



# Gliederung



**Dipl.-Ing. Thomas Netzel**  
Institut für Automatisierungstechnik  
Universität der Bundeswehr Hamburg

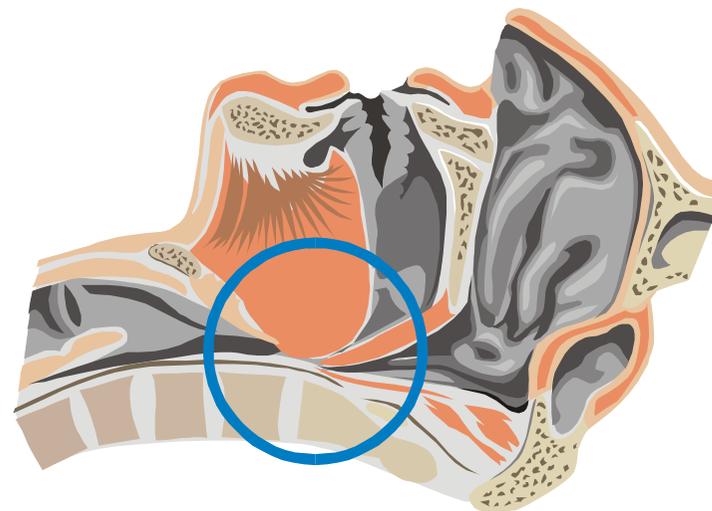
## **Die Erkennung von Schnarchgeräuschen bei der Regelung eines CPAP-Beatmungsgerätes**

- Entstehung und Bedeutung des Schnarchsignals
- Voruntersuchung zur Erkennung von Schnarchgeräuschen
- Entwurf und Untersuchung eines Schnarcherkennungssystems auf Basis der 500 Hz Abtastung des Maskendrucks
- Integration der Schnarcherkennung in den CPAP-Regelalgorithmus
- Zusammenfassung und Ausblick

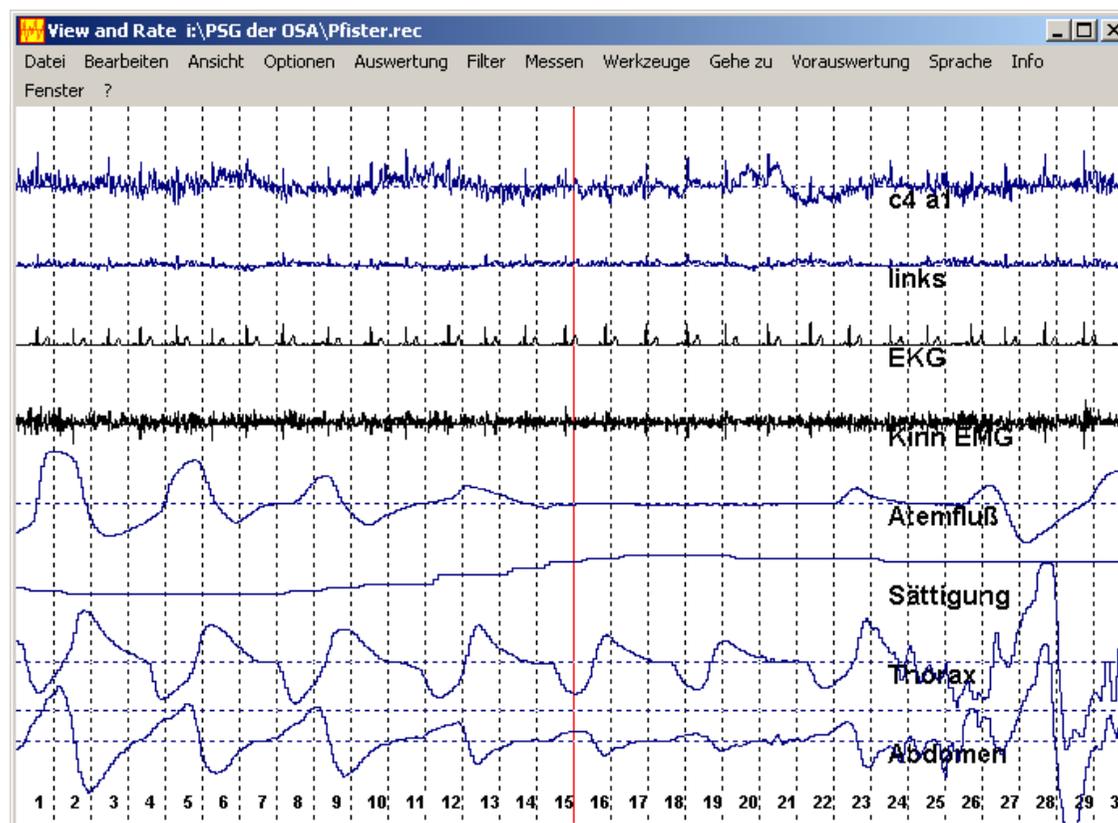
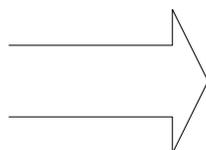
**Offener Atemtrakt**



