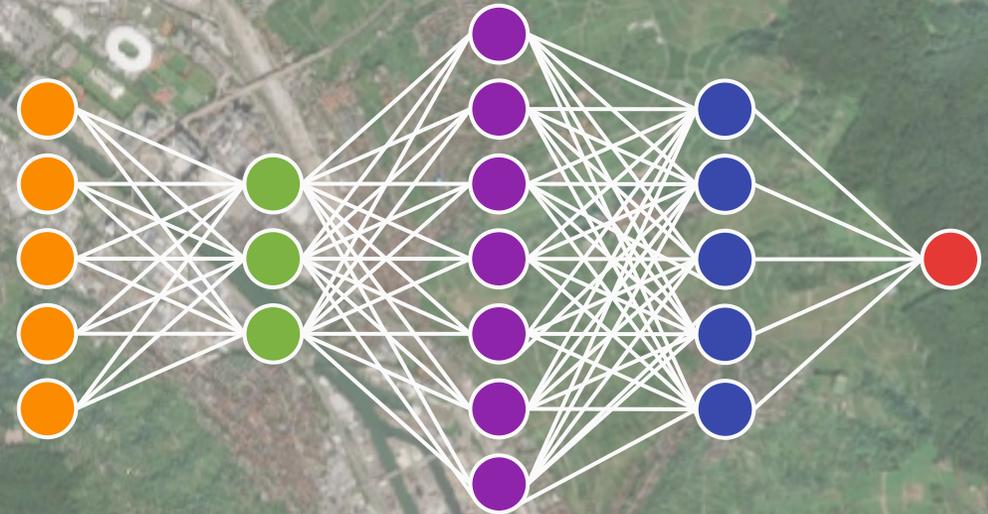


KI in der Fernerkundung

Michael Mommert

Universität St. Gallen (ab März: HFT Stuttgart)



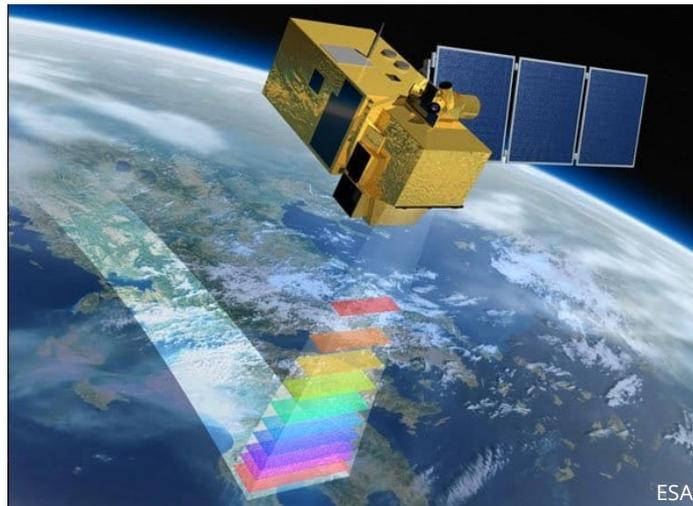
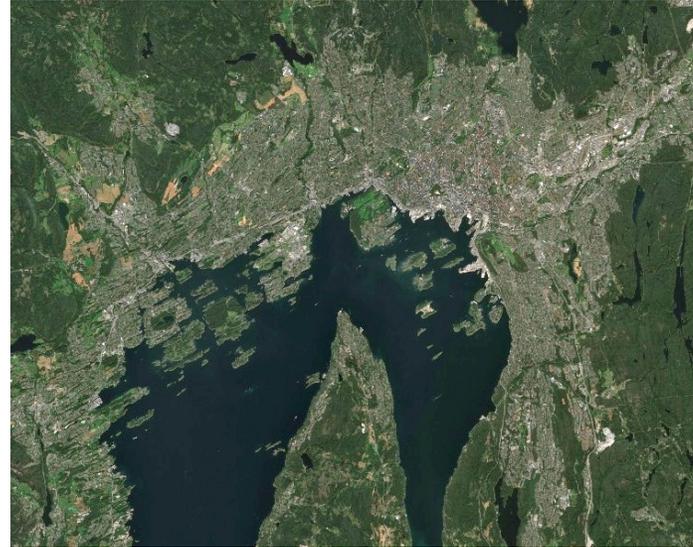
Satelliten-Erdbeobachtung

Satellitenkonstellationen liefern **hochkomplexe Daten**: für (fast) jeden Punkt der Erde liefern sie multimodale Zeitreihendaten.

Als Beispiel: das *Copernicus* Programm der ESA generiert **jeden Tag 25 TB Rohdaten**; 250 TB werden täglich an Endnutzer verteilt.

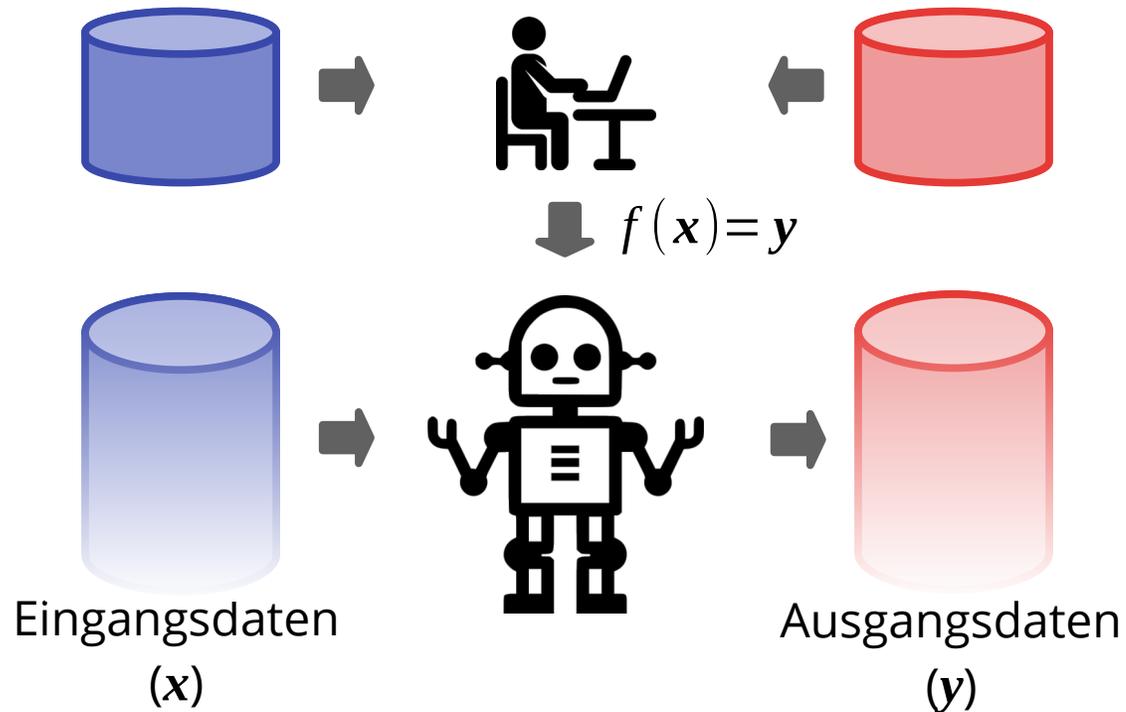
Die systematische Analyse solcher Datenmengen verlangt Methoden die **flexibel** sind und gut **skalieren**.

