

### 1 – Motivation

Hämodynamische und pulmonale Dekompensationen bezeichnen das Versagen der Herz/Kreislauf- und Lungenfunktion mit progredienter Insuffizienz der körpereigenen Gegenregulationsmechanismen. Ein frühes Erkennen dieser lebensbedrohlichen klinischen Zustände würde den Intensivmediziner:innen eine rechtzeitige therapeutische, medizinische Intervention ermöglichen. Mortalität und Letalität könnten so reduziert werden. Ziel des RIDIMP-Projektes ist die Prädiktion und Detektion dieser Ereignisse durch Analyse retrospektiver Vitalparameter-Zeitreihen anhand eines KI-gestützten Algorithmus und Etablierung eines Frühwarnsystems.

### 2 – Scoring-Systeme

Es wurden zwei neue Scoring-Systeme zur Beschreibung dieser Dekompensationsereignisse definiert:

Der hämodynamische Dekompensationsscore berücksichtigt den mittleren arteriellen Blutdruck und die Herzfrequenz in Korrelation zu der verabreichten kreislaufunterstützenden Medikation.

$$hds(t) = \sum_{i=1}^3 s(hp_i(t)) \begin{cases} [0, \dots, 3]: & \text{keine Dekompensation} \\ [4, 5]: & \text{beginnend – moderate Dekompensation} \\ [6, \dots, 10]: & \text{schwere Dekompensation} \end{cases}$$

Hämodynamische Dekompensation

Parameter	Punkte	0	1	2	3	4
Herzfrequenz [bpm]		50-90	45-49 / 91-100	40-44 / 101-110	<40 / >110	-
Mittlerer Arterieller Druck [mmHg]		>64	60-64	50-59	<50	-
Katecholamin-Therapie		Keine	Singulär	Singulär	Kombiniert	Singulär oder kombiniert
Noradrenalin [µg/kg KG/min]		0	0.01-0.09	0.1-0.39	0.1-0.39	>0.5
Adrenalin [µg/kg KG/min]		0	0.01-0.09	0.1-0.39	0.1-0.39	>0.5
Dobutamin [µg/kg KG/min]		0	1-3	3.1-5	3.1-5	>5
Argipressin/Vasopressin [IE]		0	0	0	0	>0.01

Der pulmonale Dekompensationsscore basiert auf Vitalparametern wie der spontanen Atemfrequenz, der O<sub>2</sub>-Sättigung, Laborwerten der Blutgasanalysen, der Sauerstoffapplikation und Einstellungen des Beatmungsgerätes.

