

# PARTRAS – Pattern Recognition of Traffic States

C. Schatz<sup>a,1</sup>, M. Franosch<sup>a,2</sup> und M. Ganser<sup>b,3</sup>

<sup>a</sup> ASKOS, Büro für Analyse, Statistik und Simulation  
Welserstr. 15, 81373 München, Deutschland

<sup>b</sup> GEVAS Systementwicklung und Verkehrsinformatik GmbH  
Leuchtenbergstr. 20, 81677 München, Deutschland

**Kurzfassung:** PARTRAS (“*P*Attern *R*ecognition of *T*Raffic States“) ist eine Methode, um Verkehrsstaus zu ihren vermuteten Ursachen zu verfolgen und wurde erstmals für den Einsatz der Integrierten Gesamt-Verkehrsleitzentrale IGLZ der Stadt Frankfurt am Main entwickelt. PARTRAS deckt ein breites Spektrum der Verkehrsanalyse ab: Staus identifizieren, periodische Staus erkennen, Stauketten verfolgen und ihre wahrscheinlichste Ursache ermitteln. Es ist ein Instrument, das sowohl bei systematischen wissenschaftlichen Analysen hilfreich ist, als auch bei der schnellen Planung von Maßnahmen in großen Verkehrssteuerungssystemen im Offline, wie im Online-Einsatz (z.B. für als Entscheidungsgrundlage für ein Strategiemangement oder die Automatisierung der Redaktion von Verkehrsmeldungen).

**Schlagworte:** Ursachenerkennung, Stau, Verkehrsleitsystem, Ereignis, Häufigkeitsanalyse

---

<sup>1</sup>E-mail: [schatz@askos.de](mailto:schatz@askos.de), URL: [www.askos.de](http://www.askos.de)

<sup>2</sup>E-mail: [moritz.franosch@askos.de](mailto:moritz.franosch@askos.de), URL: [www.askos.de](http://www.askos.de)

<sup>3</sup>E-mail: [michael.ganser@gevas.de](mailto:michael.ganser@gevas.de), URL: [www.gevas.de](http://www.gevas.de)

## 1 Einleitung

Verkehrsmodelle, die den Verkehrszustand anhand der Meßdaten von Detektoren oder fahrenden Fahrzeugen (FCD) berechnen, sind in Verkehrsleitsystemen etabliert. Das gleiche gilt für die Bearbeitung von Ereignissen und Meldungen – besonders in den Verkehrsmanagement-Zentralen. So weiß man hier einerseits viel über den Verkehrszustand sowie Störungen und andererseits über mögliche Ursachen, beispielsweise anhand von Meldungen über einen Unfall oder eine Großveranstaltung. Es fehlt die *Verbindung* zwischen Staus und ihren Ursachen. PARTRAS versucht, diese Lücke zu schließen. PARTRAS findet die Beziehung zwischen Ursache (ein durch eine Meldung angekündigtes Ereignis) und deren Wirkung (gestauter Verkehr). Dafür verwendet PARTRAS so weit wie möglich direkte Algorithmen und, wenn diese nicht mehr ausreichen, fortschrittliche statistische Konzepte und neuronale Netze.

PARTRAS ist nicht nur ein Werkzeug zum besseren Verständnis von Verkehrszuständen. Für Verkehrsmanagement-Strategien ist es genau so wichtig zu wissen, *warum* ein Stau entstanden ist, wie zu wissen, dass er überhaupt vorhanden ist. Aus dem zusätzlichen Wissen, das PARTRAS zur Verfügung stellt, können sich vollkommen unterschiedliche Maßnahmen ergeben. Dies zeigt, dass ein Werkzeug wie PARTRAS ein sinnvoller Bestandteil jeder Verkehrsmanagement-Zentrale ist.

PARTRAS wird zum ersten Mal in der IGLZ („Integrierte Gesamt-Verkehrsleitzentrale“) angewendet, der neuen Verkehrsmanagement-Zentrale der Stadt Frankfurt am Main. IGLZ ist eines der größten Verkehrsmanagement-Projekte in Deutschland in den letzten Jahren. Das Projekt wird Anfang 2004 abgeschlossen (siehe auch den Vortrag „Neue Lösungen für das strategische Verkehrsmanagement in der IGLZ Frankfurt am Main“ [2]).