**Obstruierter Atemtrakt**



# Diagnose der obstruktiven Schlafapnoe



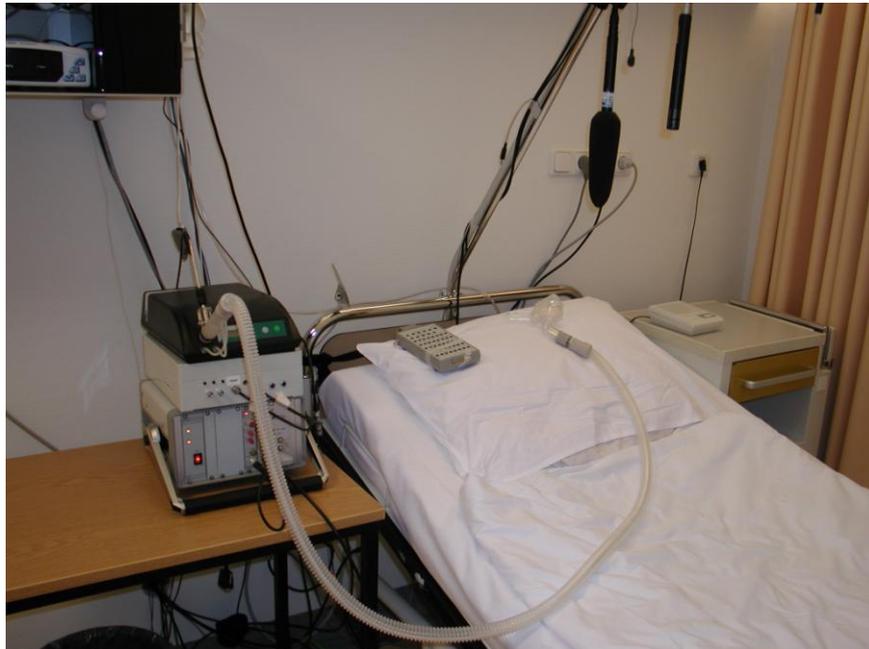


# Die CPAP-Therapie





# Messaufbau im Schlaflabor



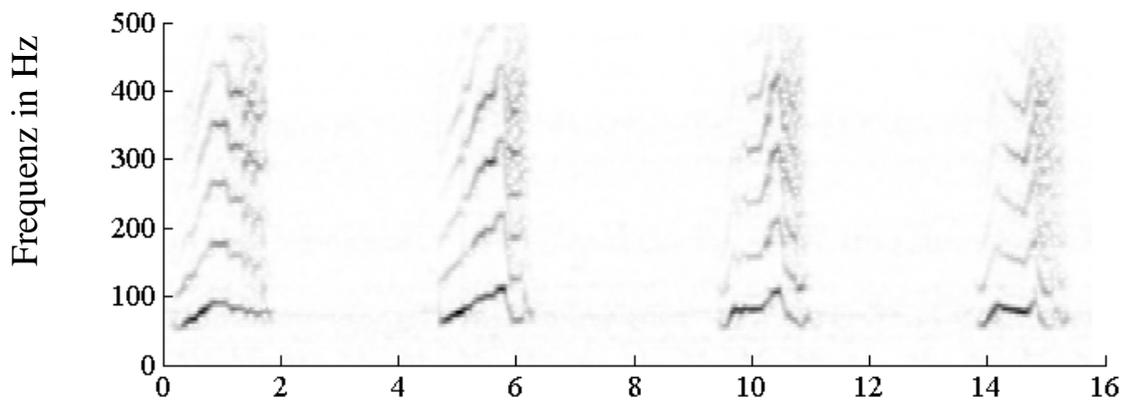
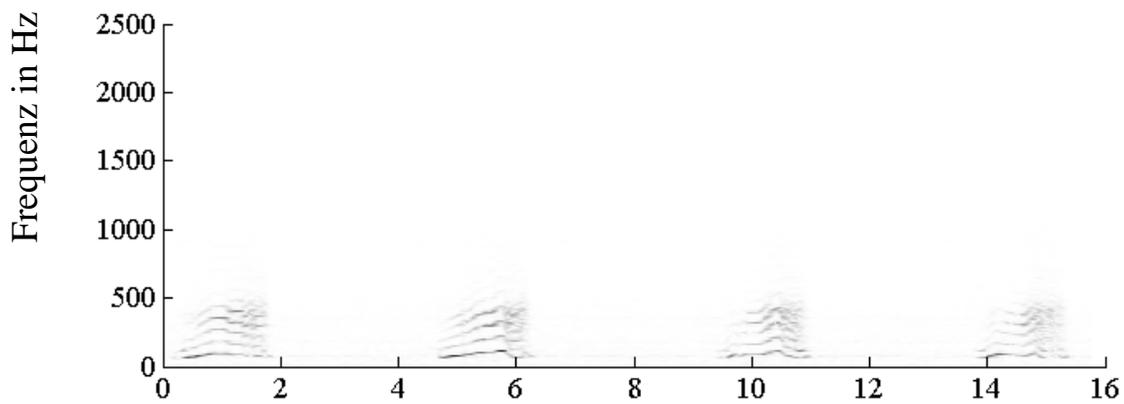
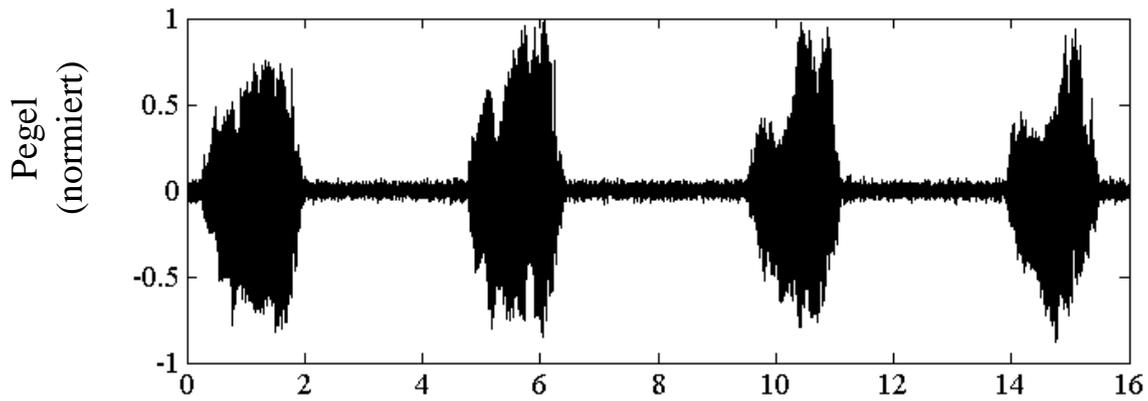
**Schlaflabor**



