

## Reibwertpotenzialerkennung

Vortrag von  
Prof. Dr.- Ing. habil. Dr. h. c. R. Gnadler,  
Universität Karlsruhe  
an der Ungarischen Akademie der Wissenschaften  
am 01. Juli 2003

Nachfolgend möchte ich Ihnen unsere Arbeiten an einem System zur automatischen und permanent aktiven Erkennung des aktuell vorliegenden Kraftschlusspotenzials zwischen Fahrzeug und Fahrbahn vorstellen. Dabei wird zunächst aufgezeigt, welche Motivation zur Entwicklung eines solchen Systems führte. Nach einer Darstellung der geplanten Entwicklungsschritte wird die prinzipielle Funktionsweise des Systems erläutert. Abschließend wird eine mögliche Anwendung vorgestellt.

### **1.) Motivation**

Bei Straßenverkehrsunfällen werden alleine in Deutschland derzeit jährlich ca. 7.000 Personen getötet und ca. 500.000 verletzt. Um diese Zahlen deutlich zu verringern, das heißt um diese Unfälle zu verhindern oder zumindest deren Folgen zu vermindern, ist zunächst eine Analyse der Ursachen notwendig. Bei der Auswertung der statistischen Daten zeigt sich, dass 97 % der Unfälle mit Personenschaden auf menschliches Versagen zurückzuführen sind.

In der Abb. 1 sind die möglichen Fehlverhalten der Fahrzeugführer bei Verkehrsunfällen mit Personenschaden aufgetragen. Dabei fällt auf, dass „nicht angepasste Geschwindigkeit“ und „ungenügender Sicherheitsabstand“ zu den am häufigsten auftretenden Unfallursachen zählen. Hierbei bedeuten „nicht angepasst“ bzw. „ungenügend“, dass der Fahrer die jeweilige Fahrsituation, also die Kombination aus Fahrbahnzustand, Straßenführung und Fahrgeschwindigkeit nicht richtig beurteilt und seine Fahrweise nicht entsprechend den vorliegenden Verhältnissen angepasst hat.

Die beiden genannten menschlichen Fehlverhalten lassen sich also darauf zurückführen, dass die maximalen Reifenkräfte, die in der aktuellen Fahrsituation übertragbar waren, falsch eingeschätzt oder überschätzt wurden.

Die Auswirkung des Fahrbahnzustands auf die Bandbreite der übertragbaren Umfangskräfte bzw. der auftretenden Reibwerte zeigt Abb. 2. Eingezeichnet sind Umfangskräfte über dem Schlupf eines Lkw-Reifens bei verschiedenen Wasserhöhen. Es fällt auf, dass in einem bestimmten Wasserhöhenbereich, der nur einer leichten Benetzung mit Wasser entspricht, ein Reibwertsprung stattfindet. Noch deutlicher wird dieser Sprung bei einer Auftragung der jeweils maximalen Bremskraft bzw. des Reibwertes über der Wasserhöhe gemäß Abb. 3.

Es zeigt sich, dass auf trockener Fahrbahn ein Reibwert von nahezu 0,9 erreicht wird. Schon eine Wasserhöhe von nur 0,025 mm bewirkt, dass nur noch Maximalwerte von etwa 0,70 möglich sind. Dies entspricht einem Abfall von ca. 22 %. Die niedrigsten Reibwerte werden bekanntlich auf vereister Fahrbahn erreicht, wobei sich hier die Temperatur der Eisoberfläche extrem auswirkt. Bei Temperaturen um 0 °C können nur noch äußerst geringe Umfangskräfte übertragen werden.

Es kann also festgehalten werden, dass der Zustand der Fahrbanoberfläche bei einem vorgegebenen Fahrzeug mit einer bestimmten Bereifung den entscheidenden Einfluss auf die übertragbaren Kräfte hat. Weiter wird daraus deutlich, dass ein Fahrer in der Regel überfordert ist, wenn er nicht nur den Fahrbahnzustand erkennen soll, sondern auch noch

Reibwerte, Bremswege und Kurvengrenzgeschwindigkeiten in der richtigen Größe abschätzen soll.

Was ist also zu tun?

