

# *Estimating the impact of Wi-Fi hotspot access links on end-to-end throughput using machine learning mechanisms*

*Constantin Eiling; Dr. Andreas Grebe*

wiam.tools



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Forschungsprojekt wiam.tools

## Wi-Fi Intelligent Analysis Measurement Tools – wiam.tools

- **Einfluss** von **Wi-Fi-Zugangsnetzen** auf Netzwerk Benchmarking Tests (Fokus auf Datendurchsatzmessung)
- Ist das genutzte **Wi-Fi-Netz** das **limitierende** Netzsegment in der **Ende-zu-Ende Datendurchsatzmessung**?
- Wie kann eine solche **Limitierung** durch das **Wi-Fi-Netz** technisch erkannt werden?

wiam.tools



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# wiam.tools **Anwendungsgebiete**

## Netzwerk Monitoring Lösungen – Eigenständige Hardware Messsensoren



- Kontinuierliches Benchmarking von größeren Wi-Fi-Netzen (z.B. öffentlicher Hotspots)
- QoS-Monitoring für den Netzbetreiber aus Endkundenperspektive
- Aussage pro Durchsatzmessung:  
Limitiert das **lokale Wi-Fi Netz** oder **nachgelagerte Netze?**



DB System GmbH

Assoziierter Partner

WiFi@DB

## Ansatz:

Erkennung der **Wi-Fi-Verbindung** als **limitierendes Netzsegment** bei der **Datendurchsatzmessung** (Download) mit Hilfe von **Verbindungsparametern der Wi-Fi-Schnittstelle**

# IEEE802.11 PHY Linkspeed

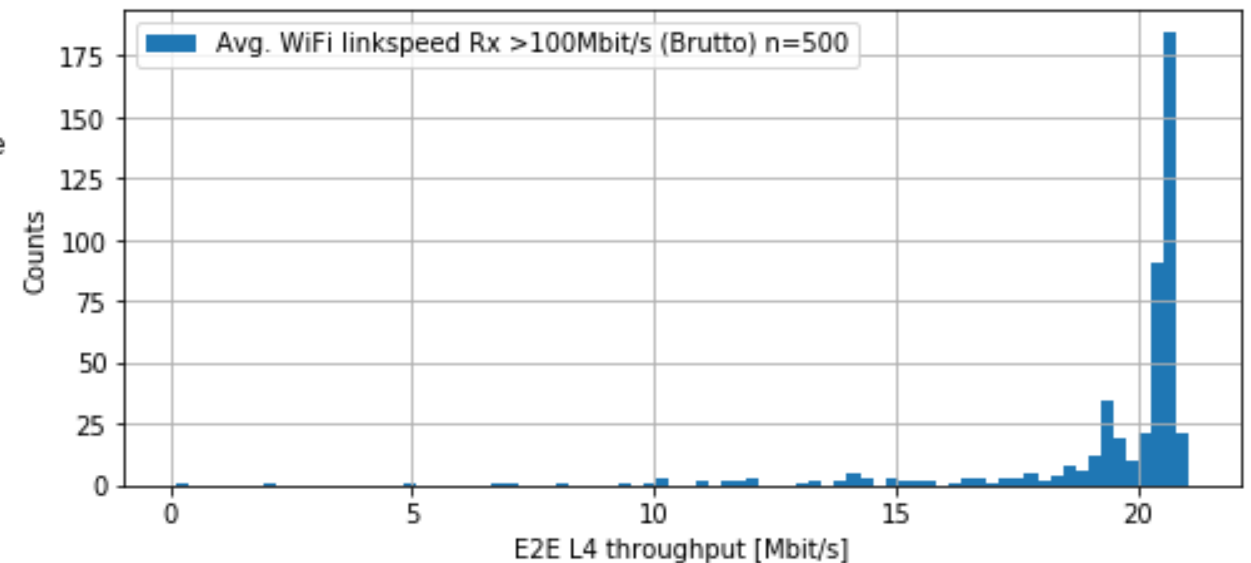
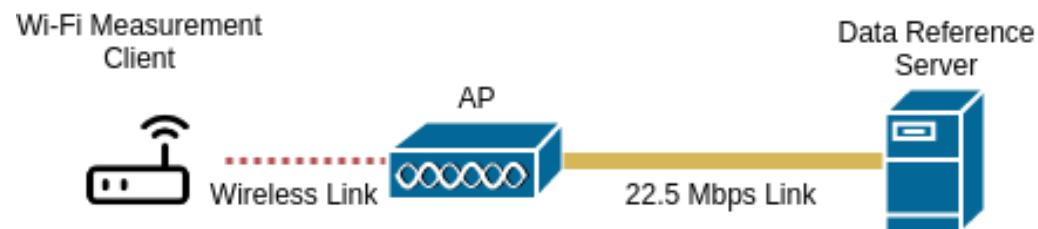
Ähnlich zu Messung via Ethernet:

**Rx Interface Bitrate** ausgelesen parallel zur Download Messung als **Anhaltspunkt** für **messbaren Datendurchsatz** über Wi-Fi?

Analyse unter IEEE802.11ac:

Access-Point via 1Gbit/s Ethernet an Referenzserver mit Traffic-Shaping (22,5Mbit/s)

→ Auch bei kleinen zu messenden Bandbreiten keine zuverlässige Aussage möglich!

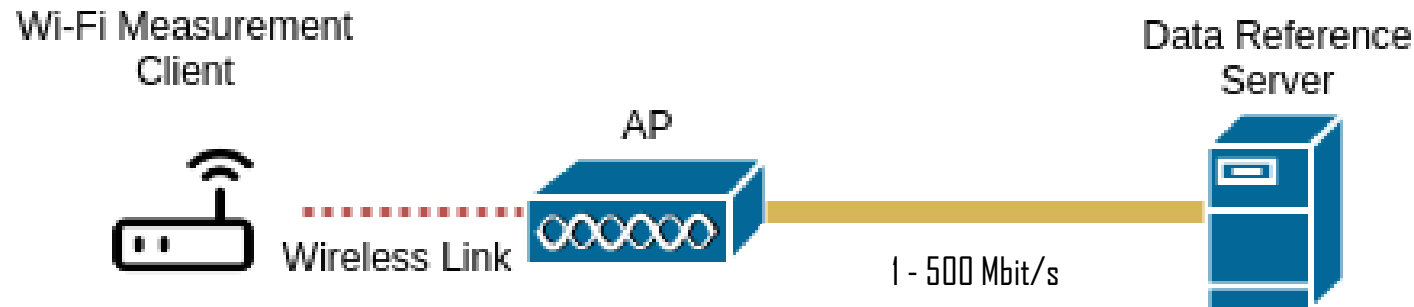


Triviale Bestimmung nicht möglich



**Klassifikation** mittels **DNN (Deep Neuronal Network) -Klassifikator** anhand von weiteren **Verbindungsparametern** in die Klassen „**limitierte-**“ und „**nicht-limitiert-**“ Messungen über Wi-Fi

# Trainings- & Validierungsdatensatz



- Automatisierte Messungen an simulierten Breitbandschlüssen (1-500 MBit/s) über Wi-Fi
- Anbindung des Messclient per IEEE802.11n/ac, 2,4 & 5GHz, 1-3 Spatial Streams
- Über 60.000 Rohdatensätze aus einer realitätsnahen Wi-Fi Umgebung
- Klassifikation „nicht-limitiert“ DÜR > 98% des theoretischen max. Durchsatzes (TCP Payload)
- Aufteilung + Balancierung: 70% Trainingsdate (33.809) – 30% Validierungsdaten (14.490)