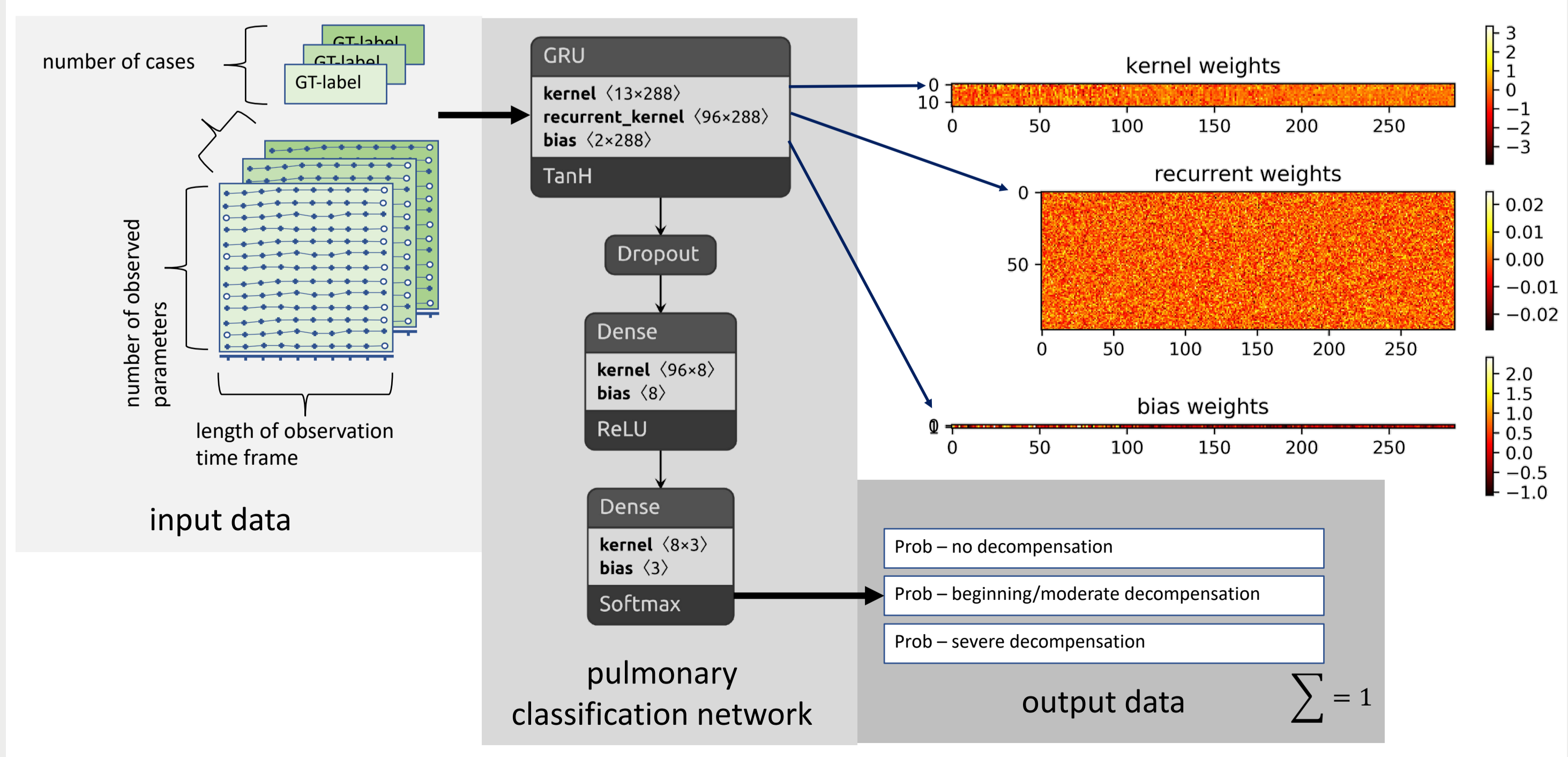
$$pds(t) = \sum_{i=1}^{13} s(pp_i(t)) \begin{cases} [0, \dots, 4]: & \text{keine Dekompensation} \\ [5, \dots, 20]: & \text{beginnend – moderate Dekompensation} \\ [21, \dots, 42]: & \text{schwere Dekompensation} \end{cases}$$

Pulmonale Dekompensation

Parameter	Punkte	0	1	2	3
Atemfrequenz spontan [bpm]		10-25	26-30	31-35	>35
sO <sub>2</sub> [%]		96-100	90-95	85-89	<85
paO <sub>2</sub> [mmHg]		70-100	65-69	60-64	<60
paCO <sub>2</sub> [mmHg]		35-45	30-34 / 46-49	25-29 / 50-58	<25 / >58
pH		7.35 - 7.45	7.46-7.49 / 7.26-7.34	7.5-7.55 / 7.16-7.25	>7.55 / <7.16
FiO <sub>2</sub>		0.3-0.35	0.36-0.49	0.5-0.6	0.61-1.0
O <sub>2</sub> Insufflation [l/min]		0	2-5	6-8	>8
Horrowitz-Quotient		400-600	200-399	100-199	<100
Atemfrequenz mandatorisch [bpm]		10-20	21-23	24-26	>26
PinSp [cmH <sub>2</sub> O]		10-25	26-28	29-30	>31
PEEP [cmH <sub>2</sub> O]		5-8	9-11	12-15	16-25
Tidalvolumen inspiratorisch [ml]		400-500	300-399	201-299	<201
Beatmungsmodus		spontan	Sauerstoffvorlage	Druckunterstützte Spontanatmung	Bivent-Modus