## 2.) Entwicklungsschritte

Es ist ein System zu entwickeln, welches das aktuell verfügbare Kraftschlusspotenzial ermittelt und diese Information in geeigneter Weise weiter verarbeitet. Bei der Entwicklung bzw. Verbreitung des Systems sind folgende Schritte geplant:

Im ersten Schritt wird ein System aufgebaut, das ohne Mitarbeit des Fahrers permanent aktiv ist und dem Kraftfahrzeug in jeder Betriebssituation die Kenntnis des aktuell verfügbaren Kraftschlusspotenzials vermittelt. Diese Information kann genutzt werden, um heutige Sicherheitssysteme wie beispielsweise ABS und ESP besser anzusteuern, als dies bisher möglich ist. Eine weitere Anwendung besteht darin, aus Abstandsmessgeräten bei gleichzeitiger Kenntnis von Fahrgeschwindigkeit und aktuellem Kraftschlusspotenzial erstmals echte Abstandswarner aufzubauen. Damit würden zahlreiche Auffahrunfälle vollständig vermieden. In den Fällen, in denen der Auffahrunfall nicht vollständig vermieden, aber zumindest die Auffahrgeschwindigkeit reduziert würde, könnte man von der Einführung einer „elektronischen Knautschzone“ sprechen.

Im zweiten Schritt könnten Fahrzeuge, die über ein entsprechendes System verfügen, ihre Erkenntnisse über das aktuelle Reibwertpotenzial an Folgefahrzeuge, beispielsweise telemetrisch, übermitteln. Diese Fahrzeuge könnten dann die Kraftschlussinformationen über die vor ihnen liegenden Streckenabschnitte nutzen, um ihre Fahrstrategie gegebenenfalls anzupassen. Dies könnte so ablaufen, dass in besonders gefährlichen, vorausliegenden Situationen dem Fahrer rechtzeitig Warnungen vermittelt werden, die bei Nichtbeachtung zu elektronischen Eingriffen in das Motor- und Bremsenmanagement führen.

Bei genügender Verbreitung solcher Systeme ist in einem dritten Schritt vorgesehen, die von den einzelnen Fahrzeugen ermittelten aktuellen Kraftschlusspotenziale telemetrisch an ein satellitengestütztes Navigationssystem weiter zu leiten. Dieses System wäre dann in der Lage, parallel zum geometrischen Straßenatlas einen Reibwertatlas aufzubauen bzw. zu pflegen. Damit könnte ein Navigationssystem in der Zukunft neben einem geometrischen Straßenatlas zusätzlich einen flächendeckenden, stets aktualisierten Reibwertatlas im Hintergrund zur Verfügung stellen.

Nach der Realisierung dieser Vision wären Unfälle beispielsweise vom Typ „zu hohe Geschwindigkeit in der Kurve“ oder „Auffahren wegen zu geringem Sicherheitsabstand“ praktisch ausgeschlossen.

Der wichtigste und erste Schritt zur Realisierung ist das System zur Erkennung des aktuellen Kraftschlusspotenzials, dessen prinzipielle Funktionsweise nachfolgend erläutert wird.

## 3.) Funktionsprinzip

Die Grundidee bei der Erkennung des aktuell zur Verfügung stehenden Kraftschlusspotenzials besteht darin, das Kraftschlusspotential nicht direkt zu messen, sondern aus einer Vielzahl von Informationen indirekt zu erkennen.

Hierzu werden mit „indirekten“ Sensoren möglichst viele Informationen, beispielsweise zur Fahrbahn, gesammelt. Ein Beispiel für eine solche Information ist die Temperatur der Fahrbahnoberfläche, die für sich alleine sicherlich keinerlei Aussage über den Reibwert liefert. Wie die [Abb. 4](#) veranschaulicht, kann allerdings eine Fahrbahntemperatur von +20 °C mit Sicherheit eine vereiste Straßenoberfläche ausschließen, während umgekehrt eine Fahrbahntemperatur von -10 °C ebenso sicher eine regennasse Straßenoberfläche ausschließen kann.

Wesentlich ist dabei also, dass die Ausgangssignale der Sensoren mit intelligenten Fragestellungen verknüpft werden, die nur eine begrenzte Anzahl an Antworten zulassen. Im Fall der zuvor genannten Fahrbahntemperatur könnte die Frage also lauten: „Ist die Fahrbahntemperatur höher als 20 °C?“ In diesem Fall wären die möglichen Antworten auf „ja“ oder „nein“ begrenzt.