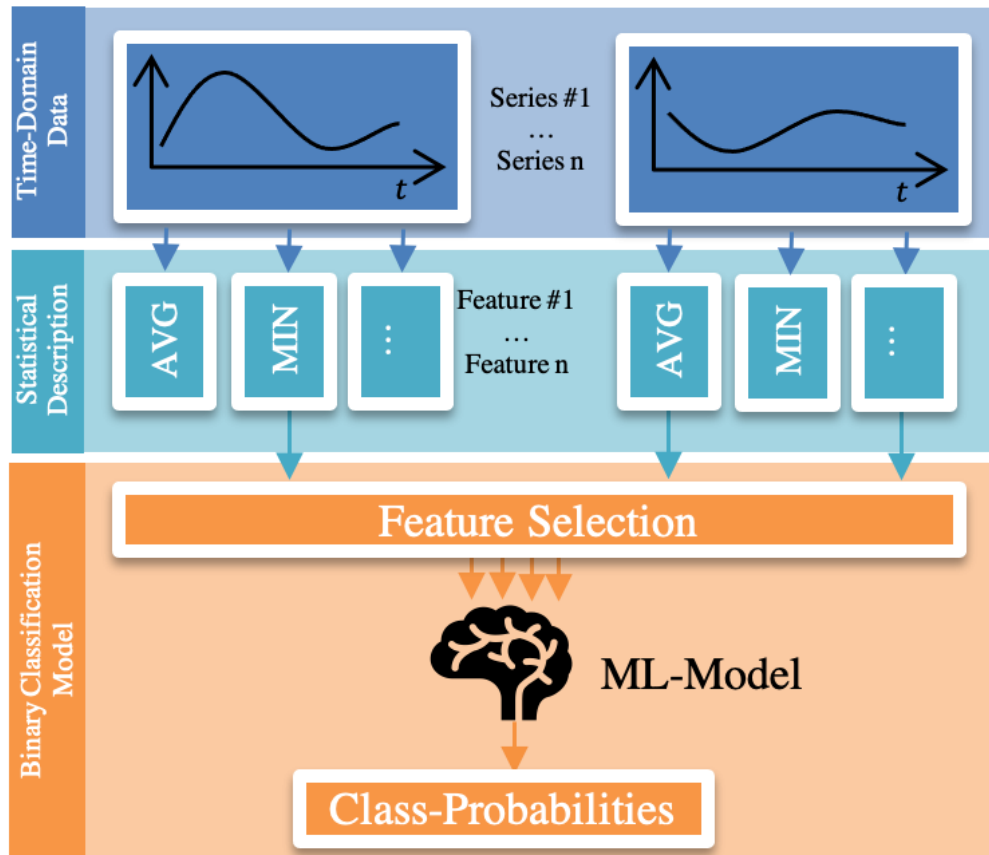
## Features – Wi-Fi-Verbindungsparameter

Sampling ( $f_s = 10\text{Hz}$ ) von Wi-Fi-Verbindungsparametern parallel zur Durchsatzmessung

Parameter	Einheit	Erläuterung
airtime_clear	%	Zeitanteil, in dem der Kanal als „frei“ erkannt wurde durch die Wi-Fi Schnittstelle
airtime_tx	%	Zeitanteil, in dem der Kanal für die Übertragung von Wi-Fi Frames genutzt wurde
airtime_rx	%	Zeitanteil, in dem auf dem Kanal Wi-Fi Frames empfangen wurde
airtime_error	%	Zeitanteil, zu dem der Kanal als gestört wahrgenommen
rx_intf_bitrate	Mbps	PHY Bitrate des letzten empfangenen IEEE802.11-Frames
tx_intf_bitrate	Mbps	PHY Bitrate des letzten gesendeten IEEE802.11-Frames

