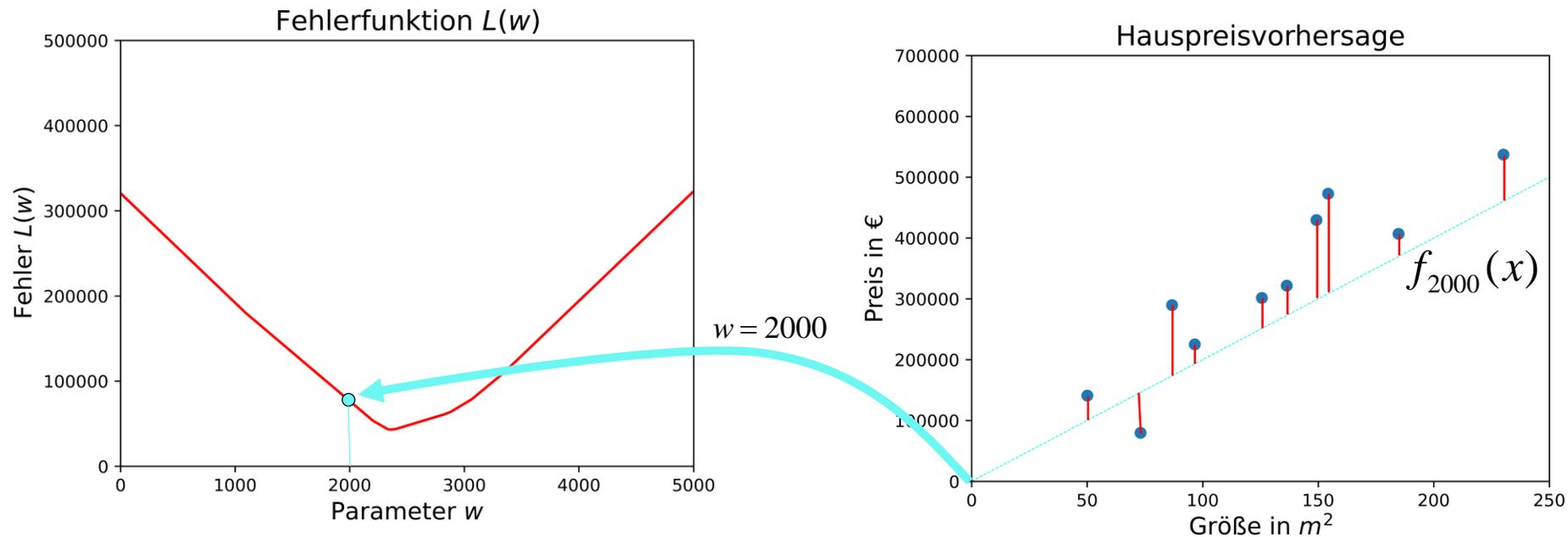
Durchschnitt über die N Trainingsbeispiele

Differenz zwischen Vorhersage $f_w(x_n)$ und Lösung y_n für Trainingsbeispiel n



Funktionsdarstellung des Fehlers

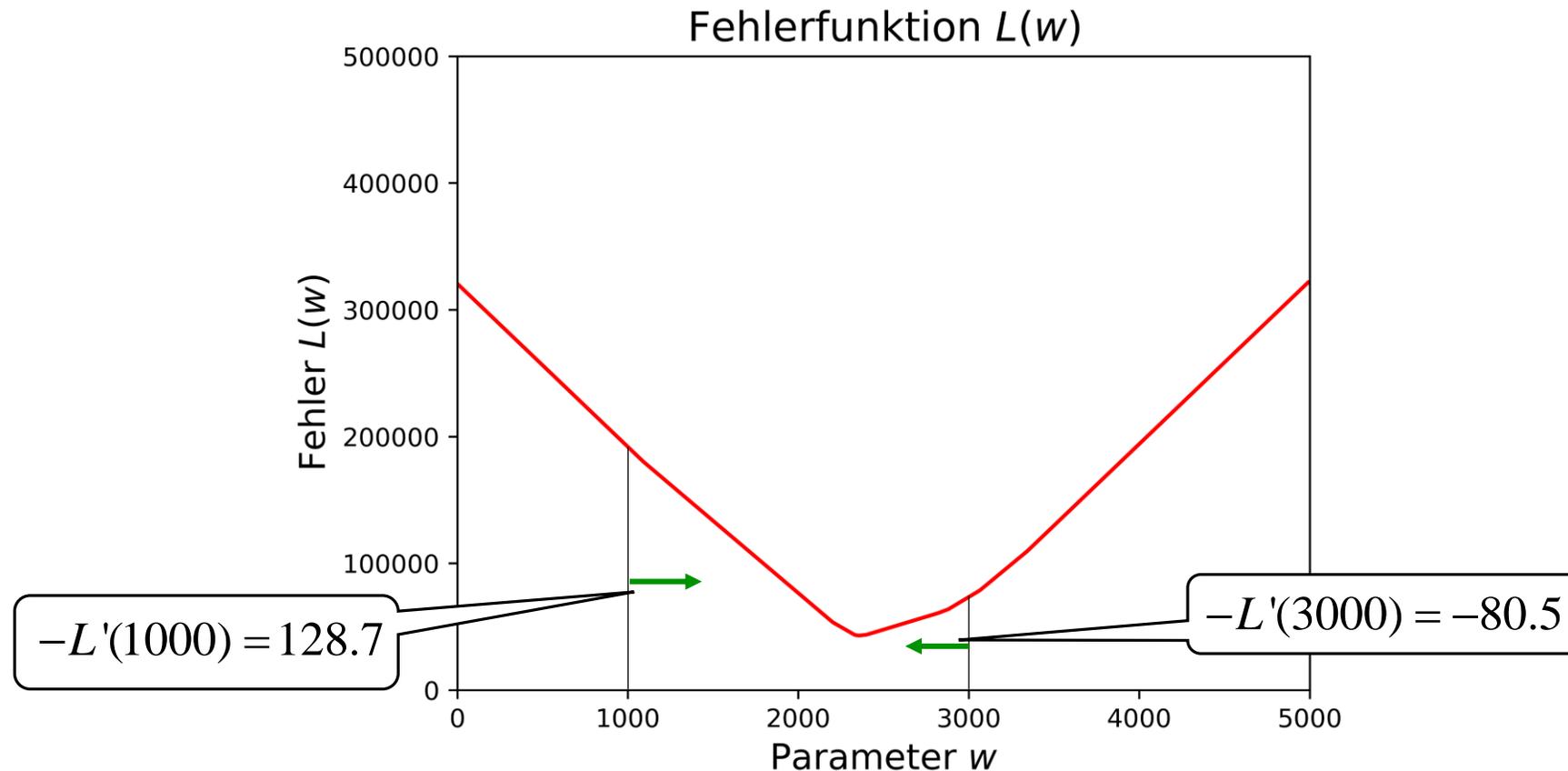
- Der Fehler $L(w)$ ist eine Funktion des Parameters w : mit w ändert sich die Funktion, und damit auch der Fehler
- Wir können den Fehler $L(w)$ als Funktion von w darstellen:



- **Wir suchen die Funktion mit dem kleinsten Fehler:** das Minimum von $L(w)$

Minimierung des Fehlers: Ableitung

- Wie finden wir die Funktion mit kleinstem Fehler?
- **Beobachtung:** die negative Ableitung $-L'(w)$ der Fehlerfunktion zeigt immer in Richtung abnehmender Fehlerwerte



Minimierung des Fehlers: Algorithmus

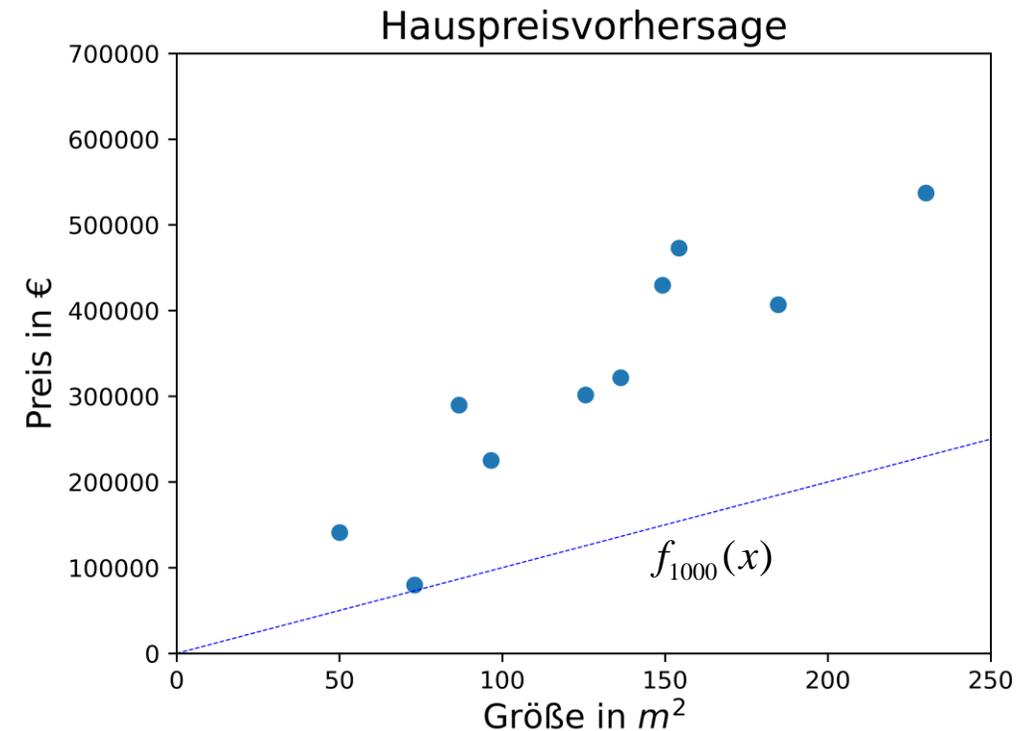
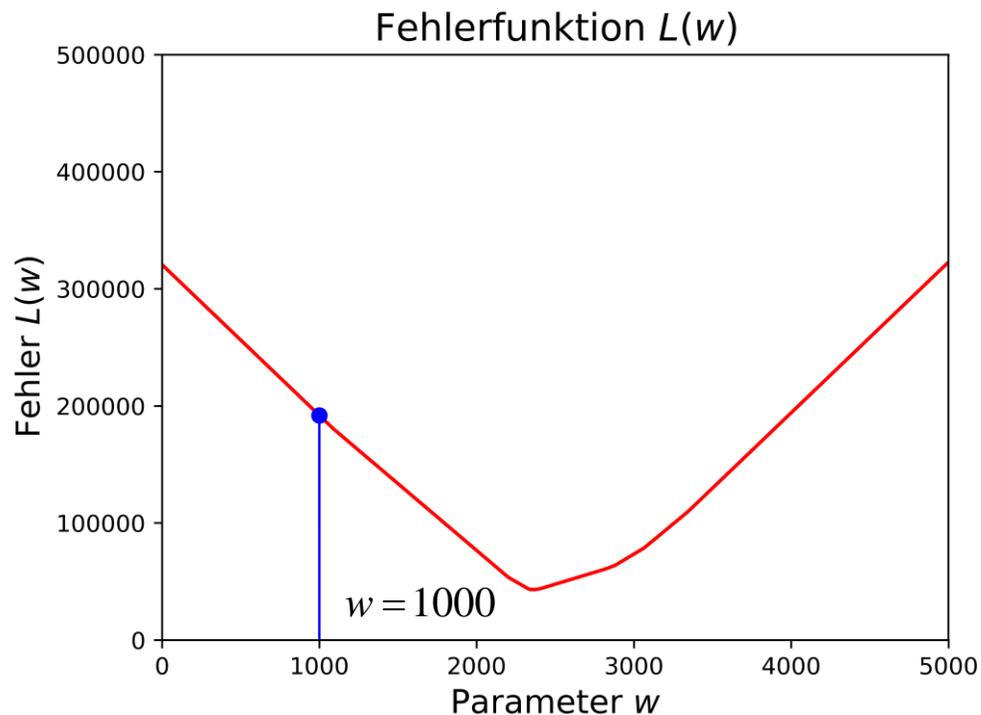
- Aus dieser Beobachtung ergibt sich ein einfacher Algorithmus, um die beste Funktion zu finden:

Lernalgorithmus: 1. $w := \text{zufällige_initialisierung}()$

2. Für $i = 1, \dots, T$:

3. $w := w - \alpha L'(w)$

Beispiel:



Minimierung des Fehlers: Algorithmus

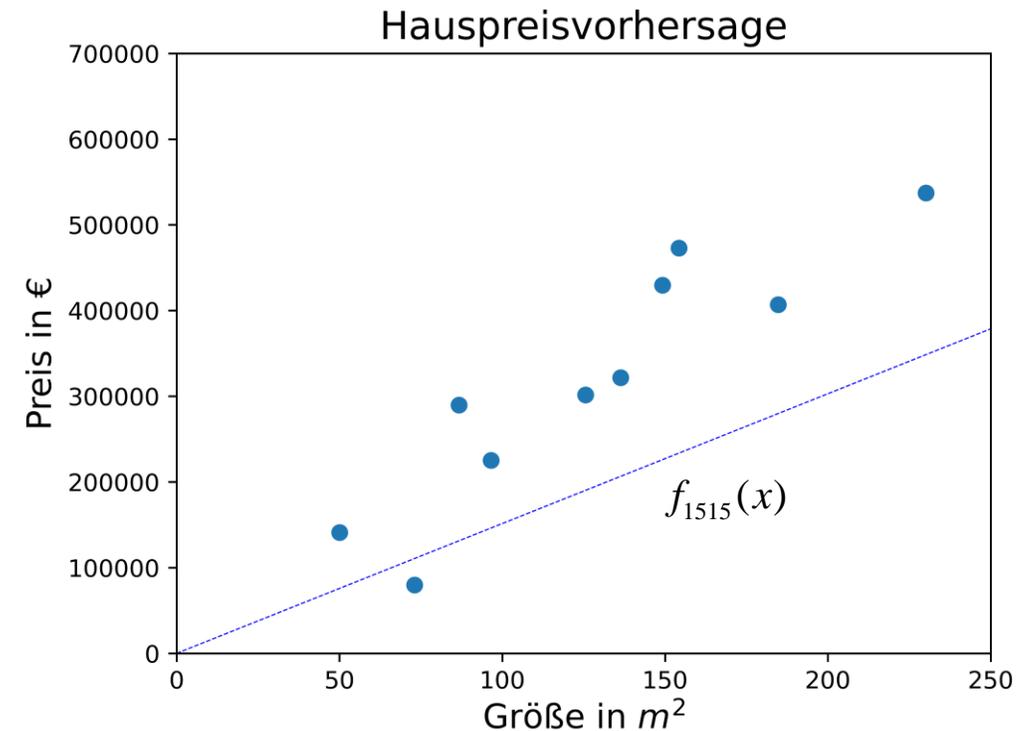
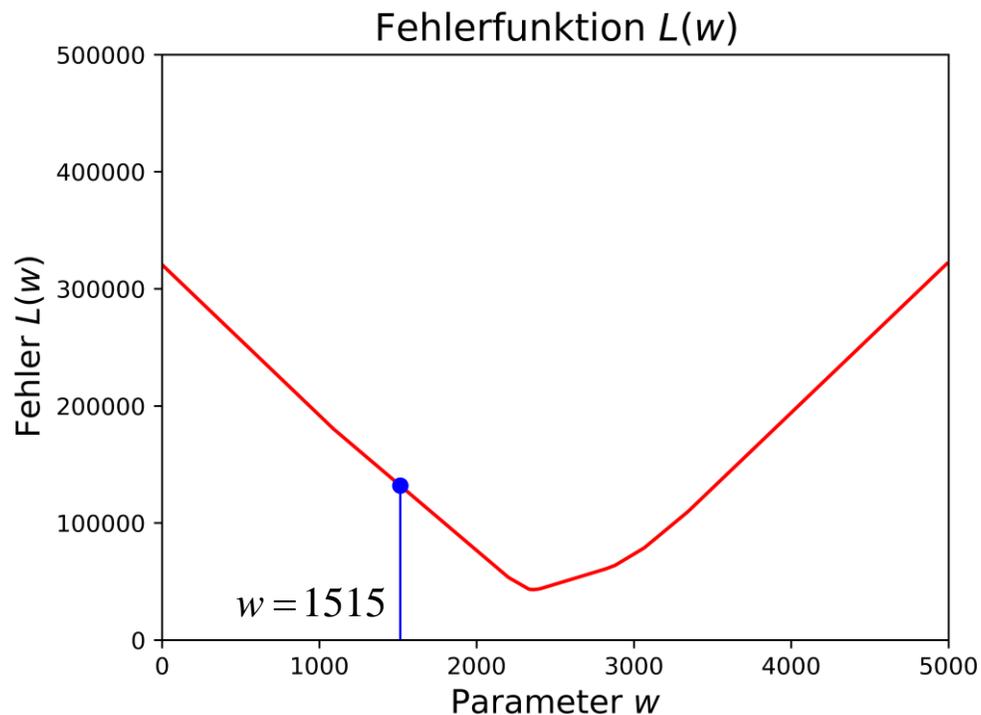
- Aus dieser Beobachtung ergibt sich ein einfacher Algorithmus, um die beste Funktion zu finden:

Lernalgorithmus: 1. $w := \text{zufällige_initialisierung}()$

2. Für $i = 1, \dots, T$:

3. $w := w - \alpha L'(w)$

Beispiel:



Minimierung des Fehlers: Algorithmus

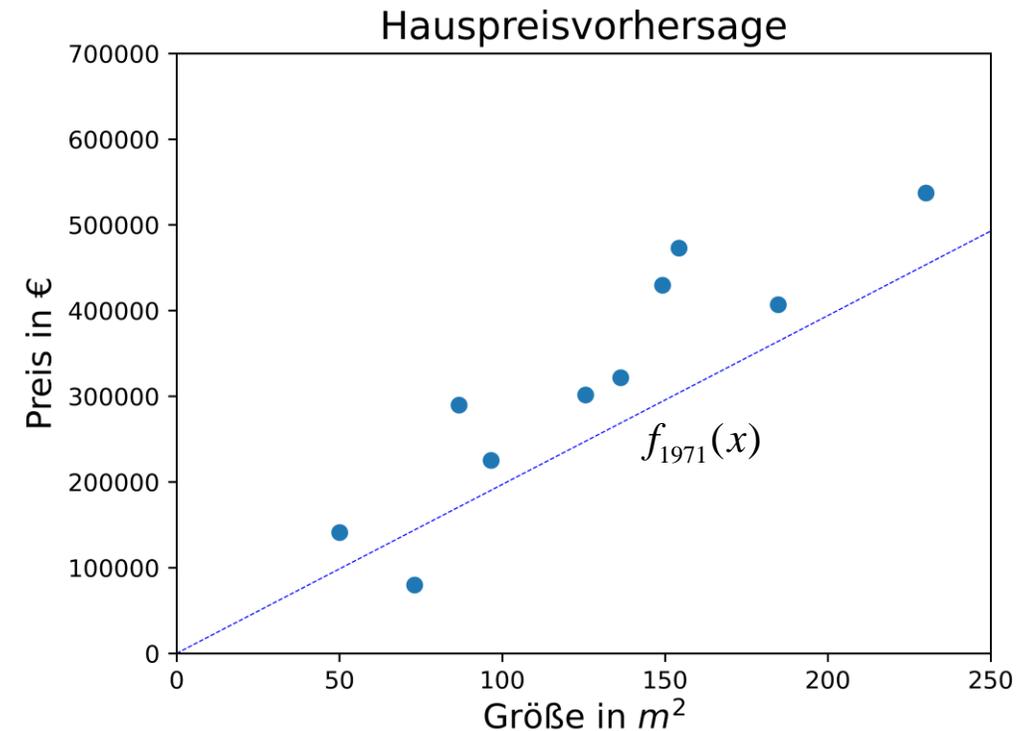
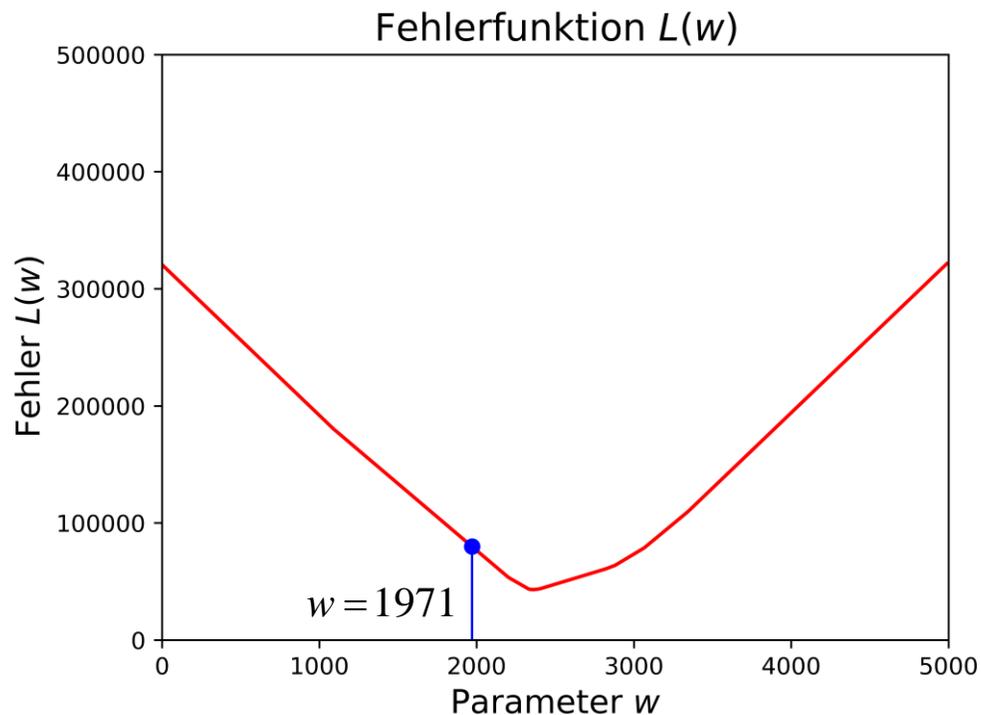
- Aus dieser Beobachtung ergibt sich ein einfacher Algorithmus, um die beste Funktion zu finden:

Lernalgorithmus: 1. $w := \text{zufällige_initialisierung}()$

2. Für $i = 1, \dots, T$:

3. $w := w - \alpha L'(w)$

Beispiel:



Minimierung des Fehlers: Algorithmus

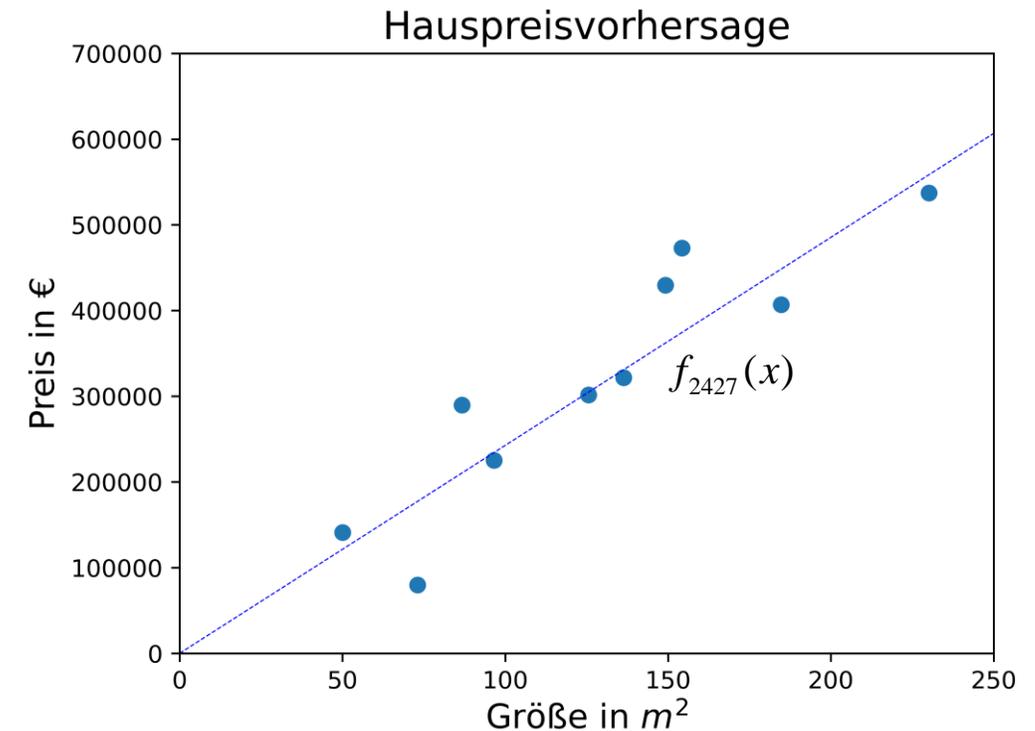
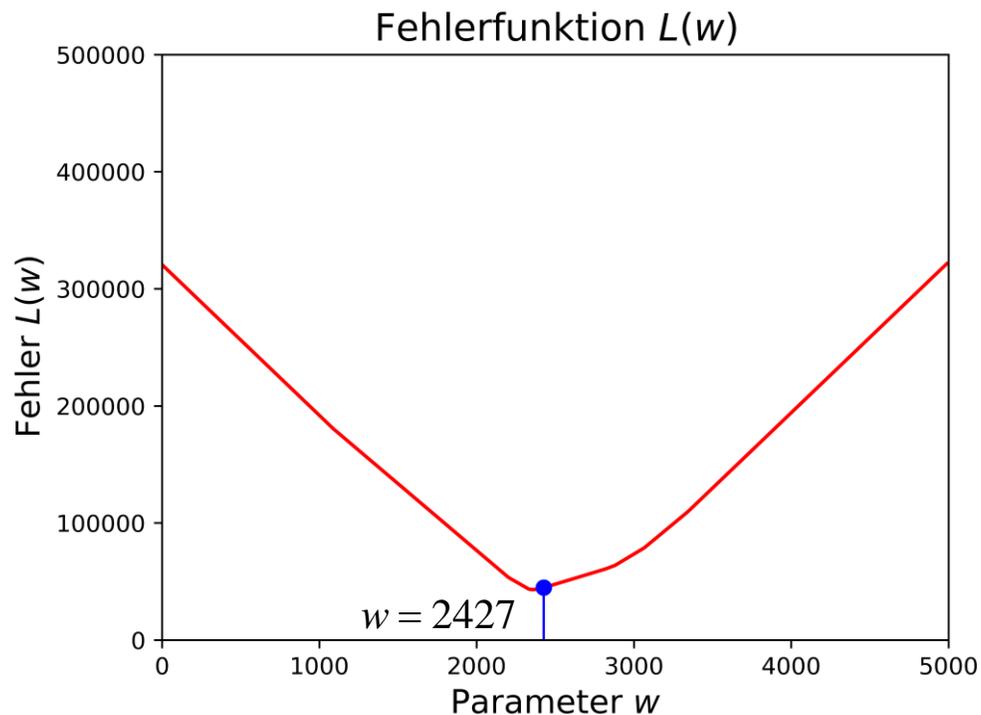
- Aus dieser Beobachtung ergibt sich ein einfacher Algorithmus, um die beste Funktion zu finden:

Lernalgorithmus: 1. $w := \text{zufällige_initialisierung}()$

2. Für $i = 1, \dots, T$:

3. $w := w - \alpha L'(w)$

Beispiel:



Minimierung des Fehlers: Algorithmus

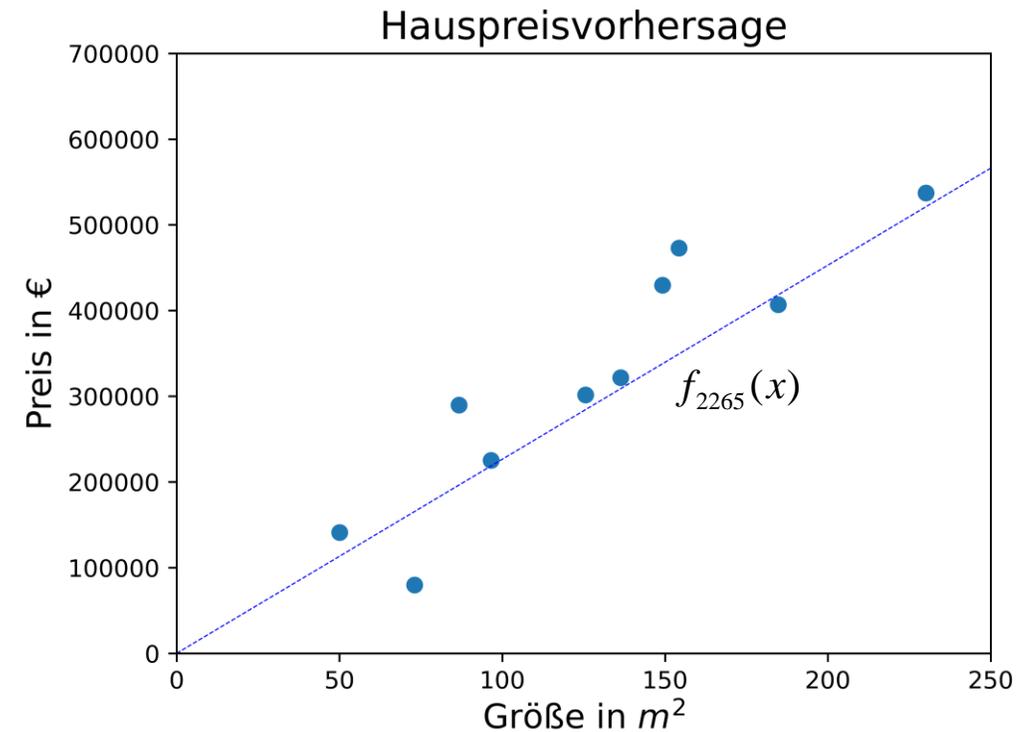
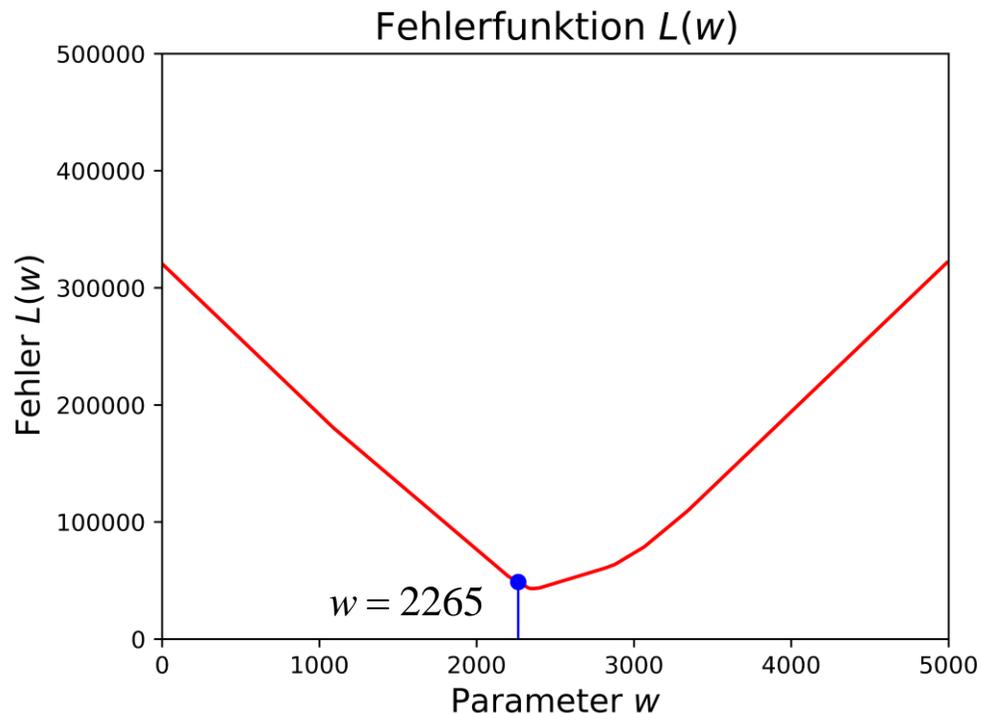
- Aus dieser Beobachtung ergibt sich ein einfacher Algorithmus, um die beste Funktion zu finden:

Lernalgorithmus: 1. $w := \text{zufällige_initialisierung}()$

2. Für $i = 1, \dots, T$:

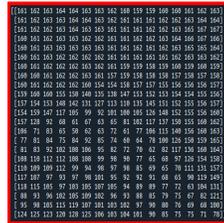
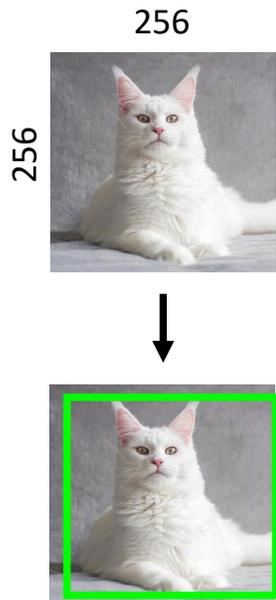
3. $w := w - \alpha L'(w)$

Beispiel:



Von der Hauspreisvorhersage zur Bildverarbeitung

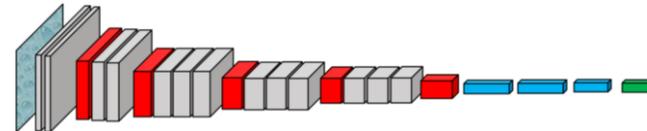
- Was hat das einfache Beispiel „Hauspreisvorhersage“ mit KI und Bildanalyse zu tun?
- Auch im Problem „finde-katze“ ist die Lösung mathematisch gesehen eine Funktion, nur viel komplexer:



(a, b, c, d)

$$\text{Funktion } f_{\mathbf{w}} : \mathbb{R}^{256 \times 256} \rightarrow \mathbb{R}^4$$

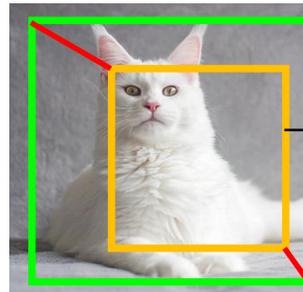
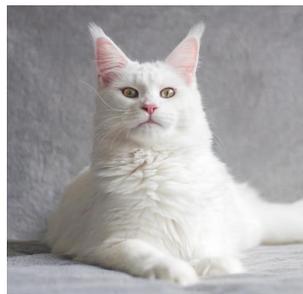
- Eingabe: Bild als Pixelmatrix
- Ausgabe: vier Koordinaten des Rechtecks
- Komplexe, verschachtelte Funktion, beschrieben durch ein sogenanntes neuronales Netz:



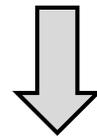
- Viele Parameter in Funktion, beschrieben durch Parametervektor \mathbf{w}

Von der Hauspreisvorhersage zur Bildverarbeitung

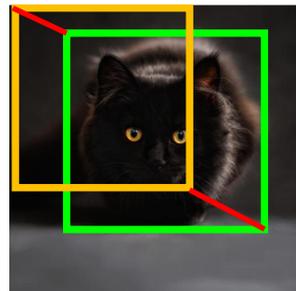
- Wie lernen wir die Funktion „finde-katze“?
- Im Prinzip genauso wie im einfachen Beispiel der Hauspreisvorhersage
 - Für eine gegebene Funktion $f_w(x)$ können wir den Fehler auf den Daten bestimmen
 - Wir können mit dem gleichen einfachen Lernalgorithmus die Funktion mit minimalem Fehler finden



Vorhersage
Funktion
Lösung
Trainingsdaten



Fehlerfunktion $L(\mathbf{w})$



Lernalgorithmus:

1. $\mathbf{w} := \text{zufällige_initialisierung}()$
2. Für $i = 1, \dots, T$:
3. $\mathbf{w} := \mathbf{w} - \alpha L'(\mathbf{w})$

Vektorrechnung

Agenda

- Motivation: Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen
- Wie funktionieren Lernalgorithmen?
- Anwendungen: KI und Bildverarbeitung in der Landwirtschaft

Warum KI in der Landwirtschaft?

- Motivation: warum KI in der Landwirtschaft?
- Trend in der Landwirtschaft in den letzten 50+ Jahren: Industrialisierung
 - Große Felder, große Landmaschinen, homogener Anbau von Hochleistungssorten
 - Gut: hoher Ertrag bei geringen Kosten/Arbeitseinsatz
 - Problematisch: z.T. starker Einsatz von Dünger, Herbiziden, Pestiziden notwendig (Umweltbelastung)



Warum KI in der Landwirtschaft?

- Ein Grund für den starken Verbrauch an Dünger/Pestiziden/Herbiziden ist, dass man in der industrialisierten Landwirtschaft sehr uniforme Prozesse braucht
 - Es wird überall im Feld gleich viel Dünger ausgebracht, so dass jede Pflanze genug hat
 - Es werden preventiv Herbizide und Pestizide ausgebracht, um Krankheitsausbrüche zu verhindern
 - Die Prozesse sind nicht „präzise“, d.h. wenig auf den lokalen Zustand der Pflanzen zugeschnitten

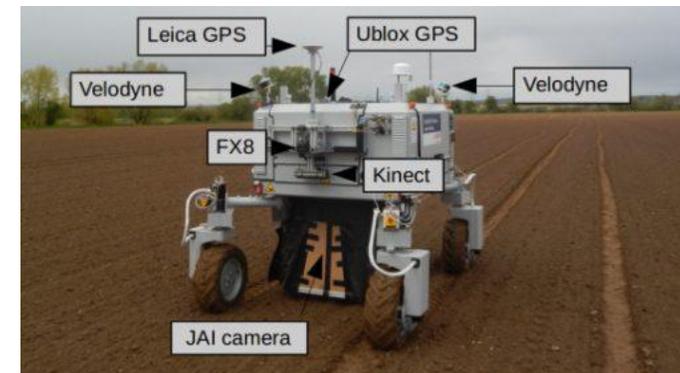


Mit KI zur Präzisionslandwirtschaft

- Idee: Mit KI zur „Präzisionslandwirtschaft“
 - Sensorik und KI-Methoden sollen den aktuellen Zustand von Feldern/Pflanzen genau erfassen
 - „Intelligente“ Maschinen sollen eine präzise auf den Zustand zugeschnittene Bewirtschaftung erlauben
 - Dadurch kann z.B. Einsatz von Dünger/Pestiziden/Herbiziden reduziert werden



Industrielle Landwirtschaft: uniforme Prozesse



Präzisionslandwirtschaft: individuellere Bewirtschaftung

Beispiel: Gelbrosterkennung

- **Beispiel: Bildanalyse zur Gelbrosterkennung beim Weizen**
 - Gelbrost ist eine Pilzerkrankung, die vor allem Weizen betrifft
 - Eine Infektion zeigt sich durch gelbliche Verfärbungen an der Pflanze
- Wir können Bildanalyse verwenden, um Gelbrost automatisiert und pflanzenspezifisch zu erfassen
- Fungizide müssten dann nur noch dort ausgebracht werden, wo wirklich eine Erkrankung ausgebrochen ist



Bildaufnahme



Bildanalyse: Erkrankung



Gesunde Pflanze

Beispiel: Automatisierte Unkrautkartierung

- **Beispiel: automatische Kartierung des Unkrautbefalls auf dem Feld**
- Was wächst wo auf dem Feld?

Luftaufnahme Feld mit Drohne



Bildanalyse: Welche Pflanzenarten wachsen auf dem Feld?