Etwas näher am Kern des Systems befindet sich beispielsweise der Akustiksensord, der Geräusche zwischen Reifen und Fahrbahn aufnimmt und auf Aussagen zur Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche hin analysiert. Die Abb. 5 zeigt die Frequenzanalyse eines solchen Signals.

Die eigentliche Auswertung der von vielen Sensoren gelieferten Informationen wird mit einem Schrankenverfahren durchgeführt. Dabei wird jede von einem Sensor zur Verfügung gestellte Information genutzt, um zu entscheiden, ob ein bestimmter Fahrbahntyp bzw. Fahrbahnzustand ausgeschlossen oder dessen Vorhandensein bestätigt bzw. für möglich gehalten werden kann. Um zum Beispiel auf die Fahrbahntemperatur zurück zu kommen: Wird die Frage „Ist die Fahrbahntemperatur höher als 20 °C?“ mit „ja“ beantwortet, so können Glatteis und Schnee ausgeschlossen werden.

Dieses Prinzip sowie eine Reihe weiterer Sensoren, die bei diesem Verfahren eingesetzt werden, ist in mehreren, bereits veröffentlichten Patentschriften aufgeführt. So werden beispielsweise Temperaturen, akustische Signale, vertikale Achsbeschleunigungen und vieles mehr erfasst und mit intelligenten Fragen sowie einer begrenzten Zahl möglicher Antworten in die Auswertung einbezogen.

So kann die aktuell vorliegende Fahrbahn bzw. deren Zustand immer weiter eingeschränkt und schließlich genau bestimmt werden.

Sind nun die Fahrbahn und deren Zustand bekannt, kann für diese Kombination eine Klassifizierung bezüglich des erreichbaren Kraftschlusspotenzials angegeben werden. Dies erfolgt derzeit gemäß Abb. 6 durch Einordnung in eine von insgesamt 6 verschiedenen Reibwertklassen.

Wie kann nun die Information des aktuell verfügbaren Kraftschlusspotenzials genutzt werden?

#### **4.) Anwendungsmöglichkeiten**

In Abschnitt 2 wurden die verschiedenen Entwicklungsschritte aufgezeigt, die unter anderem auch die verbesserte Ansteuerung von Fahrsicherheitssystemen wie ABS und ESP sowie eine Abstandswarnung beinhalten. Im folgenden sei die Endausbaustufe in Beispielen etwas ausführlicher vorgestellt. Hierzu wird von folgender Situation ausgegangen:

Das Fahrzeug auf der linken Seite der Abb. 7 befährt eine Straße und detektiert auf dem aktuellen Streckenabschnitt ein geringes Kraftschlusspotenzial. Damit wird sofort das Regelverhalten der fahrzeugeigenen Sicherheitssysteme abgestimmt, hier haben zunächst die Insassen dieses Fahrzeugs einen direkten Nutzen von diesem System. Gleichzeitig wird die Reibwertinformation an ein satellitengestütztes Navigationssystem gesandt. Dort werden die Daten auf Plausibilität überprüft und anschließend in eine dynamische Reibwertkarte eingetragen.

Andere Fahrzeuge, wie beispielsweise das Fahrzeug auf der rechten Seite der Abb. 7, greifen nun im Rahmen der Routenberechnung auf diese Datenbank zu. Sie verfügen somit über Reibwertkenntnisse der vor ihnen liegenden Strecke, die auf vielfältige Weise genutzt werden können.