**Auswertezentrale**



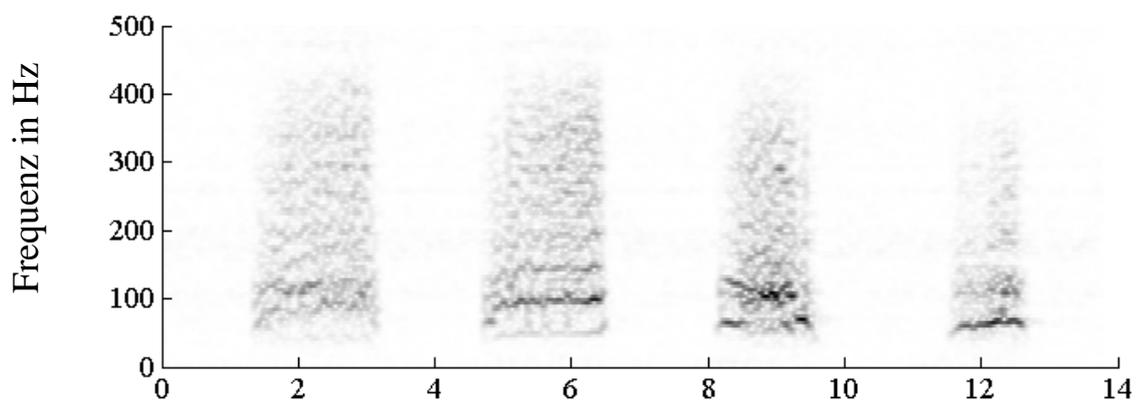
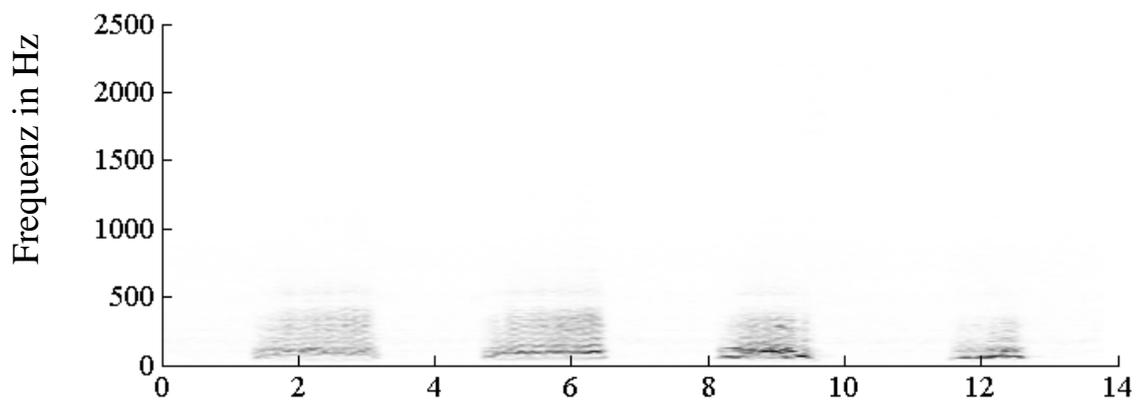
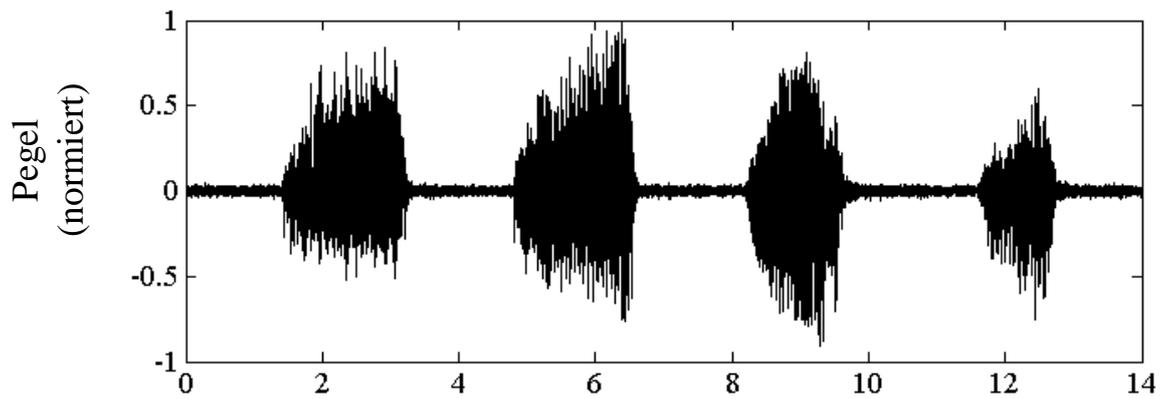
# Spektrogramm des Schnar- chens



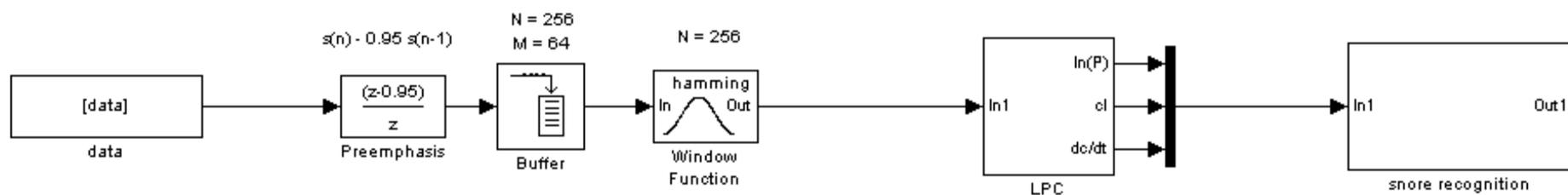
Zeit in s



# Spektrogramm des Schnar- chens (2)



Zeit in s



Rohdaten

Signalvorverarbeitung

Merkmalgewinnung

$$c_m = a_m + \sum_{k=1}^{m-1} \binom{k}{m} \cdot c_k \cdot a_{m-k} \quad 1 \leq m \leq p=14$$