In den letzten Jahren hat sich hierbei das tiefe Neuronale Lernen ("**Deep Learning**") – ein vielversprechender Lernansatz aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) – als besonders erfolgreich erwiesen.



Deep Learning? Maschinelles Lernen?

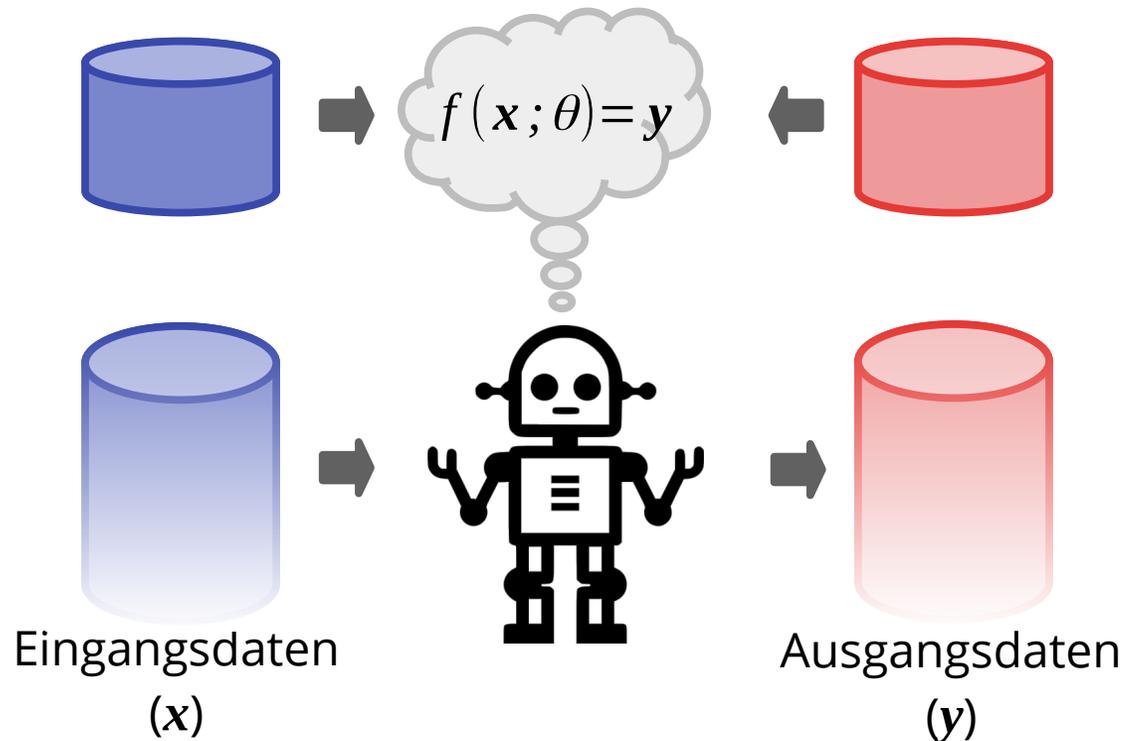
Computer müssen programmiert werden um eine Aufgabe zu erledigen:



Deep Learning? Maschinelles Lernen?

Computer müssen programmiert werden um eine Aufgabe zu erledigen.

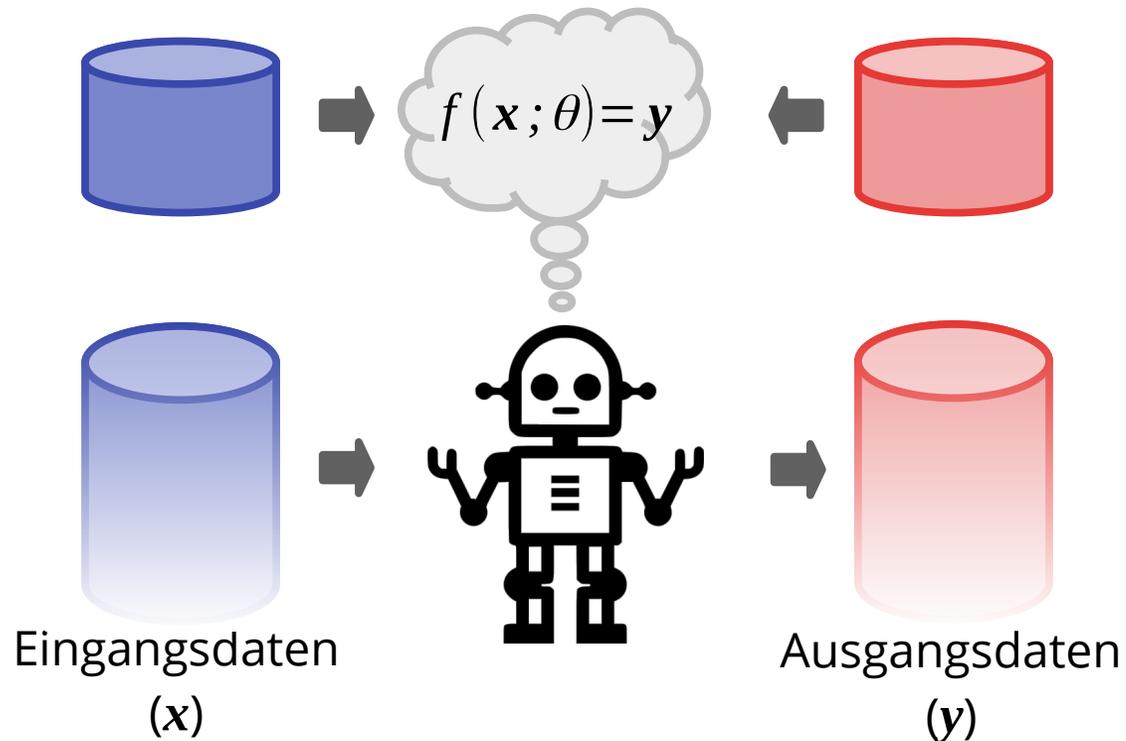
Beim Maschinellen Lernen lernt der Computer aus **Beispielen**:



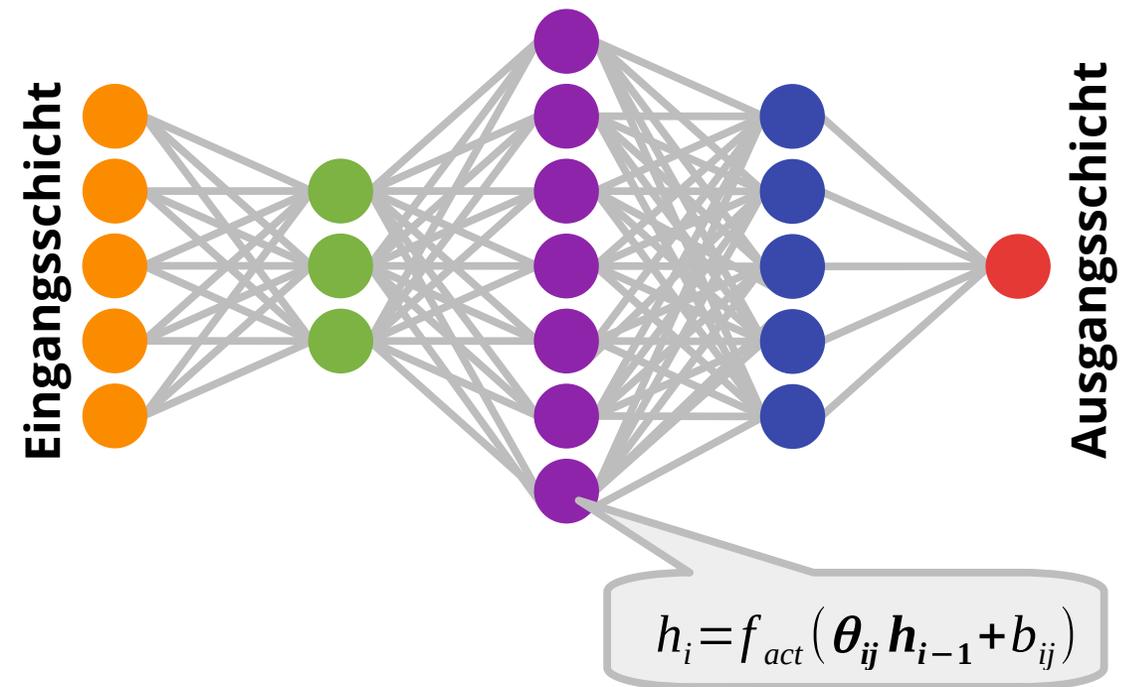
Deep Learning? Maschinelles Lernen?

Computer müssen programmiert werden um eine Aufgabe zu erledigen.

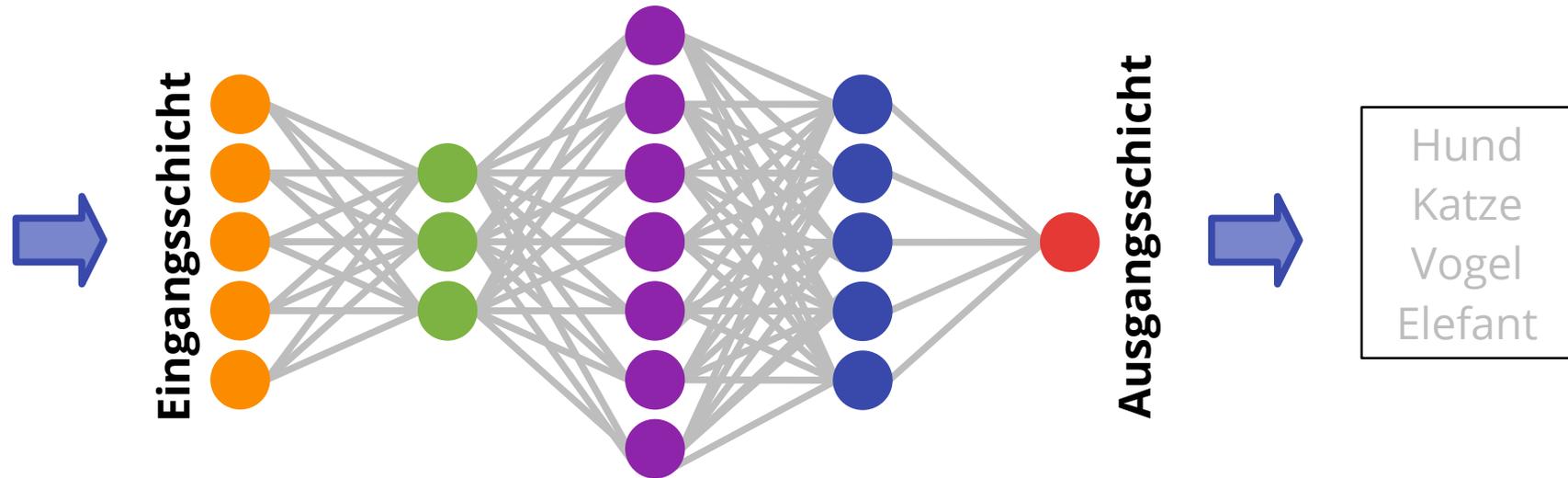
Beim Maschinellen Lernen lernt der Computer aus **Beispielen**:



Beim Deep Learning ist das Modell (f) ein tiefes **Neuronales Netzwerk**: Neuronen, die in mehreren Schichten angeordnet sind, verarbeiten die Eingangsdaten schrittweise durch (relativ simple) mathematische Operationen:

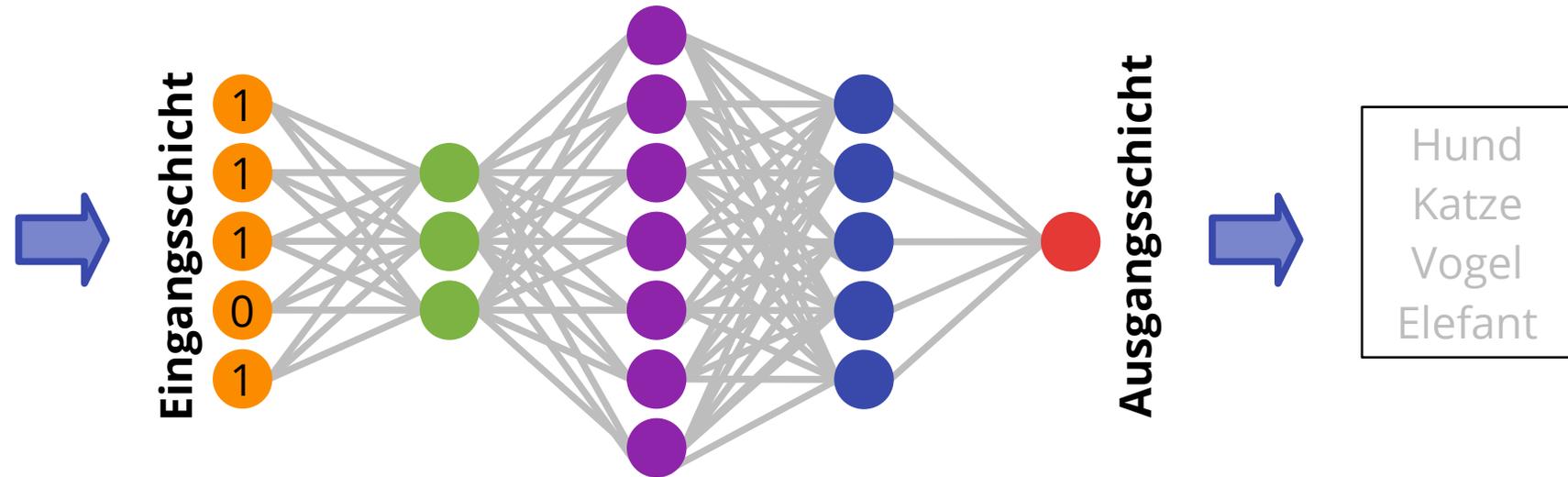


Wie funktioniert Deep Learning?