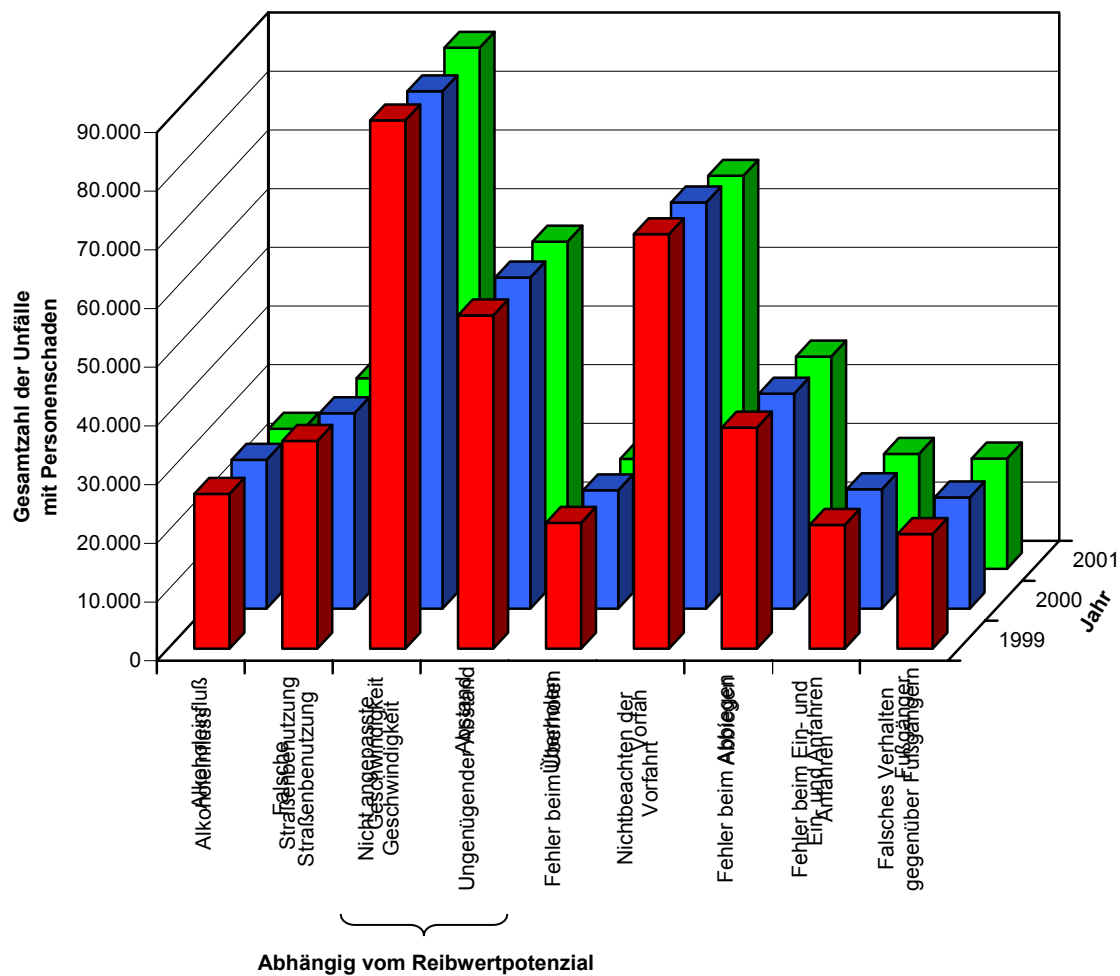
So kann zum Beispiel das Navigationssystem eine Ausweichroute berechnen und hierfür ebenfalls die Reibwertverhältnisse überprüfen. Gegebenenfalls wird so eine neue

Streckenführung gefunden, die Streckenabschnitte mit gefährlich geringen Kraftschlusspotenzialen meidet.

In einem anderen Beispiel könnte das Navigationssystem feststellen, dass eine vorausliegende Kurve ein relativ geringes Kraftschlussniveau hat und das Fahrzeug deshalb mit der momentanen Geschwindigkeit diese Kurve nicht durchfahren kann. Darauf würde der Fahrer rechtzeitig optisch oder akustisch gewarnt und im Extremfall könnten sogar Eingriffe in das Motor- bzw. Bremsenmanagement vorgesehen werden.

Angenommen, es können durch die Kenntnis des Reibwertpotentials 90 % der Unfälle vermieden werden, die auf „nicht angepasste Geschwindigkeit“ oder „ungenügenden Sicherheitsabstand“ zurückzuführen sind. Dies würde bedeuten, dass die Unfälle, die auf menschliches Versagen zurückgehen, um insgesamt 28 % reduziert würden.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass dieses System in der Endausbaustufe erstmals eine wirklich vorausschauende Fahrweise ermöglicht. Dabei ist der Begriff „vorausschauend“ nicht auf die Sichtweite des Fahrers beschränkt, sondern beinhaltet auch Streckenabschnitte, die er noch gar nicht sehen kann. Dies wäre endlich die Abkehr von der uralten Fahrstrategie, die noch aus der Zeit der Pferdekutschen stammt und die allein auf dem Prinzip beruht „Der Fahrer sieht etwas oder er wird gesehen“. Dieses Fahren nach dem Prinzip „Sehen und gesehen werden“ ist bei anderen Massenverkehrsmitteln wie Flugzeugen oder Hochgeschwindigkeitszügen längst Vergangenheit und es ist an der Zeit, diese mittelalterliche Fahrstrategie auch beim Kraftfahrzeug endlich zu überwinden. Der Dank für diese Anstrengungen werden höhere Sicherheit und weniger Tote im Straßenverkehr sein.