## 2 Technische Beschreibung von PARTRAS

PARTRAS, entwickelt für den Einsatz in einem städtischen Verkehrsleitsystem, ist eine Methode, um Verkehrsstaus mit ihren vermuteten Ursachen in Verbindung zu bringen. Diese Relation zwischen Wirkung und Ursache hat nur eine kausale Richtung, denn es werden keine *Prognosen* möglicher Verkehrsstörungen bei Kenntnis der Einflussgrößen gemacht. Tatsächlich werden die Störungen als bekannt vorausgesetzt und den wahrscheinlichsten Ursachen zugeordnet.

PARTRAS erfordert als Vorbedingung ein voll entwickeltes Verkehrsmodellierungs- sowie Verkehrsmeldungs-System, deren Daten PARTRAS auswertet. Die Analyse besteht aus zwei Teilen. Die Aufgabe des ersten Teils ist es, jeden Stau zu betrachten und zu sehen, ob überhaupt eine spezifische Ursache gefunden werden kann. Im zweiten Teil werden Stauketten gebildet und zu ihren Ursachen - falls es welche gibt - zurückverfolgt. Wir

bezeichnen einen Stau, der eine identifizierte Ursache hat, als E-Stau (Ereignisstau). Andernfalls liegt eine erhöhte Nachfrage vor, durch welche die Durchschnittsgeschwindigkeit stark zurückgegangen ist und somit den Stau verursacht hat, D-Stau genannt (von Stau durch erhöhte Nachfrage: engl. „demand“).

## 2.1 Periodizitätsanalyse

Die Periodizitätsanalyse entscheidet, ob ein Stau „normal“ ist in dem Sinne, dass er für gewöhnlich um die gleiche Tageszeit auftritt. Falls ja, dann wird angenommen, dass der Stau keine spezifische Ursache hat, sondern aufgrund zu hoher Nachfrage täglich auftritt. Um diese *Tageszeit-Periodizität* festzustellen, zählt PARTRAS, wie oft bisher auf einem Streckenabschnitt zu einer bestimmten Tageszeit Staus und Nicht-Staus auftraten. Ist die Aussage „Auf dieser Kante ist zu dieser Tageszeit in mehr als 80% der Fälle Stau“ mit einer Wahrscheinlichkeit größer als 95% richtig, dann klassifiziert die Periodizitätsanalyse den Stau als Tageszeit-periodisch. Dieses „probably approximately correct“-Kriterium stammt aus der Statistischen Lerntheorie [5]. Zusätzlich werden alle Startzeiten von Staus auf jedem Abschnitt registriert. Die Startzeiten werden zu Clustern zusammengefasst [1]. Befindet sich die Startzeit eines neuen Staus in genügender Nähe zur durchschnittlichen Startzeit eines Clusters, so gilt der Stau als *Startzeit-periodisch*. Dabei wird angenommen, dass die Startzeiten der Cluster normalverteilt sind um eine mittlere Startzeit  $\bar{t}$ . Die Startzeit eines neuen Staus sei  $t$ . Dann wird die Wahrscheinlichkeit berechnet, dass ein Stau des Clusters, dessen mittlere Startzeit  $\bar{t}$  sei, eine Startzeit  $t'$  hat, für die  $|t' - t| > |t - \bar{t}|$  gilt. Hierbei wird eine untere Schranke für die Varianz des Clusters auf einem konfigurierbaren Signifikanzniveau verwendet [3]. Die Berechnung wird für alle Cluster durchgeführt. Falls die berechneten Wahrscheinlichkeiten alle kleiner als ein konfigurierbarer Schwellwert sind, wird die Hypothese, dass der neue Stau zu einem der schon vorhandenen Cluster gehört, abgelehnt. Der Stau ist dann nicht Startzeit-periodisch.