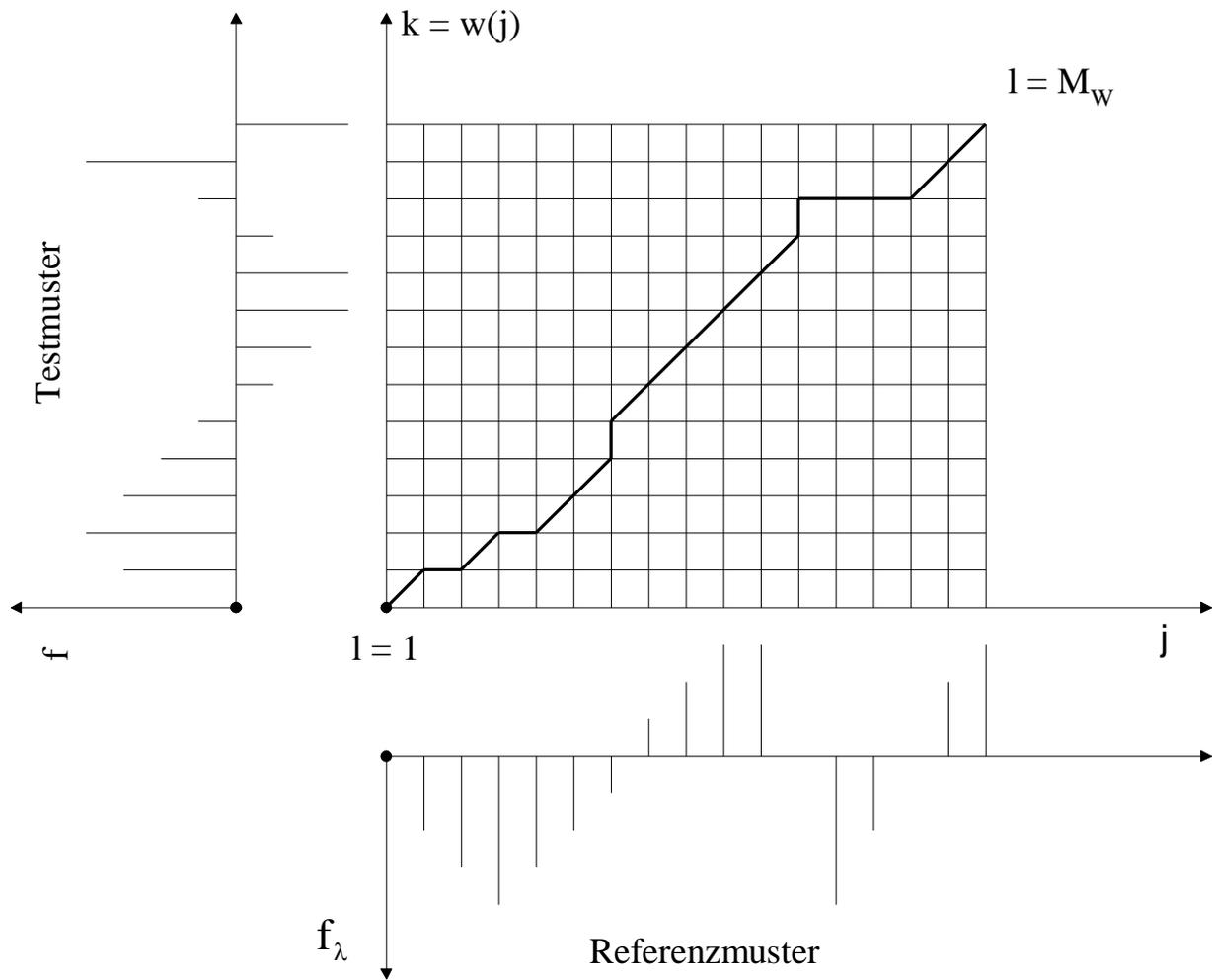
$$c_m = \sum_{k=1}^{m-1} \binom{k}{m} \cdot c_k \cdot a_{m-k} \quad 20 > m > p$$

$$cl_m = w_m \cdot c_m \quad w_m = \left[ 1 + \frac{Q}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot m}{Q}\right) \right] \quad 1 \leq q \leq Q = 20$$

$$\frac{\partial c_m(t)}{\partial t} \approx \mu \sum_{k=-K}^K k \cdot c_m(t+k) \quad K=3, \mu=7$$



# Dynamische Programmie- rung



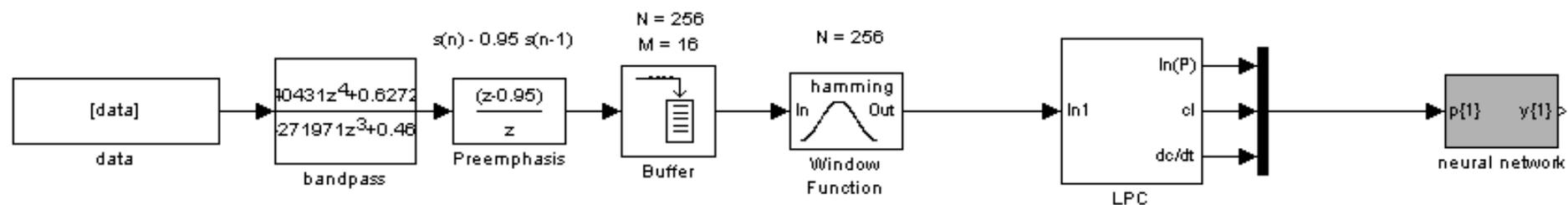
$$D_\lambda = \sum_{l=1}^{M_w} \left| \underline{f}_{-\lambda j(l)} - \underline{f}_{-k(l)} \right| \rightarrow \min$$



## Anforderungen an die Geräuscherkennung



- Geräuscherkennung anhand der Maskendruckmessung
- Abtastfrequenz 500 Hz
- Echtzeitfähigkeit
- Robustheit auch bei Einschränkungen im nutzbaren Frequenzbereich



**Rohdaten**

**Signalvorverarbeitung**

**Merkmalgewinnung**



# Hauptkomponentenanalyse



## Merkmale

$$\underline{X} = (\underline{x}_1 \ \underline{x}_2 \ \cdots \ \underline{x}_{17})$$

## Standardisierung

$$\underline{X}_S = \begin{pmatrix} \underline{x}_{M1} & \underline{x}_{M2} & \cdots & \underline{x}_{M17} \\ \sigma_{x_1} & \sigma_{x_2} & & \sigma_{x_{17}} \end{pmatrix} \quad \underline{x}_{Mi} = \underline{x}_i - \bar{\underline{x}}_i$$