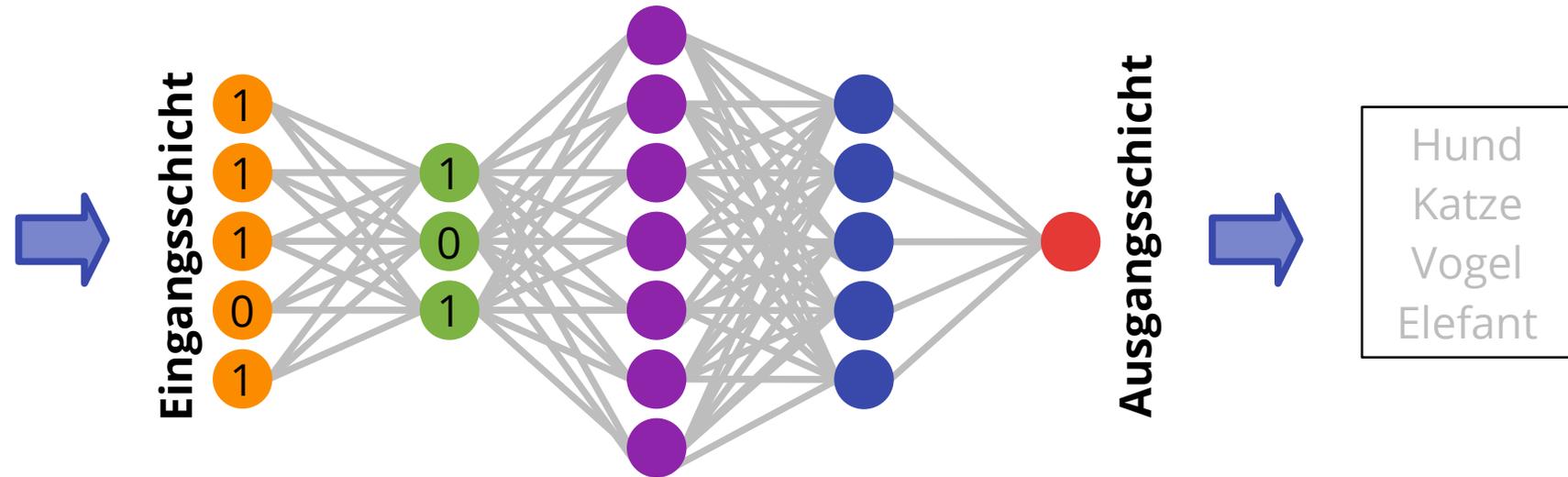
Beim Deep Learning werden die Rohdaten durch die einzelnen Neuronen verarbeitet. Unter bestimmten Bedingungen geben diese ein Signal an die Neuronen der nachfolgenden Schicht weiter, bis die Ausgangsschicht erreicht ist. Diese gibt das Ergebnis aus.

Wie funktioniert Deep Learning?



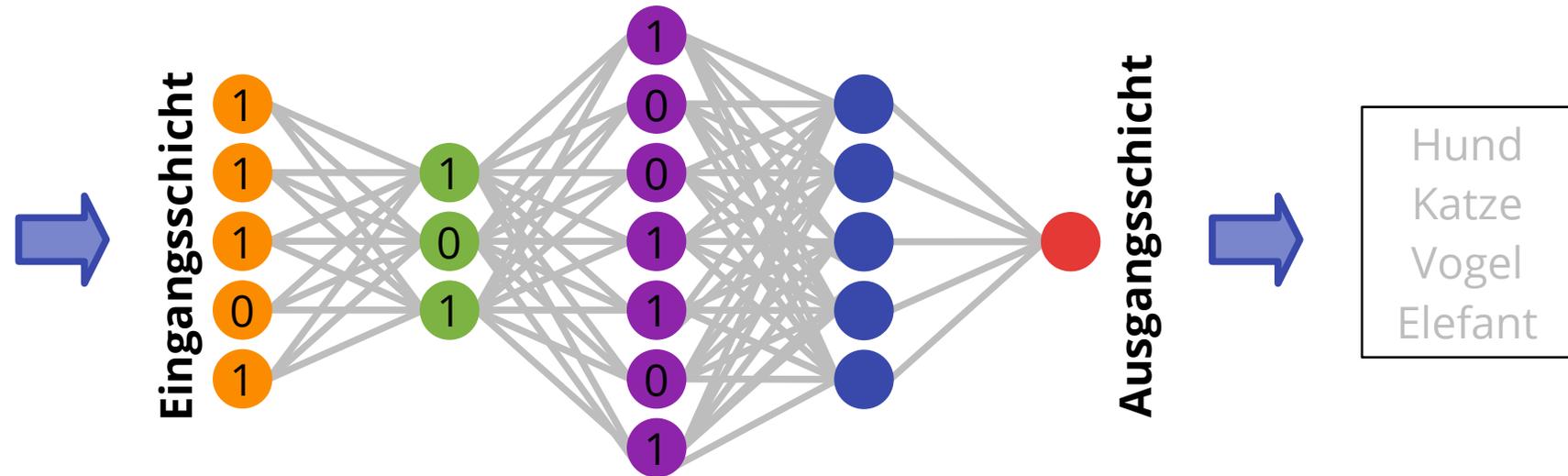
Beim Deep Learning werden die Rohdaten durch die einzelnen Neuronen verarbeitet. Unter bestimmten Bedingungen geben diese ein Signal an die Neuronen der nachfolgenden Schicht weiter, bis die Ausgangsschicht erreicht ist. Diese gibt das Ergebnis aus.

Wie funktioniert Deep Learning?