### 3 – DNNs für Klassifikation & Regression

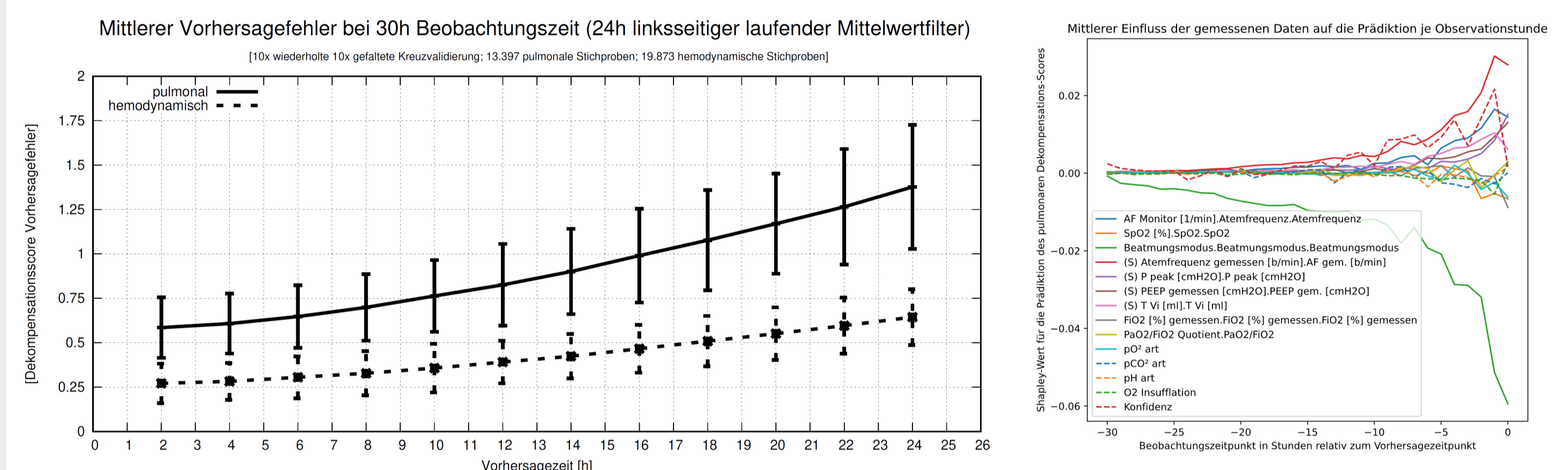
Die Prognose der maximalen Dekompensationsklasse über einen Prognosezeitraum (Klassifikation), sowie die Schätzung eines Dekompensationsscores für einen gegebenen zukünftigen Zeitpunkt (Regression), wurde mit tiefen neuronalen Netzwerken (DNNs) realisiert. Die relevante Netzwerkschicht zur Interpretation der eingegebenen Beobachtungszeitreihen ist die *Gated Recurrent Unit*-Schicht. Entsprechend der Aufgabe des Netzes, wurde eine abschließende Aktivierungsfunktion gewählt: *SoftMax* (Klassifikation) & *ReLU* (Regression).



### 4 – Retrospektive Datenanalyse

In der ersten retrospektiven Evaluation wurden sowohl Akkuratess und AUROC-Score für die Klassen-Prädiktion und der mittlere Fehler für die Vorhersage der Dekompensationsscores bestimmt. Klassifikation und Regression nutzen auf „*Gated Recurrent Unit*“-Schichten basierende künstliche neuronale Netzwerke. Aktuelle Arbeiten untersuchen die Erklärbarkeit der trainierten Regressionsmodelle auf Basis der Shapley-Werte für die einzelnen Eingabe-Parameter und Beobachtungszeitpunkte.

Datengrundlage	Kategorische Akkuratess		AUROC-Score	
	Ø	σ	Ø	σ
Hämodynamische Parameter	72.65%	0.94%	0.85	0.01
Score hämodynamisch /Konfidenz	71.37%	0.98%	0.84	0.01
Pulmonale Parameter	83.05%	1.19%	0.89	0.02
Score pulmonal /Konfidenz	83.68%	1.22%	0.90	0.02