## Hauptkomponentenanalyse

$$\text{cor}(\underline{X}_S \cdot \underline{p} \mid \underline{X}_S) \rightarrow \max$$

$$\frac{1}{2} \cdot \underline{p}^T \cdot \underline{R} \cdot \underline{p} \rightarrow \max \quad \text{NB: } \underline{p}^T \cdot \underline{p} = 1$$

## Optimierungsproblem

$$F(\underline{p}) = \frac{1}{2} \cdot \underline{p}^T \cdot \underline{R} \cdot \underline{p} - \lambda \cdot (\underline{p}^T \cdot \underline{p} - 1)$$

$$\frac{dF}{d\underline{p}} = 0$$

$$(\underline{R} - \lambda \cdot \underline{I}) \cdot \underline{p} = 0$$

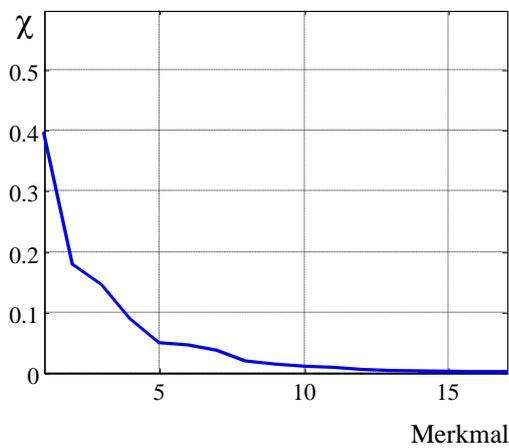


# Varianz der standardisier- ten Merkmale

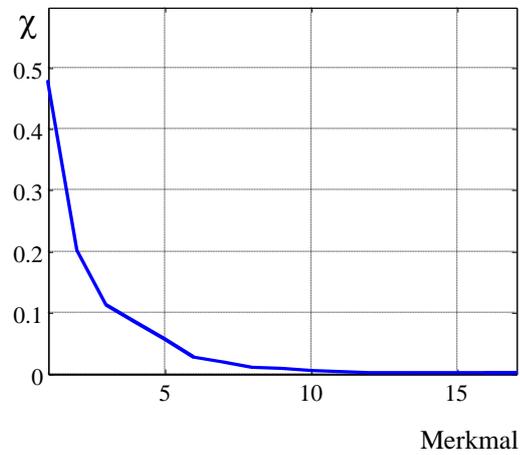


$$\chi_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{k=1}^{17} \lambda_k}$$

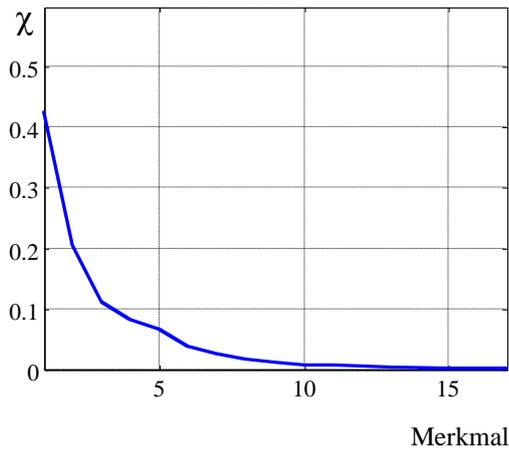
1. Person



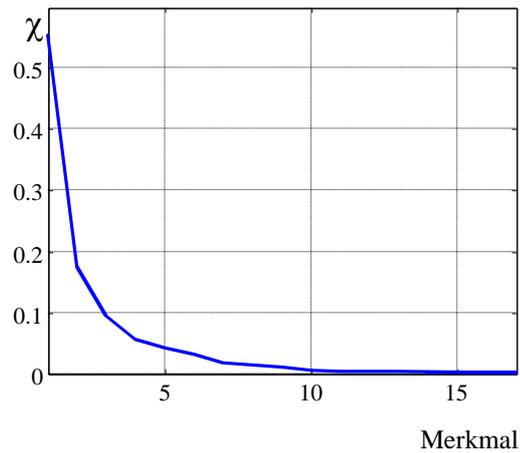
2. Person

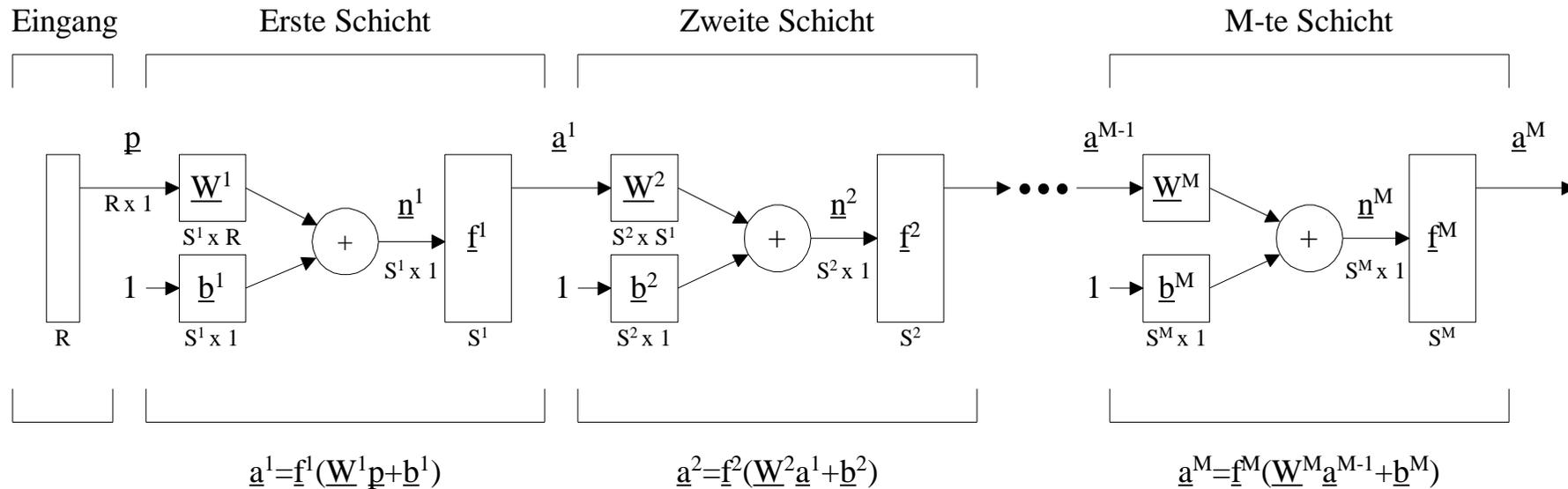


3. Person



4. Person





Trainingsmethode:

$$\Delta \underline{W}^m(k) = \chi \cdot \Delta \underline{W}^m(k-1) - (1-\chi) \cdot \alpha \cdot \underline{s}^m \cdot (\underline{a}^{m-1})^T$$

$$\Delta \underline{b}^m(k) = \chi \cdot \Delta \underline{b}^m(k-1) - (1-\chi) \cdot \alpha \cdot \underline{s}^m$$

mit  $\underline{s}^m = \frac{\partial \hat{F}}{\partial \underline{n}^m}, \quad m = 1, 2, \dots, M$



# Klassifikationsergebnisse



## 1 Referenzperson

Person	Schnarchgeräusche				Artefakte			
	Anzahl	Richtige Klassifikation in %			Anzahl	Richtige Klassifikation in %		
		10-2	10-15-2	10-5-2		10-2	10-15-2	10-5-2
1	22	73	86	86	46	87	87	89
2	17	88	88	88	38	95	89	92
3	26	92	92	77	15	93	93	87
4	0				35	80	80	86
5	15	93	93	93	17	88	94	100
6	15	47	40	33	17	88	94	100
mean 1-5		86,5	89,75	86,0		88,6	88,6	90,8

## 3 Referenzpersonen

Person	Schnarchgeräusche				Artefakte			
	Anzahl	Richtige Klassifikation in %			Anzahl	Richtige Klassifikation in %		
		10-2	10-15-2	10-5-2		10-2	10-15-2	10-5-2
1	22	73	82	77	46	87	89	85
2	17	88	88	88	38	92	92	89
3	26	96	92	100	15	93	93	80
4	0				35	86	86	86
5	15	93	93	93	17	100	85	88
6	15	40	33	47	17	100	100	100
mean 1-5		87,5	88,75	89,5		91,6	89,0	85,6



## Klassifikationsergebnisse (2)



### 4 Referenzpersonen

Person	Schnarchgeräusche				Artefakte			
	Anzahl	Richtige Klassifikation in %			Anzahl	Richtige Klassifikation in %		
		10-2	10-15-2	10-5-2		10-2	10-15-2	10-5-2
1	22	73	77	86	46	87	78	78
2	17	88	88	94	38	92	92	92
3	26	85	100	100	15	100	80	73
4	0				35	100	83	80
5	15	93	93	93	17	92	92	96
mean		84,8	89,5	93,3		94,2	85,0	83,8

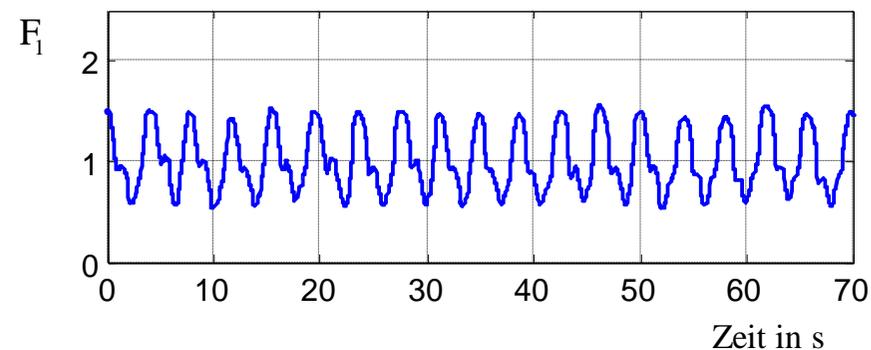
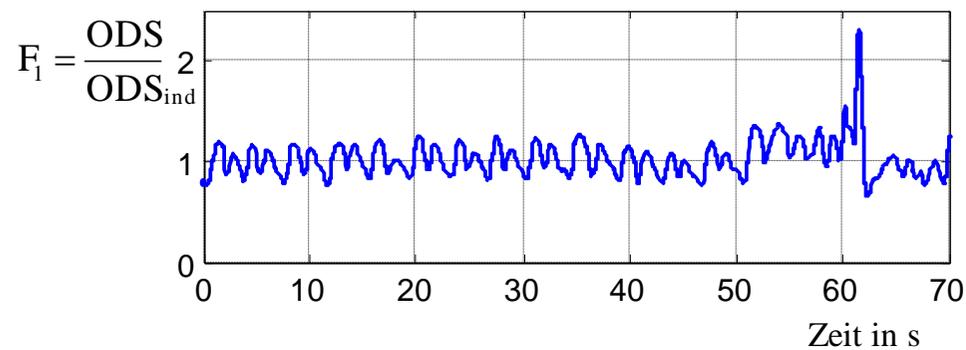
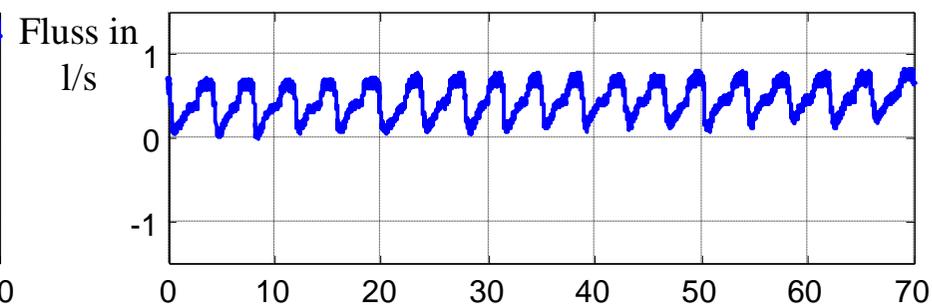
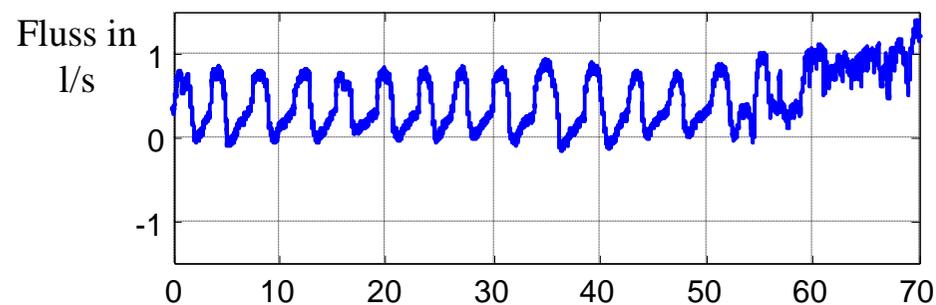