Quelle: Statistisches Bundesamt

Abb. 1: Fehlerverhalten der Fahrzeugführer bei Verkehrsunfällen mit Personenschaden in Deutschland. Einen wesentlichen Anteil haben die Fehlerverhalten „nicht angepasste Geschwindigkeit“ und „ungenügender Abstand“. Problematisch ist hierbei, dass das richtige Verhalten vom aktuellen Reibwertpotenzial abhängig ist.

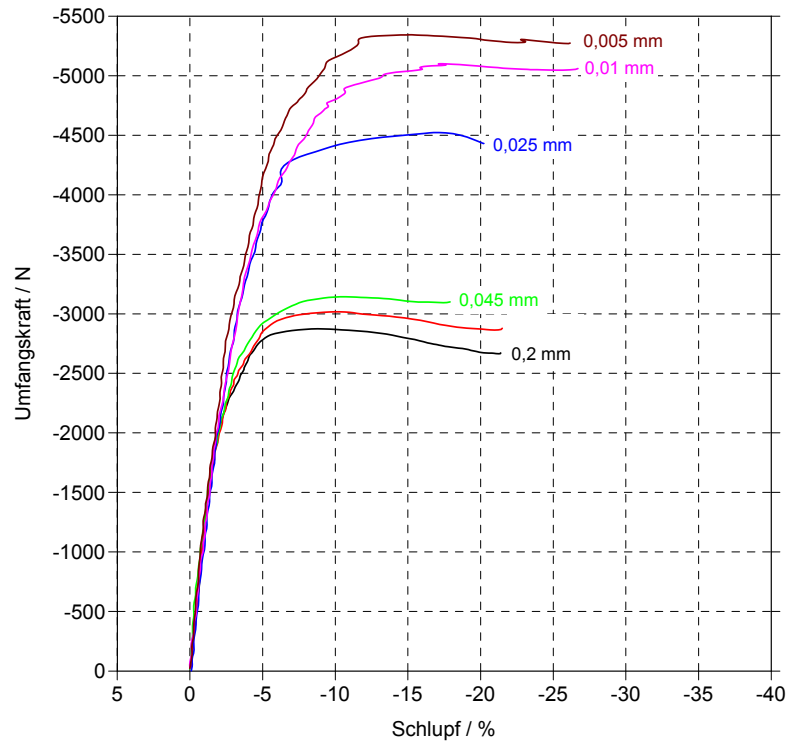


Abb. 2: Umfangskraft-Schlupf-Kurven eines Lkw-Reifens bei verschiedenen Wasserhöhen auf einer realen Fahrbahnoberfläche. Bereits bei sehr kleinen Wasserhöhen ist eine deutliche, sprungartige Abnahme der übertragbaren Kräfte zu erkennen.