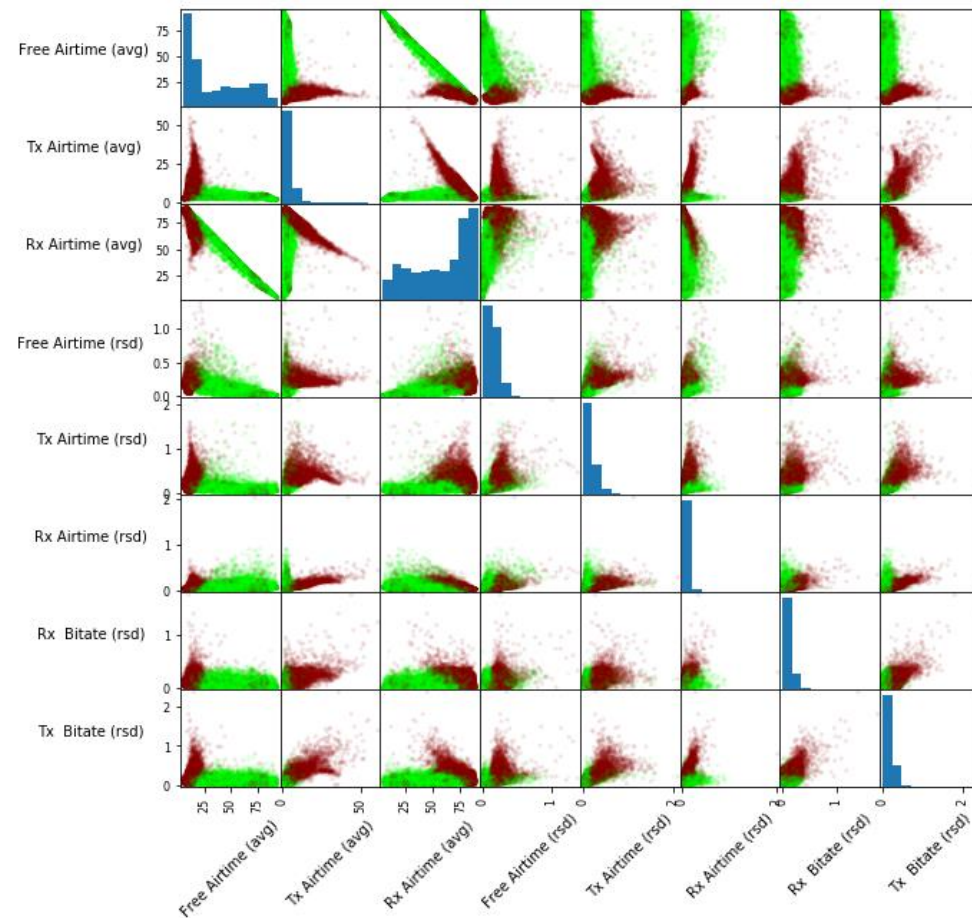


# Feature Aufbereitung



Statistische Beschreibung	
Durchschnittswert	
Minimum	
Maximum	
Relative Abweichung des min. Wertes zum Durchschnittswert	
Relative Abweichung des max. Wertes zum Durchschnittswert	
Untere 25% Quantil	
Obere 25% Quantil	
Relative Standardabweichung	

# Feature Auswahl



• „nicht-limitiert“ • „limitiert“ • Verteilung

- Grafischer Ansatz (Scatter Plot) zu Auswahl der relevantesten Features für die Klassifikation
- 26 Features als Input für die Klassifikation ausgewählt
- Standardisierung der Features

Free Airtime (avg)	Rx Airtime (rds)
Free Airtime (min)	Rx Airtime (dev. min)
Free Airtime (max)	Rx Airtime (dev. max)
Free Airtime (low. 25%)	Tx Airtime (avg)
Free Airtime (up. 25%)	Tx Airtime (min)
Free Airtime (rds)	Tx Airtime (max)
Free Airtime (dev. min)	Tx Airtime (rds)
Free Airtime (dev. max)	Rx Bitrate (rsd)
Rx Airtime (avg)	Rx Bitrate (dev. max.)
Rx Airtime (min)	Rx Bitrate (dev. min)
Rx Airtime (max)	Tx Bitrate (rsd)
Rx Airtime (low. 25%)	Tx Bitrate (dev. max.)
Rx Airtime (up. 25%)	Tx Bitrate (dev. min)