# Der Obstruktionsparameter $F_1$



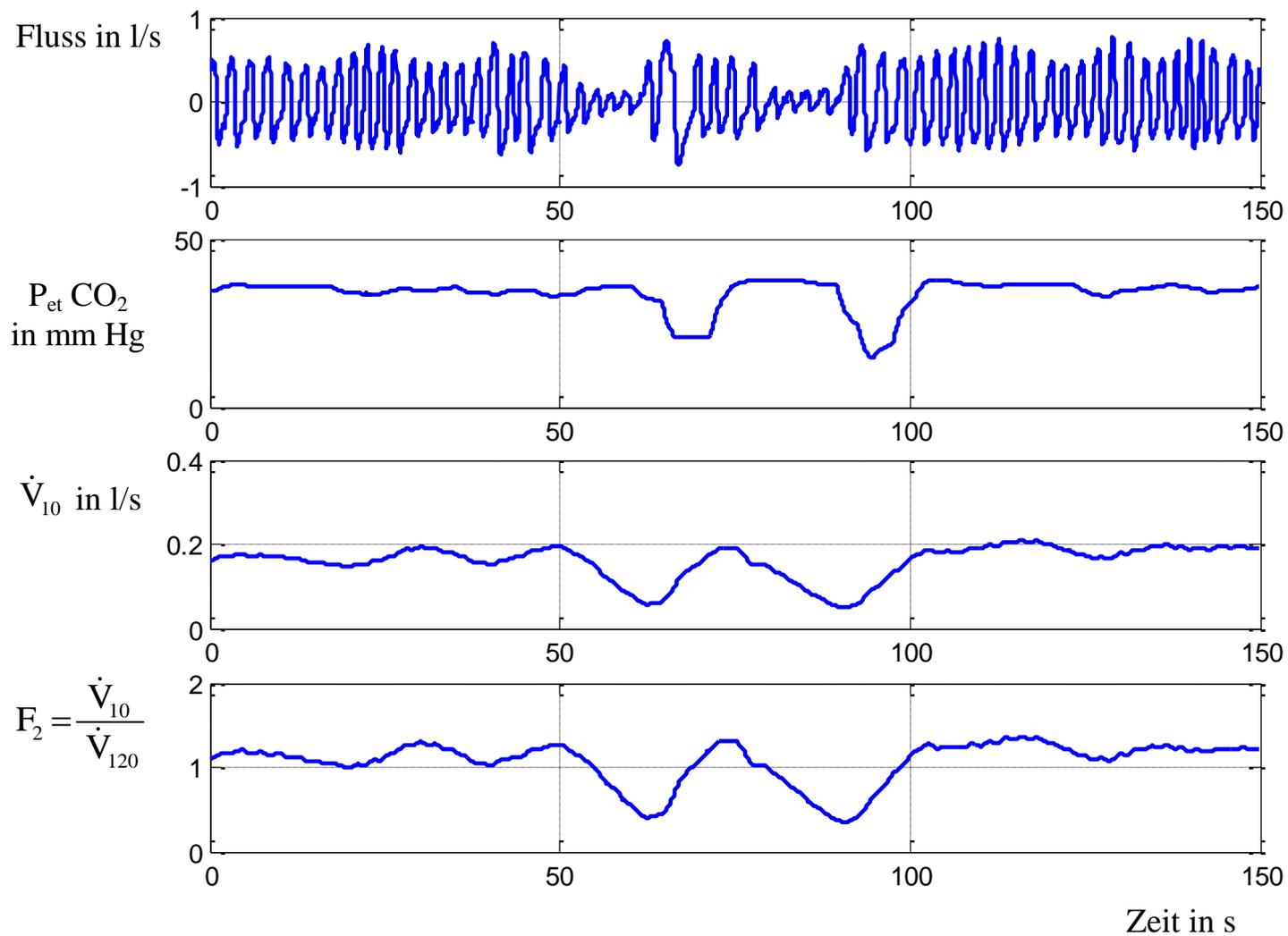
## Gesunde Atmung mit Artefakt

## Obstruktive Atmung

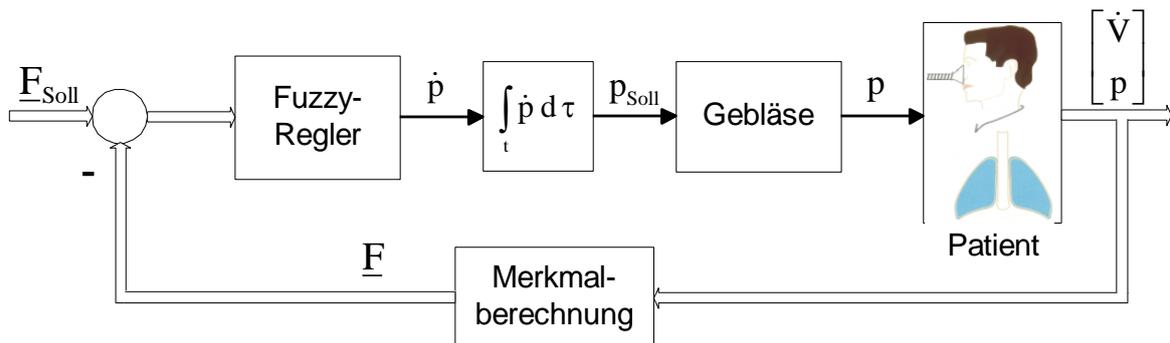




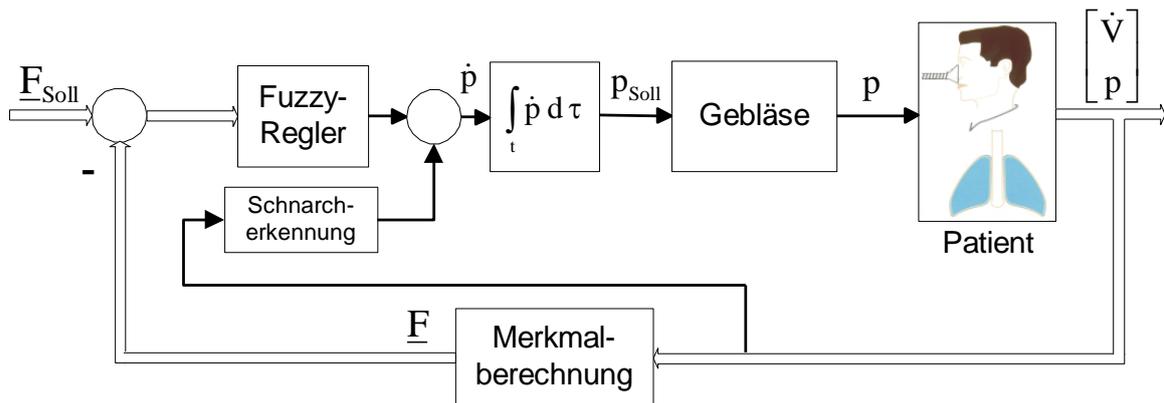
# Fluss, $p_{et}$ CO<sub>2</sub>, $V_{10}$ und Flussparameter $F_2$



## Regelkreisstruktur ohne Schnarcherkennung

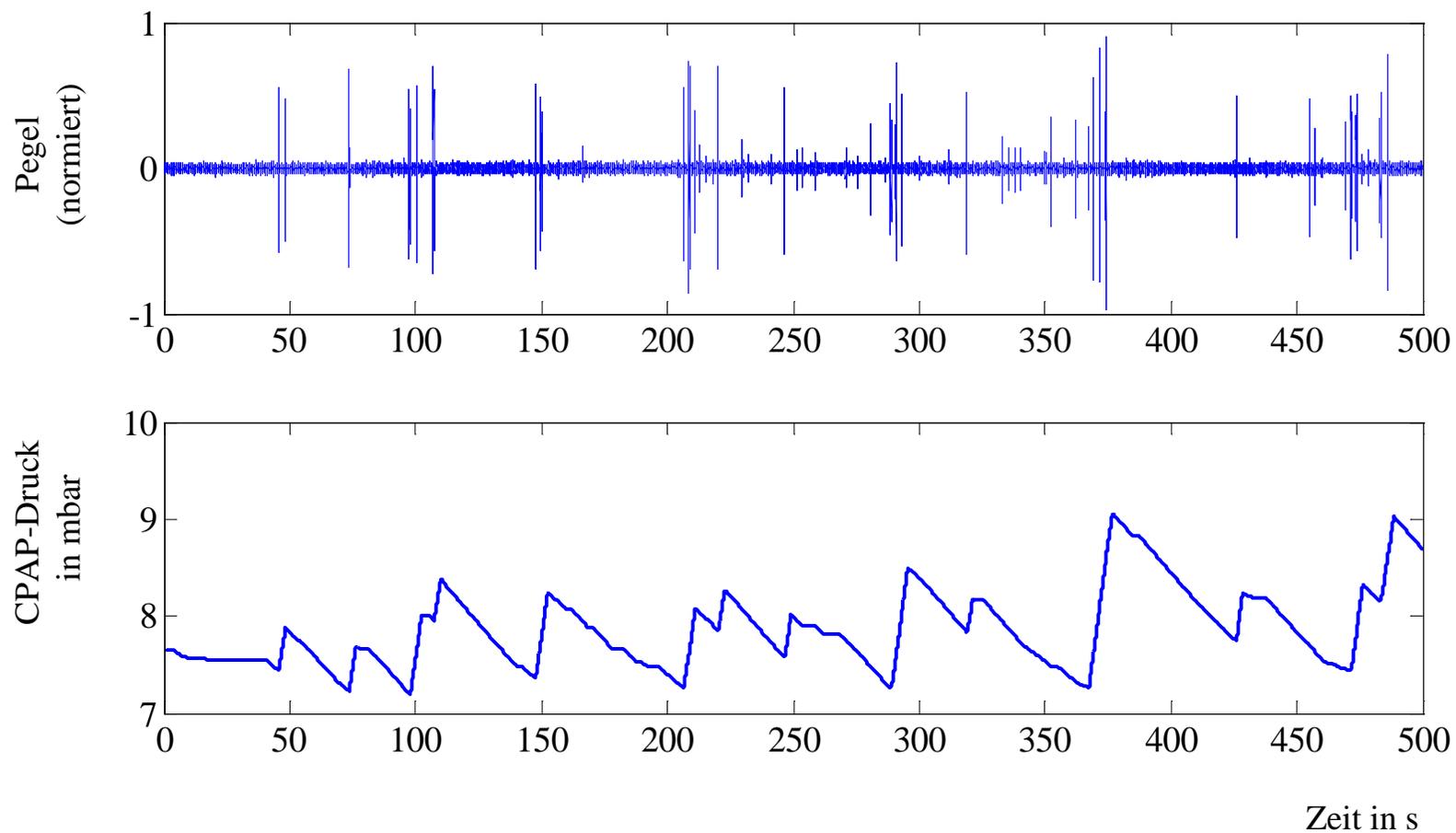


## Regelkreisstruktur mit Schnarcherkennung





# Schnarcherkennung bei CPAP-Beatmung





## Zusammenfassung



- Untersuchung der Eigenschaften des Schnarchgeräuschs
  - Wahl eines Parametersets zur Beschreibung des Schnarchgeräuschs
  - Entwicklung Schnarcherkennungssystems basierend auf der Maskendruckmessung
  - Integration in einen Regelalgorithmus zur CPAP-Beatmung
- robuste Schnarcherkennung unter CPAP