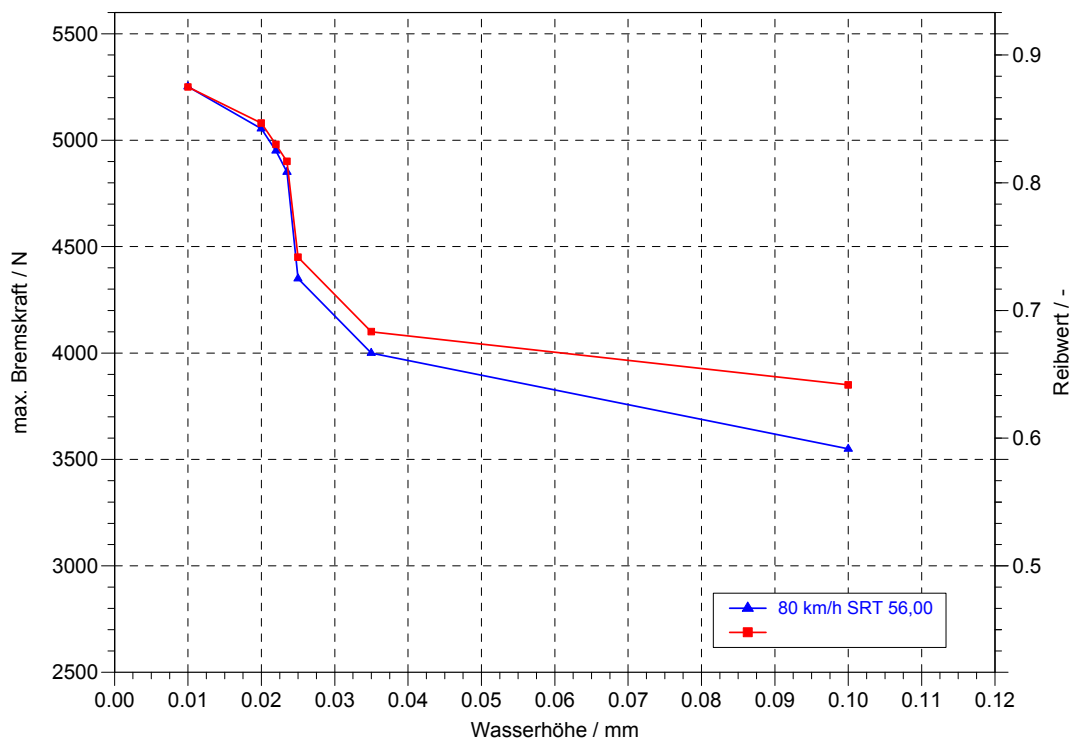


Abb. 3: Maximal übertragbare Bremskräfte bzw. Umfangskrafttreibwerte eines Lkw-Reifens in Abhängigkeit von der Dicke des Wasserfilms auf der Fahrbahn für zwei verschiedene Geschwindigkeiten. Signifikant ist der deutliche Abfall der maximalen Bremskräfte im Bereich zwischen 0,02 und 0,03 mm Wasserhöhe.

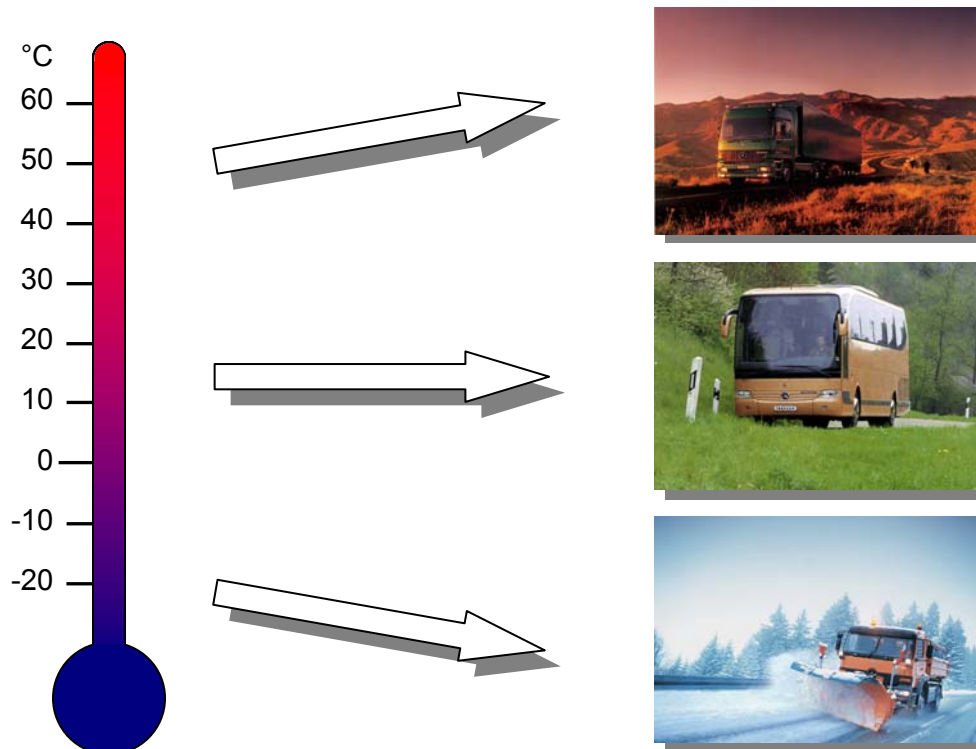


Abb. 4: Nutzung eines Temperatursensors zur Eingrenzung der möglichen Fahrbahnoberflächen bzw. Reibwerte.

