

FORTSCHRITT-  
BERICHTE **VDI**

Dipl.-Ing. Jens Wohlers, Hamburg

# **Fahrzeugklassifikation und Schätzung strecken- bezogener Verkehrsdaten mit Methoden der Muster- erkennung**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/  
Fahrzeugtechnik

Nr. **339**

*HLuHB Darmstadt*



14006982

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Signalerfassung und -vorverarbeitung</b>	<b>4</b>
2.1	Signalerfassung . . . . .	4
2.2	Signalvorverarbeitung . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Diskrete Signaltransformationen zur Merkmalsextraktion</b>	<b>11</b>
3.1	Signalapproximation mit orthonormalen Reihenentwicklungen . . . . .	12
3.2	Diskrete Karhunen-Loève-Transformation . . . . .	13
3.3	Whitening-Transformation . . . . .	15
3.4	Merkmalsextraktion mit der Karhunen-Loève-Transformation	16
3.4.1	Klassenspezifische Transformation . . . . .	17
3.4.2	Gemeinsame Transformation . . . . .	18
3.4.3	Anwendung der Karhunen-Loève-Transformation auf Fahrzeugsignale . . . . .	19
3.5	Diskriminanzanalyse . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Fahrzeugklassifikation</b>	<b>25</b>
4.1	Mustererkennungssystem . . . . .	26
4.2	Signalvorverarbeitung und Merkmalsextraktion . . . . .	27
4.3	Klassifikation . . . . .	28
4.3.1	Bayes-Klassifikation . . . . .	29
4.3.2	Maximum-a-posteriori- und Maximum-Likelihood-Klassifikation . . . . .	31
4.4	Parametrische Klassifikationsverfahren . . . . .	33
4.5	Nichtparametrische Klassifikationsverfahren . . . . .	35
4.5.1	Nächster-Nachbar-Klassifikator . . . . .	35

4.5.2	Polynomklassifikator . . . . .	37
4.5.3	Histogrammklassifikator . . . . .	38
4.5.4	Klassifikation mit neuronalen Netzwerken . . . . .	40
4.6	Mehrstufige Klassifikationsverfahren . . . . .	43
4.7	Verfahrensvergleich . . . . .	46
4.8	Schätzung des Bayes-Fehlers . . . . .	54
<b>5</b>	<b>Streckenbezogene Verkehrsdatenerfassung</b>	<b>57</b>
5.1	Mustererkennungssystem . . . . .	58
5.1.1	Signalvorverarbeitung und Merkmalsextraktion . . . . .	60
5.1.2	Entscheidungsfunktion . . . . .	62
5.1.3	Parameterfestlegung . . . . .	63
5.1.4	Voruntersuchungen . . . . .	66
5.2	Schätzverfahren mit Fahrzeugfolgenkorrelation . . . . .	68
5.2.1	Der Schätzalgorithmus . . . . .	68
5.2.2	Simulationsergebnisse . . . . .	76
5.3	Schätzverfahren mit Kostenfunktionen . . . . .	79
5.3.1	Der Schätzalgorithmus . . . . .	80
5.3.2	Optimierung des Verfahrens . . . . .	84
5.3.3	Simulationsergebnisse . . . . .	89
5.4	Schätzverfahren mit Hidden-Markov-Modellen . . . . .	92
5.4.1	Hidden-Markov-Modelle . . . . .	93
5.4.2	Der Schätzalgorithmus . . . . .	103
5.4.3	Optimierung des Verfahrens . . . . .	106
5.4.4	Beispiel zur Fahrzeugwiedererkennung . . . . .	112
5.4.5	Simulationsergebnisse . . . . .	117
5.5	Verfahrensvergleich . . . . .	118
<b>6</b>	<b>Verkehrszustandsschätzung mit streckenbezogenen Verkehrsdaten</b>	<b>120</b>
6.1	Das makroskopische Verkehrsmodell . . . . .	122

---

6.1.1	Variablen des Verkehrsflußmodells . . . . .	122
6.1.2	Modellvalidierung . . . . .	125
6.1.3	Modellerweiterung zur Störfallerkennung . . . . .	126
6.1.4	Modellerweiterung mit streckenbezogenen Verkehrs- daten . . . . .	127
6.2	Modellgestützte Verkehrszustandsschätzung . . . . .	129
6.2.1	Das stochastische Verkehrsflußmodell . . . . .	129
6.2.2	Zustandsraumdarstellung . . . . .	131
6.2.3	Zustandsschätzung mit dem erweiterten Kalman- Filter . . . . .	132
6.2.4	Verkehrszustandsschätzung mit Reisezeitinformation	134
6.3	Beobachtbarkeitsanalyse . . . . .	135
6.3.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	136
6.3.2	Analyse des erweiterten Verkehrsflußmodells . . . . .	138
6.4	Simulationsergebnisse . . . . .	141
6.4.1	Parameterfestlegung . . . . .	141
6.4.2	Ergebnisse der Verkehrszustandsschätzung . . . . .	143
6.4.3	Ergebnisse der Störungserkennung . . . . .	145
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>147</b>
	<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis</b>	<b>149</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>153</b>