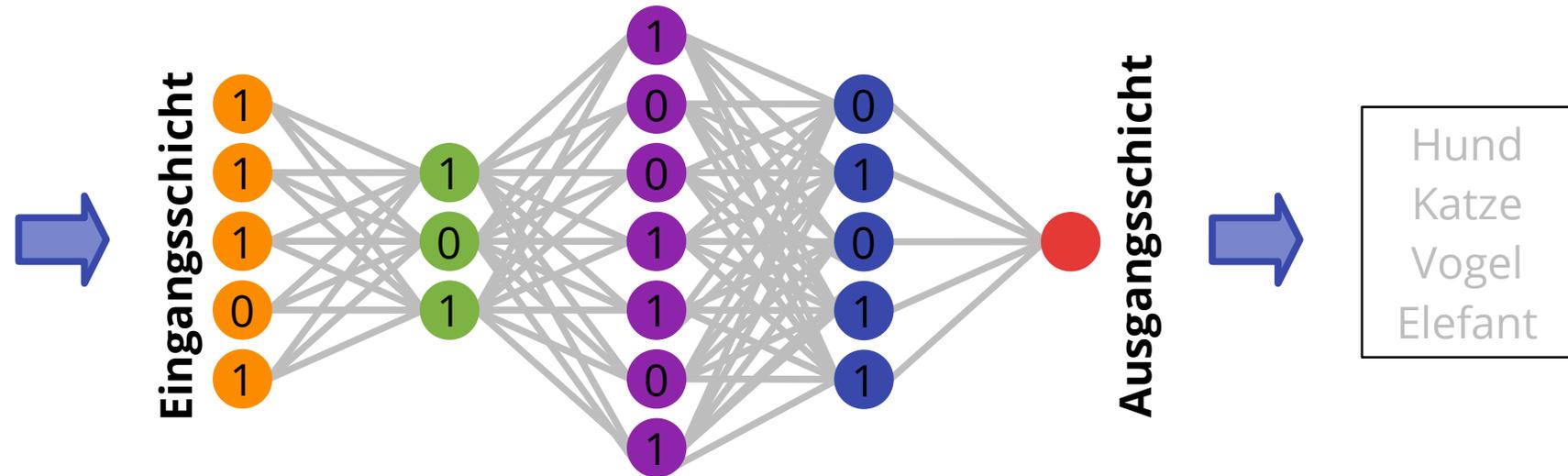
Beim Deep Learning werden die Rohdaten durch die einzelnen Neuronen verarbeitet. Unter bestimmten Bedingungen geben diese ein Signal an die Neuronen der nachfolgenden Schicht weiter, bis die Ausgangsschicht erreicht ist. Diese gibt das Ergebnis aus.

Wie funktioniert Deep Learning?



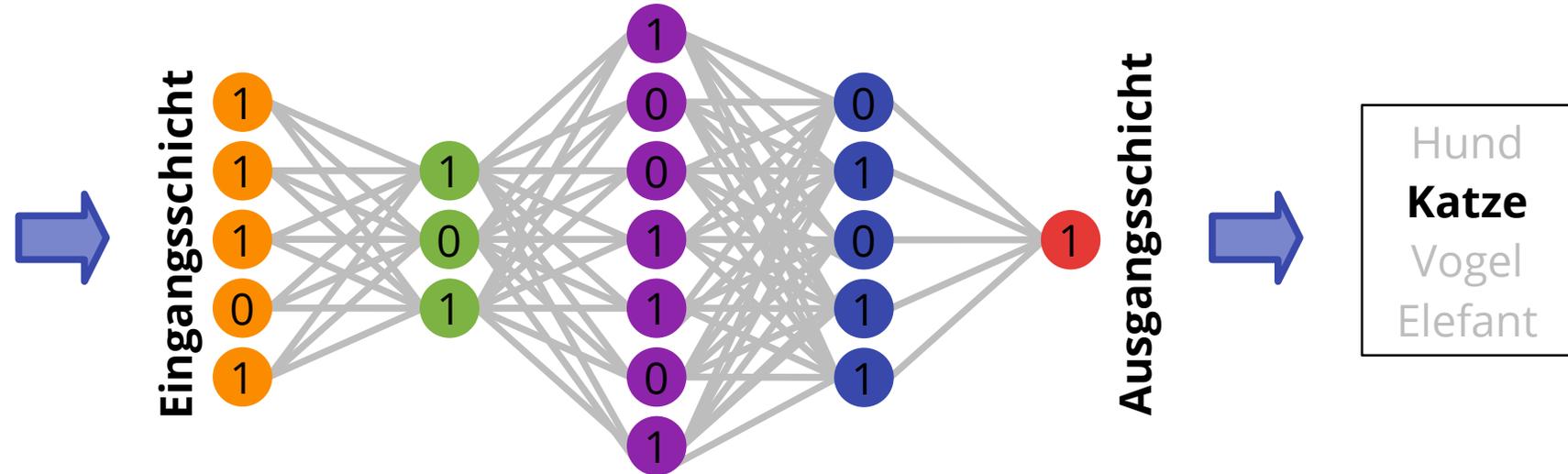
Beim Deep Learning werden die Rohdaten durch die einzelnen Neuronen verarbeitet. Unter bestimmten Bedingungen geben diese ein Signal an die Neuronen der nachfolgenden Schicht weiter, bis die Ausgangsschicht erreicht ist. Diese gibt das Ergebnis aus.

Wie funktioniert Deep Learning?



Beim Deep Learning werden die Rohdaten durch die einzelnen Neuronen verarbeitet. Unter bestimmten Bedingungen geben diese ein Signal an die Neuronen der nachfolgenden Schicht weiter, bis die Ausgangsschicht erreicht ist. Diese gibt das Ergebnis aus.

Wie funktioniert Deep Learning?

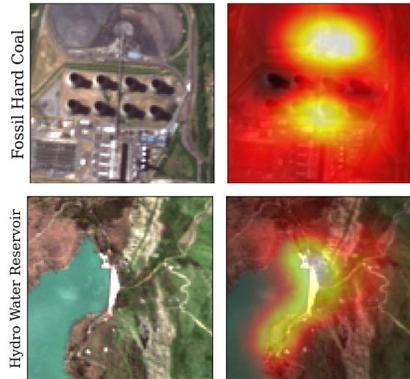


Beim Deep Learning werden die Rohdaten durch die einzelnen Neuronen verarbeitet. Unter bestimmten Bedingungen geben diese ein Signal an die Neuronen der nachfolgenden Schicht weiter, bis die Ausgangsschicht erreicht ist. Diese gibt das Ergebnis aus.

Anders als beim traditionellen Maschinellen Lernen müssen die Rohdaten nicht aufwendig aufbereitet werden ("End-to-end Learning").