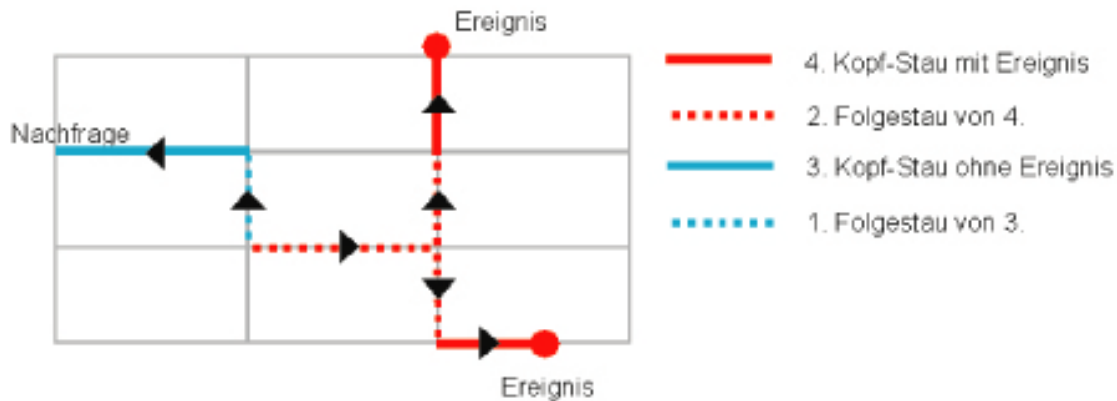
## 2.2 Staurückverfolgung

Der zweite Teil der Analyse gruppiert die Staus zu Ketten. Diese „Staurückverfolgung“ geschieht durch rekursive Suche nach Nachbar-Staus, die Stauketten bis zu den sog. Kopf-Staus<sup>1</sup> verfolgt. Dabei werden die Stauketten als gerichtete Graphen aufgefasst [4]. Das Ergebnis sind Ketten von Staus, von denen jede mindestens einen Kopf-Stau hat. Stromabwärts von diesem Kopf-Stau ist der Verkehr normal und die Schlussfolgerung liegt nahe, dass sich der Ursprung dieser Stau-Gruppe gerade vor dem Kopf-Stau befindet. Es ist jedoch möglich, dass an dieser Stelle gar kein Ereignis vorliegt. Deshalb gibt es zwei Arten von Kopf-Staus, nämlich mit und ohne bekanntes Ereignis stromabwärts. Des Weiteren können die Staus stromaufwärts der Kopf-Staus Glieder einer Kette („Nachfolger“) mit oder

---

<sup>1</sup> Kopfstaus sind Staus, auf die stromabwärts kein weiterer Stau folgt.

ohne bekanntem Ereignis vor dem entsprechenden Kopf sein. Insgesamt gibt es somit vier Arten von Staus (s. Abb. 1).



**Abb. 1:** Vier Arten von Staus, klassifiziert durch den Rückverfolgungs-Algorithmus von PARTRAS

### 2.3 Abschließende Analyse und Software-Architektur

Nach der Rückverfolgung ist es einfach, die Relation zwischen Stau und Ursache für zwei dieser vier Stauarten zu finden: Wenn ein Ereignis vor dem jeweiligen Kopf-Stau bekannt ist, ist die Ursache der gesamten Kette von Staus (Typ 4 und 2 in Abb. 1) identifiziert. Die beschriebene Methode bewältigt auch komplexere Situationen, in denen Staus Mitglieder mehrerer Ketten sind und deshalb mehrere Ursachen haben.

Eine zusätzliche Komponente von PARTRAS ist PER („Potential Event Recognizer“). Sie überwacht eingehende und ausgehende Ströme für jeden Abschnitt des Verkehrsnetzes. PER gibt eine Meldung aus, wenn die Ströme unausgeglichen sind und befähigt PARTRAS dadurch, ein Ereignis an einer Stelle zu vermuten, an der noch kein Ereignis extern gemeldet wurde. PARTRAS kann so seine Analyse im Voraus ausführen und muss nicht auf eingehende Ereignismeldungen warten.