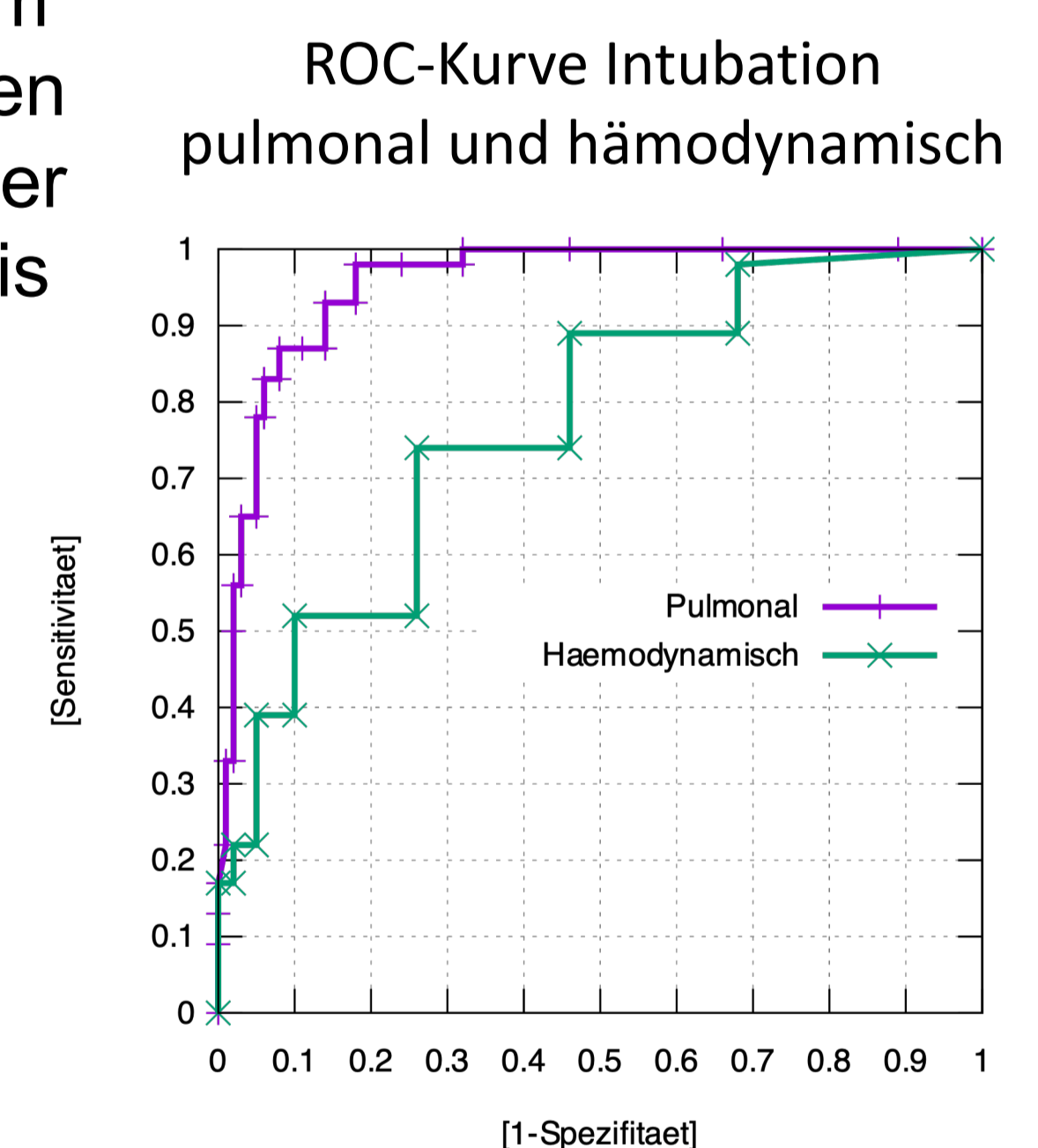


### 5 – Ergebnisse prospektive Beobachtungsstudie

Von Februar bis Mai 2023 erfolgte die prospektive Beobachtungsstudie auf der Intensivstation des Klinikums Bremen-Mitte. Untersucht wurden die Korrelationen zwischen erhobenen Dekompensationsscores und dem Eintreten relevanter Endpunkte *Wiederbelebung*, *Intubation*, *Versterben* und *Wiederaufnahme nach 48h*. Zusätzlich wurden die im Rahmen der retrospektiven Datenanalyse erstellten Datenmodelle im Hinblick auf ihre Prognoseleistung validiert. Die aus den Live-Datensätzen gewonnenen prädierten Dekompensationsscores waren bis zum Studienabschluss für das medizinische Team nicht einzusehen, um eine Beeinflussung des Behandlungsablaufes auszuschließen. Die statische Datenanalyse ergab für die klinischen Endpunkte *Reanimation*, *Versterben* und *Wiederaufnahme* keine eindeutige Korrelation zu einem erhöhten Scorewert. Für diese kritischen Ereignisse konnte jedoch ein Trend mit einhergehenden erhöhten Scoringwerten aufgezeigt werden. Für das Ereignis einer *Intubation* konnte mit einem AUROC-Wert von 0,96 im pulmonalen und 0,82 im hämodynamischen Fall eine gute Modellgüte bezüglich der Korrelation von Score und Intubationsereignis nachgewiesen werden.

Klassifikationstabelle Intubation Score ungefiltert

Beobachtet	Vorhergesagt		% korrekt vorhergesagt
	0	1	
0	1205	380	76,0%
1	1	53	98,1%



Die mittleren Prädiktionsfehler zeigten sich bei einer Verfügbarkeit der Observations-Parameter von ~40% (hämodynamisch) und ~60% (pulmonal) vergleichbar mit den Ergebnissen der retrospektiven Datenanalyse.