# DNN-Klassifikator

---

## Klassifikationsproblem

- Binäre Klassifikation
- Gruppen: *nicht-limitiert* + *limitiert* = 100%

## Netz Architektur

- 4 Hidden-Layer 64-32-16-8
- Neuronen mit ELU-Aktivierungsfunktion
- Klassifikation mit Softmax-Ausgabeschicht ( $p_{\text{nicht-limitiert}} + p_{\text{limitiert}} = 1$ )
- Verwendung des TensorFlow Frameworks

# DNN-Klassifikator

---

## Parameter

- Adam-Optimierer
- 50% Drop-Out Rate
- Batch-Normalisierung (Batch-size 50)
- Evaluierung alle 2000 Trainingsschritte (Verifikationsdatensatz)
- Training über 35.000 Iterationen

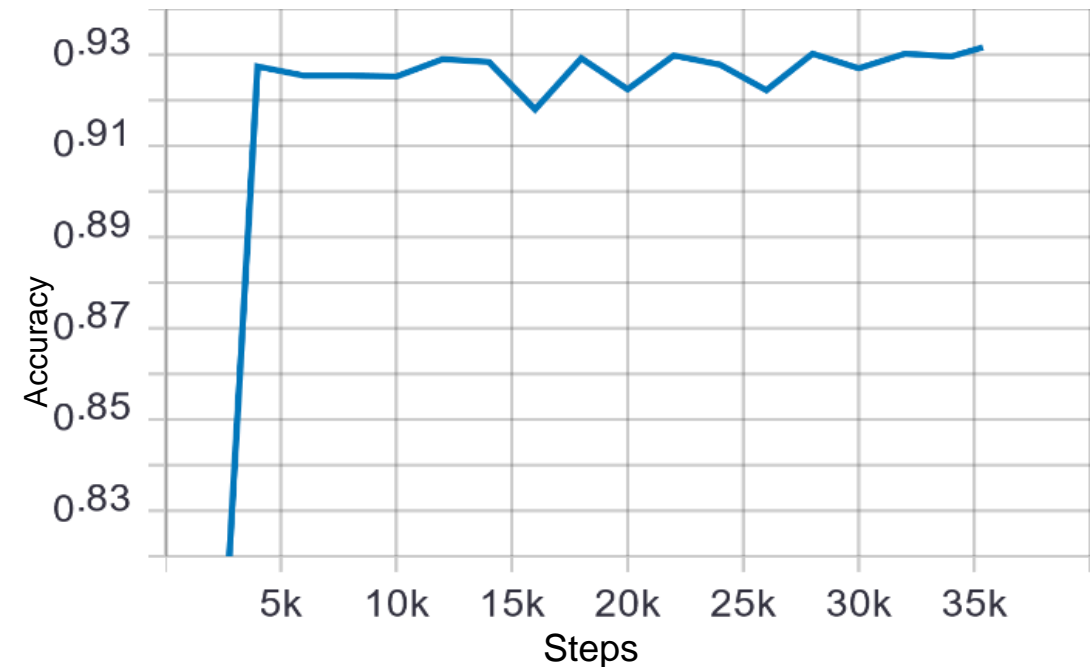
# Klassifikationsleistung

Basierend auf dem Verifikationsdatensatz

- Genauigkeit: 93% (Schwellwert  $p=0.5$ )