Abbildung 2 stellt die Gesamtarchitektur des Verfahrens dar. Das Tool auf der rechten Seite („Mustererkennung“) holt seine Daten online aus einer Datenbank, sucht nach Strecken mit kritischem Verkehrszustand („CTS“, also Staus), bündelt einen Teil der gefundenen Staus zu Ketten, markiert Ereignisse am Kopf-Stau dieser Ketten und wendet statistische Modelle auf diejenigen Ketten (aperiodische D-Jams) an, welche Nebeneffekte der aktuellen Störungsereignisse sind, welche den Bedarf möglicherweise an anderer Stelle durch „Umfahrung“ erhöhen. Um möglichst kurze Antwortzeiten zu erzielen, findet das PER-Modul Strecken, auf denen wahrscheinlich ein Störungsereignis stattfindet, selbständig und erspart somit die Notwendigkeit, auf Ereignisberichte zu warten. Die hinterher gemeldeten Ereignisse werden ergänzt. Das Ergebnis, Paare aus Staus und ihrer Ursache, werden in die Datenbank geschrieben. Die Mustererkennung verwendet drei statistische Modelle, welche eine

Schätzung ihrer Parameter erfordern: Die CTS-Analyse benötigt die mittlere Geschwindigkeit jedes Streckenabschnittes, die statistische Analyse benötigt viele Parameter, die abhängig von den angewendeten Modellen sind und die Periodizitäts-Analyse benötigt die mittlere Startzeit der Staus und ihre Standardabweichungen sowie die raum-zeitlichen Häufigkeiten der Staus in Abhängigkeit von Attributen wie Ferien, Wetter und verkehrsintensiven Ereignissen. Diese Parameter-Schätzungen erfolgen in einem zweiten Modul („Training“) asynchron zur Mustererkennung, so dass sie CPU-Leistung der Server in Zeiten niedriger Rechenlast nutzen. Die Parameter-Schätzungen müssen ein paar Tage verzögert stattfinden, damit bestätigte Ereignisberichte verwendet werden können.