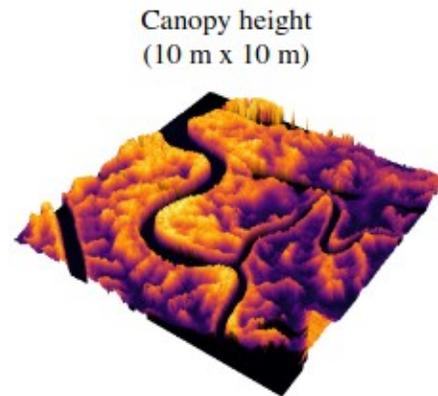
Deep Learning in der Fernerkundung

Deep Learning hat bereits viele Anwendungen in der Fernerkundung gefunden:



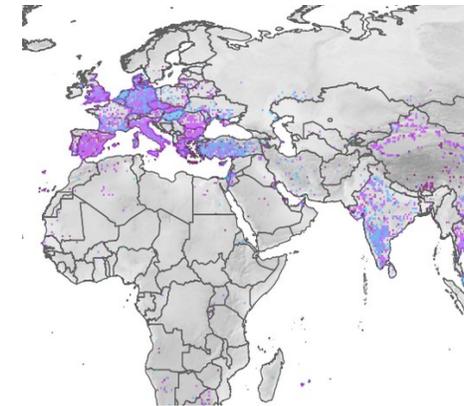
Bildklassifizierung

Mommert et al. 2021:
Erkennung
unterschiedlicher
Kraftwerkstypen



Regression

Lang et al. 2019:
Abschätzung der
Vegetationshöhe



Bildsegmentierung

Kruitwagen et al. 2021:
Globale Inventur von
Solaranlagen (>10kW)



Objekterkennung

Blattner et al. 2021: LKW-
Detektion und
Verkehrszählung in der
Schweiz

Schauen wir uns ein weiteres Beispiel im Detail an, welches viele dieser Aspekte kombiniert...

Deep Learning: Ein Anwendungsbeispiel



Der Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen ist ein notwendiger Schritt um dem Klimawandel entgegenzutreten. Für die Überwachung des Ausstiegs werden Daten benötigt, die gerade auf globaler Skala nicht immer verfügbar sind.

Fragestellung: Können wir die Aktivität von fossilen Kraftwerken mit (frei) verfügbaren Satelliten- und anderen Daten überwachen?

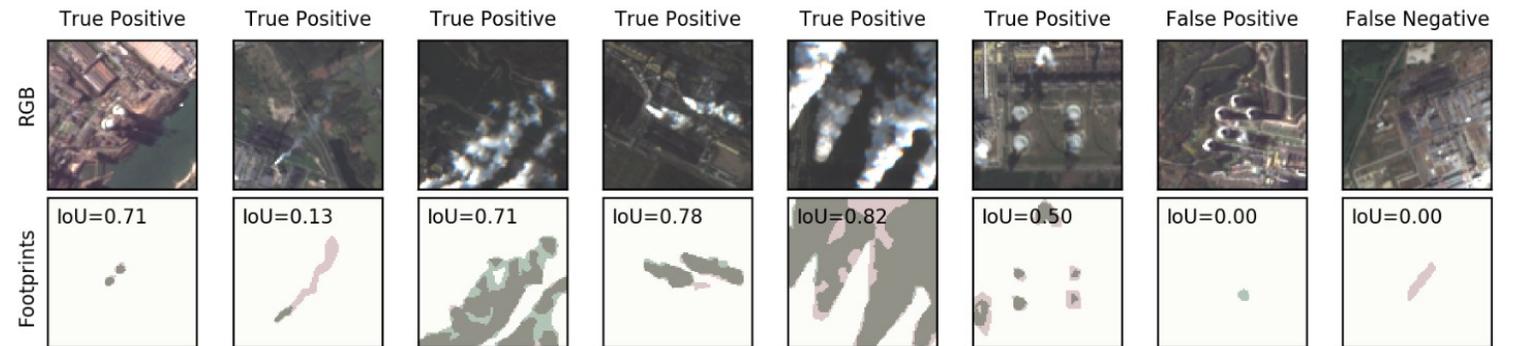


Deep Learning: Ein Anwendungsbeispiel



Der Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen ist ein notwendiger Schritt um dem Klimawandel entgegenzutreten. Für die Überwachung des Ausstiegs werden Daten benötigt, die gerade auf globaler Skala nicht immer verfügbar sind.

Fragestellung: Können wir die Aktivität von fossilen Kraftwerken mit (frei) verfügbaren Satelliten- und anderen Daten überwachen?



Unser Modell / Ground-truth (Mommert et al. 2021)

Ja, wir können Wolken über Kühltürmen sehen und segmentieren.

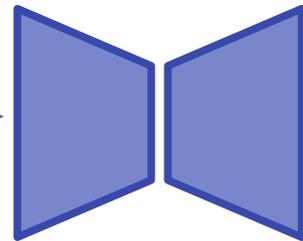
Können wir diese Information nutzen um die Stromproduktion abzuschätzen?

Abschätzung der Stromproduktion: Baseline

~3000 Beobachtungen
von ~150 Kraftwerken

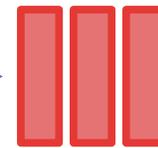


Sentinel-2
12 Bänder



“Backbone”
(U-Net)

Regressionskopf



Strom-
produktion

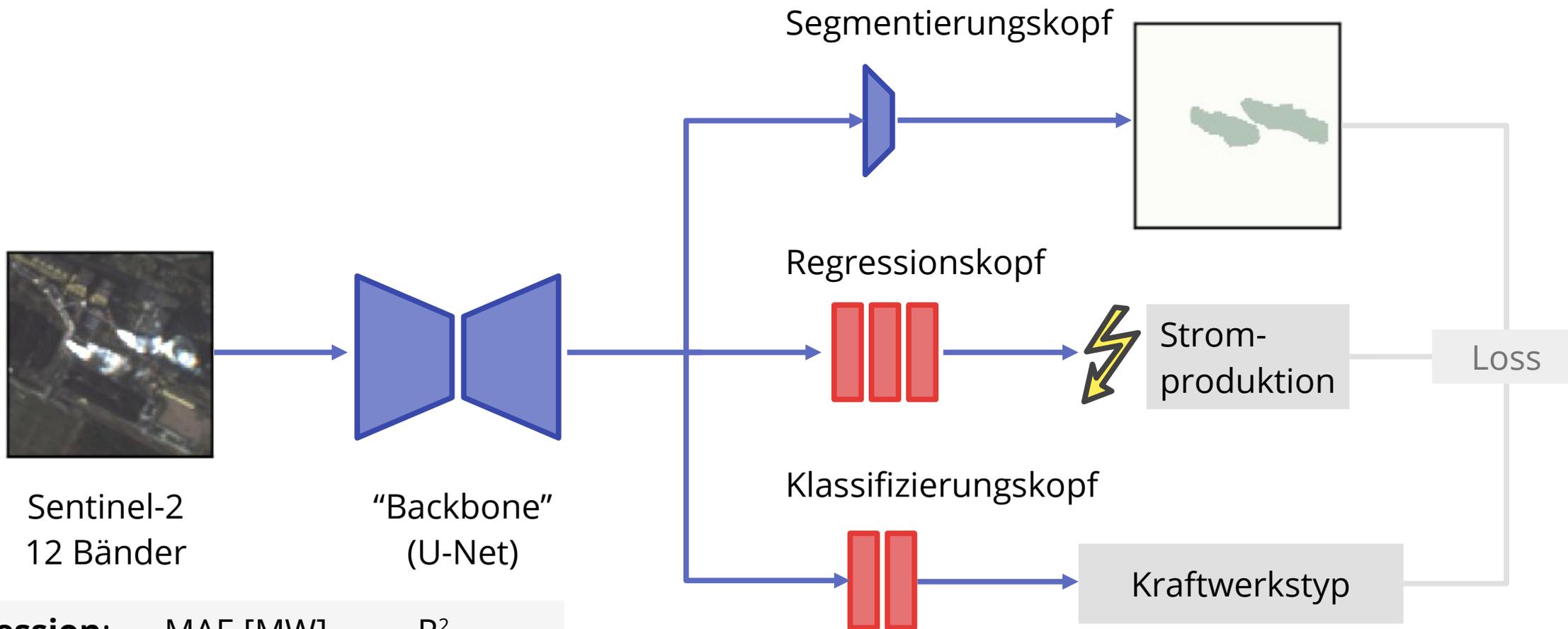
Loss

Ground-truth: ENTSO-E

Regression:	MAE [MW]	R ²
Baseline:	202±20	65±5

Wir können die Stromproduktion grob abschätzen.
Aber geht das noch besser?