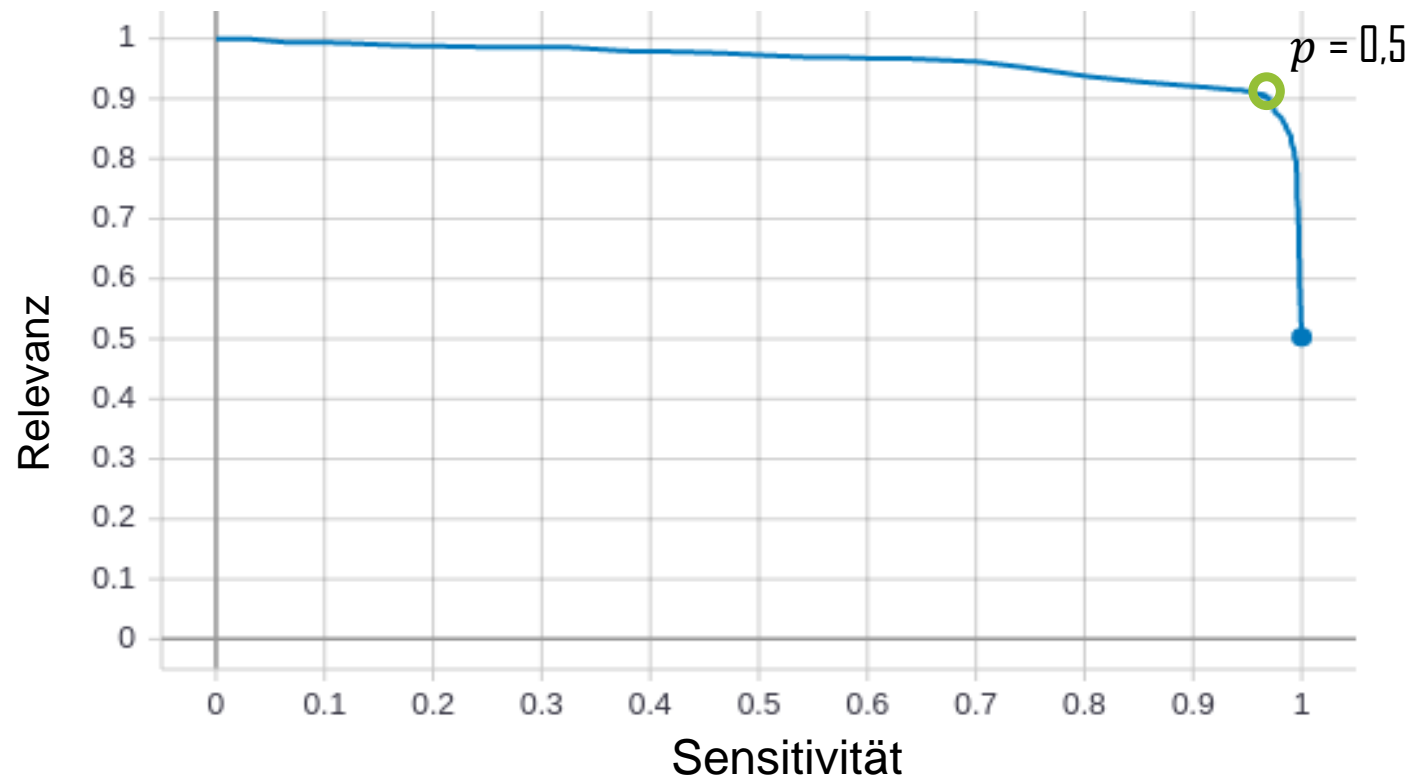
Klasse „nicht-limitiert“- durch Wi-Fi-Verbindung

- Sensitivität: 96%
- Relevanz: 91%



# Klassifikationsleistung

**Precision-Recall-Curve:** Durchsatzmessung „nicht-limitiert“ durch Wi-Fi-Verbindung



Schwelle für die Klasse „nicht-limitiert“:  $p = 0,01-0,99$

AUC: 0,96

# Ausblick

---

## Verifikation der Klassifikationsleistung mit Daten aus realer Umgebung

- Auswertung von Messungen im Hotspot Netz der Deutschen Bahn (WiFi@DB)
- Nach weiteren Optimierungen am Modell – Klassifikationsleistung für Klasse „*nicht-limitiert*“:
  - Sensitivität: ~80%
  - Relevanz: ~83%