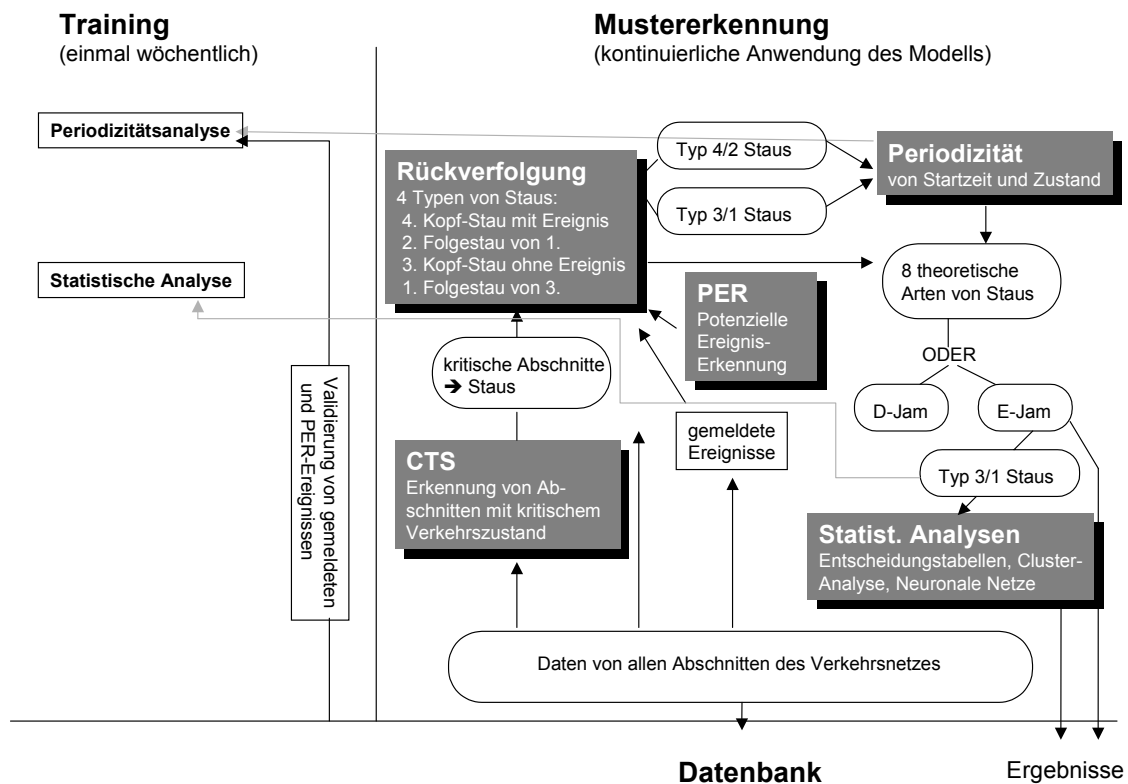


Abb. 2: Aufbau von PARTRAS in der IGLZ Implementierung

## 2.4 Einsatz von PARTRAS in Verkehrsmanagement-Zentralen

PARTRAS wird in der IGLZ Frankfurt am Main als dauerhaft laufendes Online-Modul der Verkehrslageanalyse eingesetzt. Dies erlaubt folgende operative Anwendungen:

1. PARTRAS hebt das Strategiemanagement der IGLZ auf eine neue Stufe: Entscheidungen fallen anders und gezielter als bisher, da nicht nur das Ausmaß eines Verkehrsproblems, sondern auch seine Ursache bekannt ist. Von PARTRAS erkannte Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge gehen dabei unmittelbar in die automatische Situationserkennung des Strategiemanagement ein.
2. PARTRAS hilft, die Redaktion von Meldungen wesentlich zu vereinfachen, indem es zusammengehörige Meldungen identifiziert. Der Verkehrsredakteur erhält so eine verbesserte Grundlage seiner Arbeit. Nach der Kalibrierung von PATRAS mit Realdaten sollen die derzeit als Entscheidungshilfe verwendeten Informationen zur Grundlage eines automatisierten Redaktionssystemes für die IGLZ werden.

## 3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Module von PARTRAS (s. Abb. 2) wurden umfangreich getestet mit der Verkehrsflusssimulation NONSTOP [6] mit mehr als 500 Straßenabschnitten und 10.000 Fahrzeugen, raum-zeitlich verteilten Verkehrsnachfragen, verbunden mit zufällig ausgelösten Verkehrsstörungen. PARTRAS erlangt hier eine mittlere Trefferquote von 85% und höher bei erforderlicher Übereinstimmung aller Klassifizierungscharakteristika, was ein sehr gutes Ergebnis für ein Mustererkennungstool ist, das für komplexe Verkehrssysteme angewandt wird.

PARTRAS wird Integrierten Gesamt-Verkehrsleitzentrale IGLZ der Stadt Frankfurt am Main implementiert. Ein vollständiger Test von PARTRAS kann erst mit *empirischen* Daten geschehen. Der Start des Regelbetriebs der IGLZ Anfang 2004 wird solche Daten zur Verfügung stellen. Diese werden zur Analyse von Verkehrsdynamik im Allgemeinen nützlich sein und auch zur Verbesserung und Weiterentwicklung von PARTRAS.

## Literatur

- [1] Duda, Richard O.: *Pattern Classification and Scene Analysis* (Wiley, New York 2000)
- [2] Dorothee Allekotte, Michael Ganser, Michael Dinter, Frank Willems: *Neue Lösungen für das strategische Verkehrsmanagement in der IGLZ Frankfurt am Main* (Vortrag bei den verkehrswissenschaftlichen Tagen Dresden 2003)
- [3] Rüger, Bernhard: *Induktive Statistik: Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler* (Oldenbourg, München 1996)
- [4] Sedgewick, Robert: *Algorithmen* (Addison-Wesley, München 1991)
- [5] Vidyasagar, Mathukumalli: *A Theory of Learning and Generalization: With Applications to Neural Networks and Control Systems* (Springer, London 1997)
- [6] GEVAS software: *Verkehrsflusssimulation NONSTOP, Anwenderhandbuch* (GEVAS software 2003)