Abschätzung der Stromproduktion: Multitask Learning

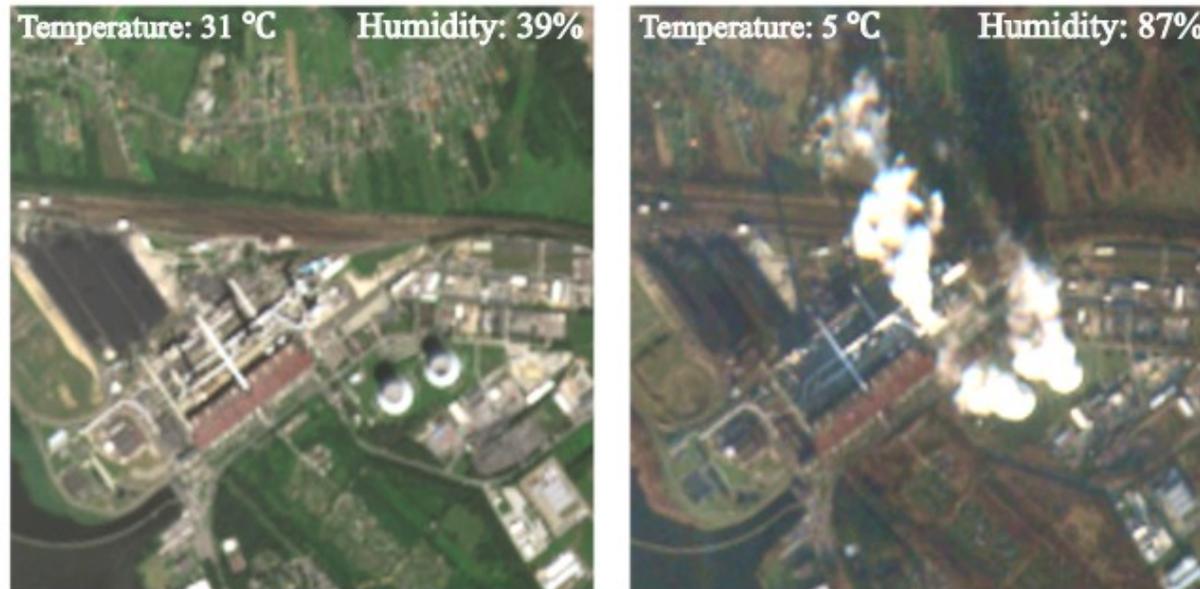


Regression:	MAE [MW]	R ²
Baseline:	202±20	65±5
Multitask:	187±4	66±6

Multitask Learning verbessert die Abschätzung der Stromproduktion etwas. Aber es geht noch besser...

Abschätzung der Stromproduktion: Physikalische Intuition

Abhängig vom Wetter erscheinen Wasserdampfwolken über Kraftwerken ganz unterschiedlich:

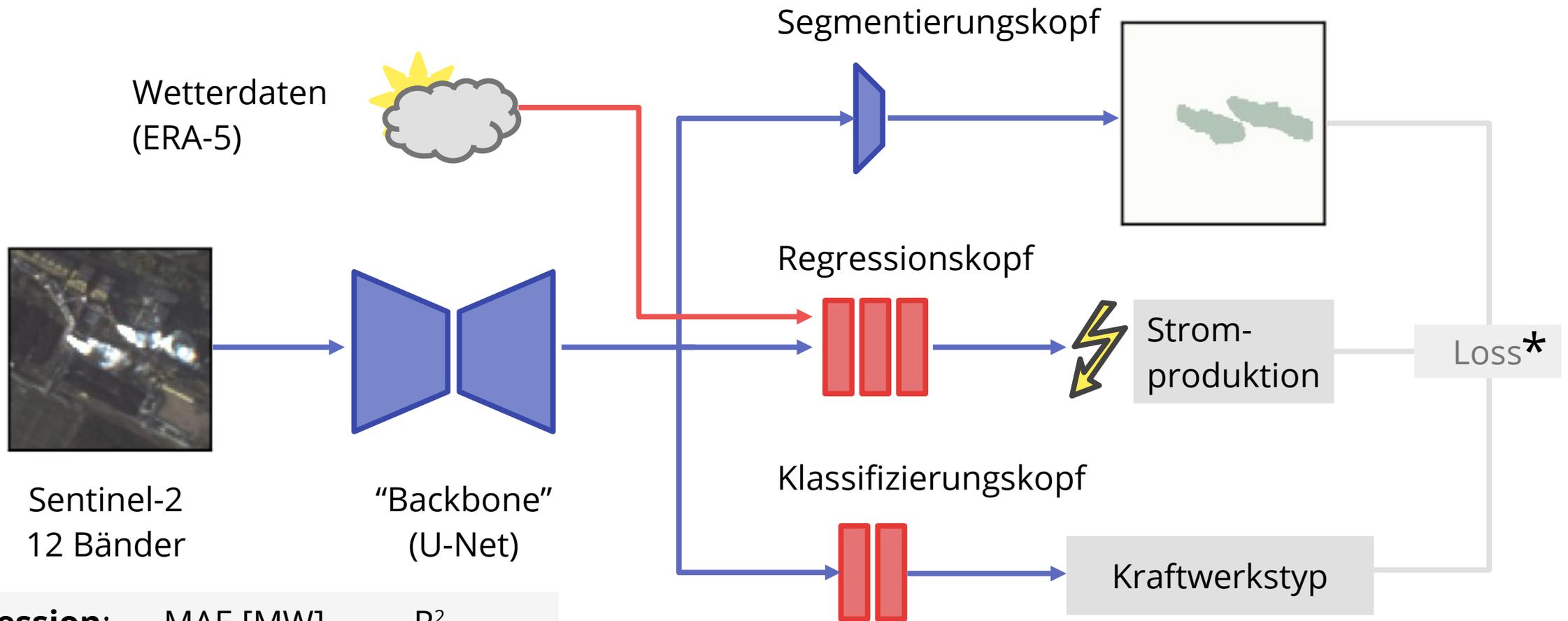


Dasselbe Kraftwerk beobachtet zu unterschiedlichen Jahreszeiten bei ähnlicher Stromproduktion.