Weizen



Kamille



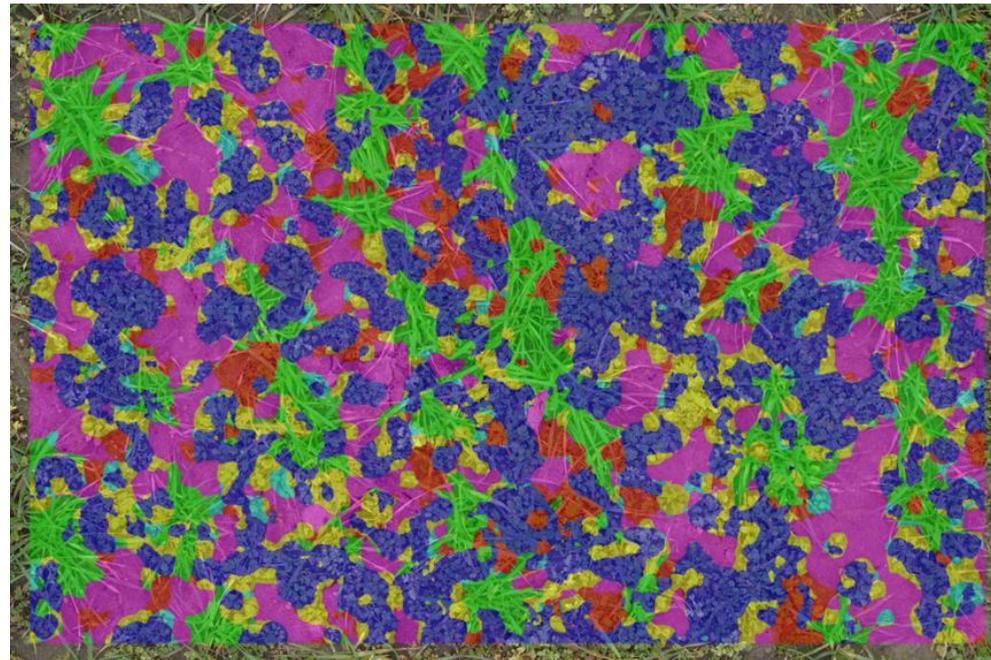
Beispiel: Automatisierte Unkrautkartierung

- **Beispiel: automatische Kartierung des Unkrautbefalls auf dem Feld**
- Was wächst wo auf dem Feld?

Luftaufnahme Feld mit Drohne



Bildanalyse: Welche Pflanzenarten wachsen auf dem Feld?



Kartierung:

„Weizen“

„Freier Boden“

„Unkraut A“

„Unkraut B“

„Unkraut C“

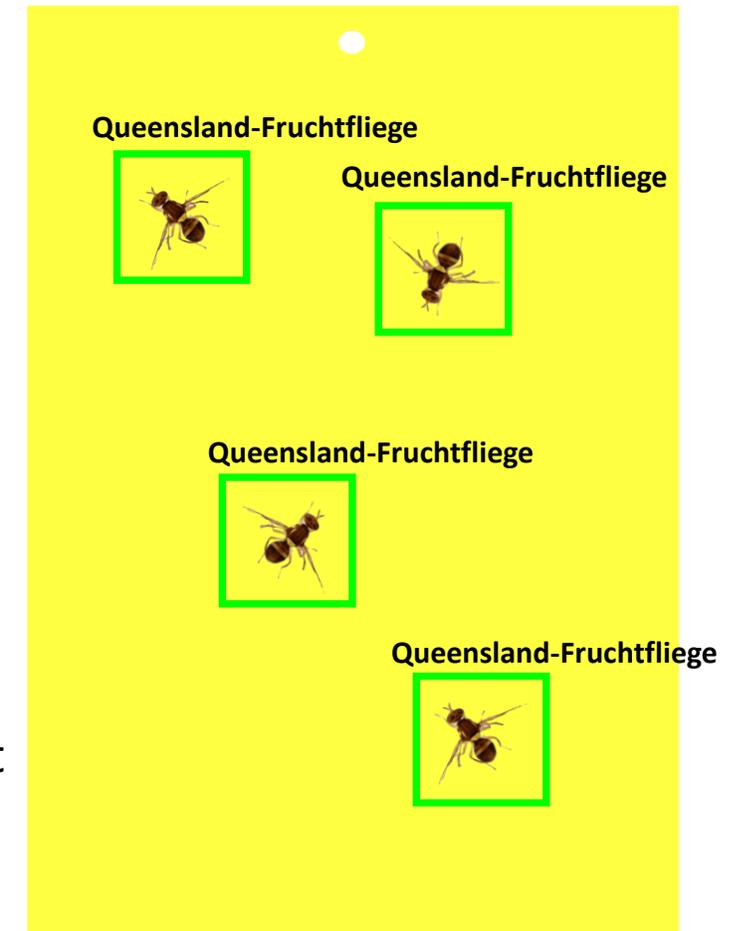
„Unkraut D“

Ziel:

Entscheidungs-
unterstützung

Beispiel: Bildanalyse zur Insektenerkennung

- **Beispiel: Bildanalyse zur Insektenerkennung**
- Gemeinsames Projekt mit Partnern in Afrika (z.B. Ghana, Burkina Faso)
- Bestimmte Insektenarten bedrohen dort als Schädlinge landwirtschaftliche Erträge
- Zur Messung der Insektenverbreitung werden sog. „Gelbtafeln“ aufgestellt, mit denen die Insekten gefangen werden
- Wir arbeiten gemeinsam mit Partnern vor Ort an einer intelligenten App für Mobiltelefone, die ein Bild der Gelbtafel aufnimmt und damit automatisch Art und Anzahl der auftretenden Insekten bestimmt
- Werkzeug für Landwirte, um vor Ort die Bedrohung durch Schädlinge zu messen und ggf. Gegenmaßnahmen treffen zu können



Beispiel: Robotik zur Unkrautbekämpfung

- Beispiel: Roboter zur Unkrautbekämpfung
- Idee: Manuelle Entfernung von Unkräutern statt chemische Bekämpfung (Herbizide)
 - Bildanalyse, um Unkräuter zu erkennen und von Nutzpflanzen zu unterscheiden
 - Unkräuter werden zur Bekämpfung in den Boden gestampft



Beispiel: Automatisierung der Erdbeerernte

- Beispiel: Automatisierung der Erdbeerernte (Startup „Agrobot“)

Video: Agrobot (used with permission)



Bildanalyse zur Erkennung
und Lokalisation der Früchte,
mechanisches Pflücken
durch Roboterarm

Agenda

- Motivation: Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen
- Wie funktionieren Lernalgorithmen?
- Anwendungen: KI und Bildverarbeitung in der Landwirtschaft