Wir können unser Modell unterstützen indem wir ihm etwas Physik beibringen:

- zusätzlich zu den Satellitenbilddaten geben wir ihm **Wetterdaten** zum Zeitpunkt der Beobachtung, und
- wir **modifizieren die Loss-Funktion** um einen empirischen Term um physikalische Grenzen zu erlernen.

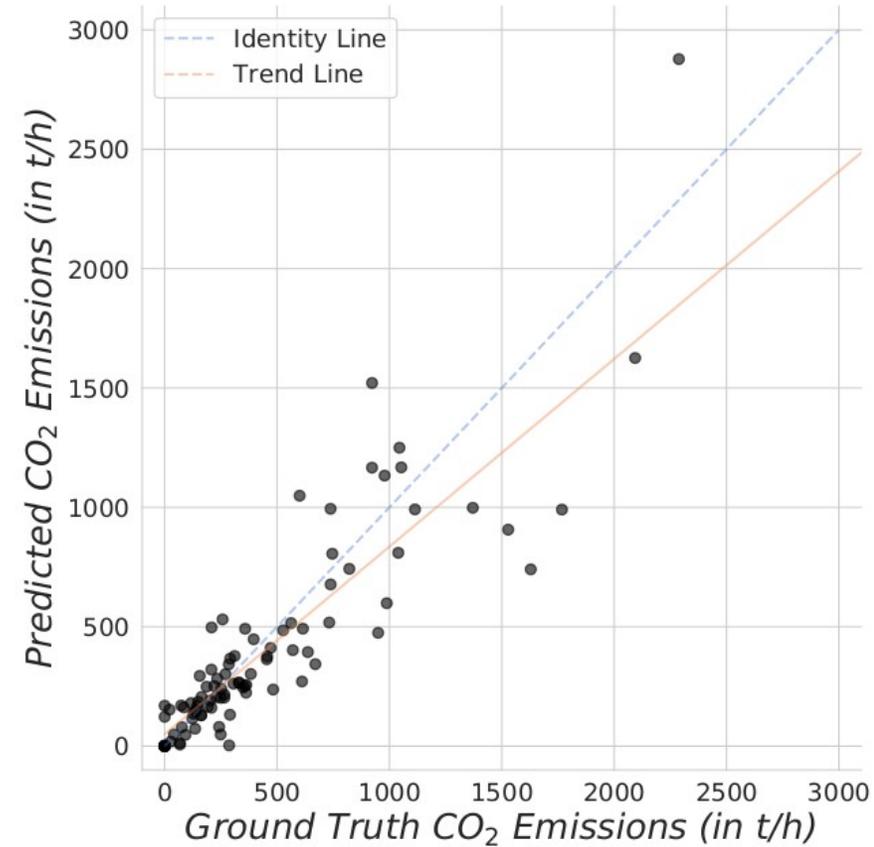
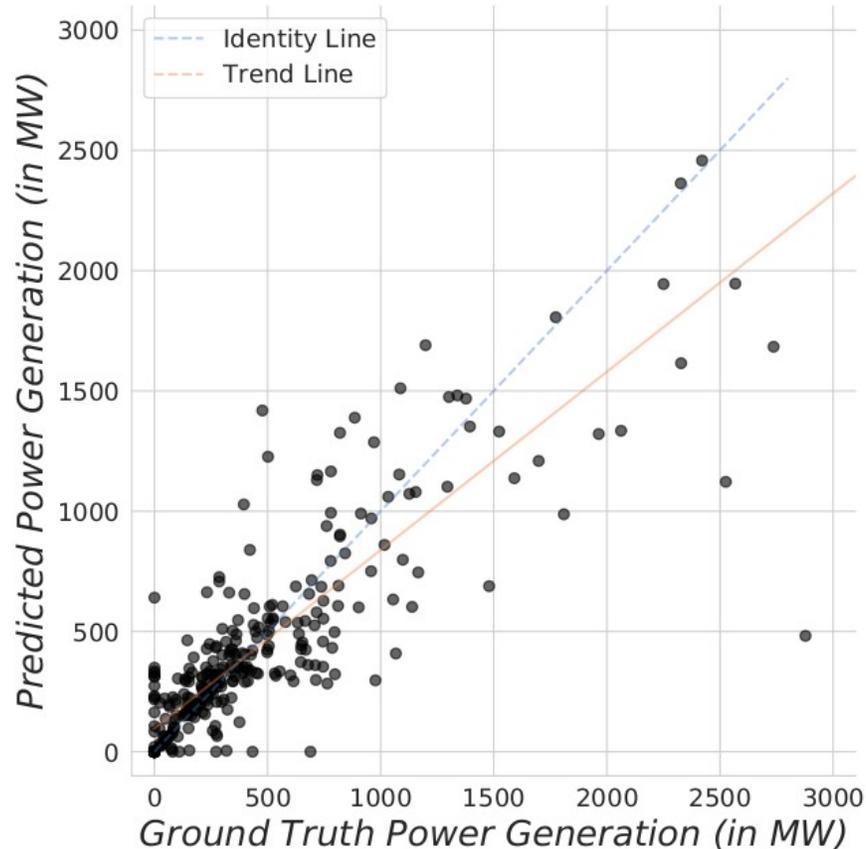
Abschätzung der Stromproduktion: Physik



Regression:	MAE [MW]	R ²
Baseline:	202±20	65±5
Multitask:	187±4	66±6
+ Physik:	157±4	78±3

Das Modell erzeugt nun deutlich bessere Ergebnisse, da es zusätzliche Information und Randbedingungen zur Verfügung hat.

Abschätzung der Stromproduktion: Ergebnisse



Hanna, J.,
Mommert, M.,
Borth, D.,
“Physics-Guided
Multitask
Learning for
Estimating
Power
Generation and
CO₂ Emissions
from Satellite
Imagery”, TGRS,
Vol. 61, 2023

Zusätzlich zur Stromproduktion können wir auch den CO₂-Ausstoß der Kraftwerke abschätzen.

Durch die freie Verfügbarkeit aller verwendeter Daten können wir dieses Modell **global** anwenden!

Was bringt die Zukunft?

Deep Learning erlaubt eine **äusserst flexible und skalierbare Herangehensweise** an Probleme der Fernerkundung - und darüberhinaus.

In Zukunft können wir erwarten, dass **noch mehr Daten** (besser räumliche, zeitliche und spektrale Auflösung) **unterschiedlichster Datenmodalitäten** zur Verfügung stehen werden. Dadurch wird Deep Learning als Werkzeug immer wichtiger werden.

Um dem Endnutzer den Zugang zu entsprechend aufbereiteten Daten zu ermöglichen werden **ausgereifte Anwendungen** benötigt, die in der Regel massgeschneidert implementiert sein müssen.

Die Vermittlung des hierfür notwendigen Wissens wird ab März auch direkt hier an der **Hochschule für Technik Stuttgart** erfolgen!