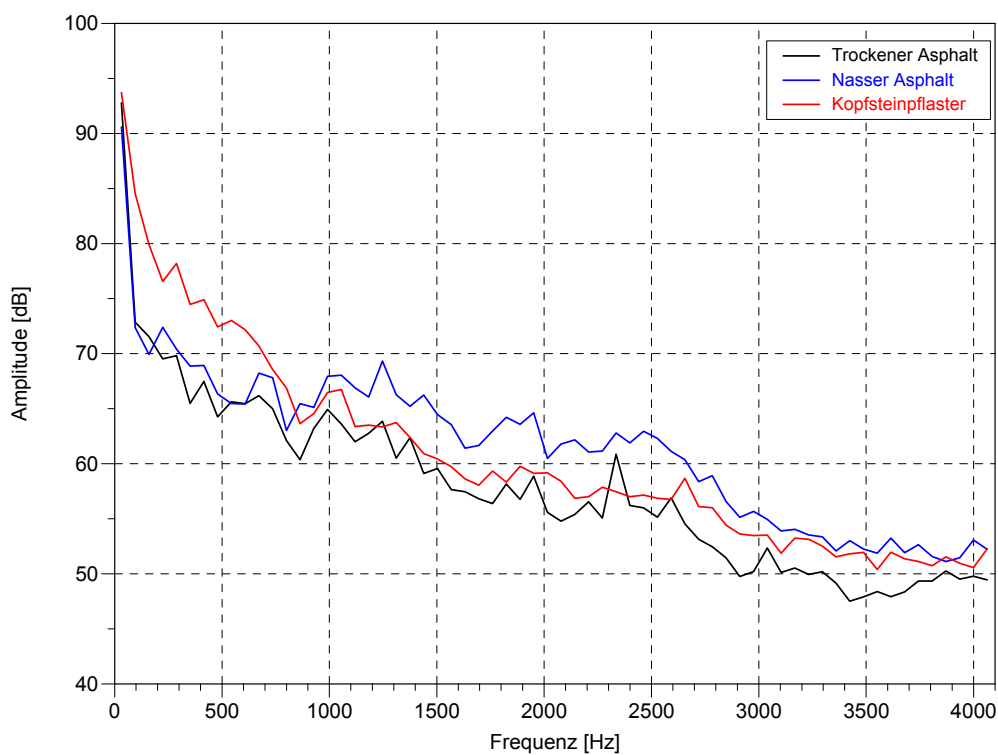


Abb. 5: Analyse des Reifen-Fahrbahngeräusches zur Erkennung verschiedener Fahrbahntypen bzw. -zustände anhand charakteristischer Kurveneigenschaften.

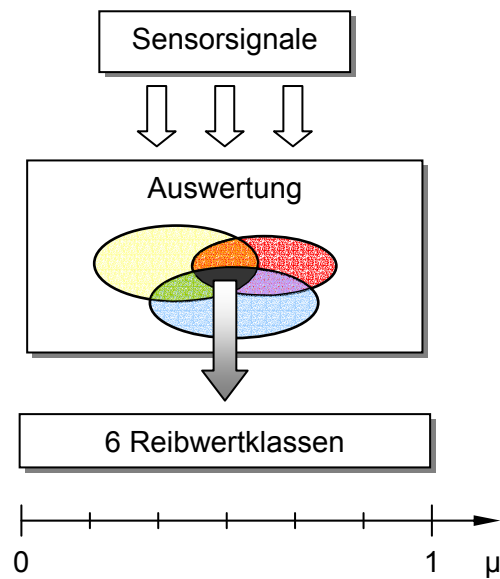


Abb. 6: Analyse der Signale der verschiedenen Sensoren mit Hilfe des Schrankenverfahrens und Einordnung der aktuellen Verhältnisse in Reibwertklassen.

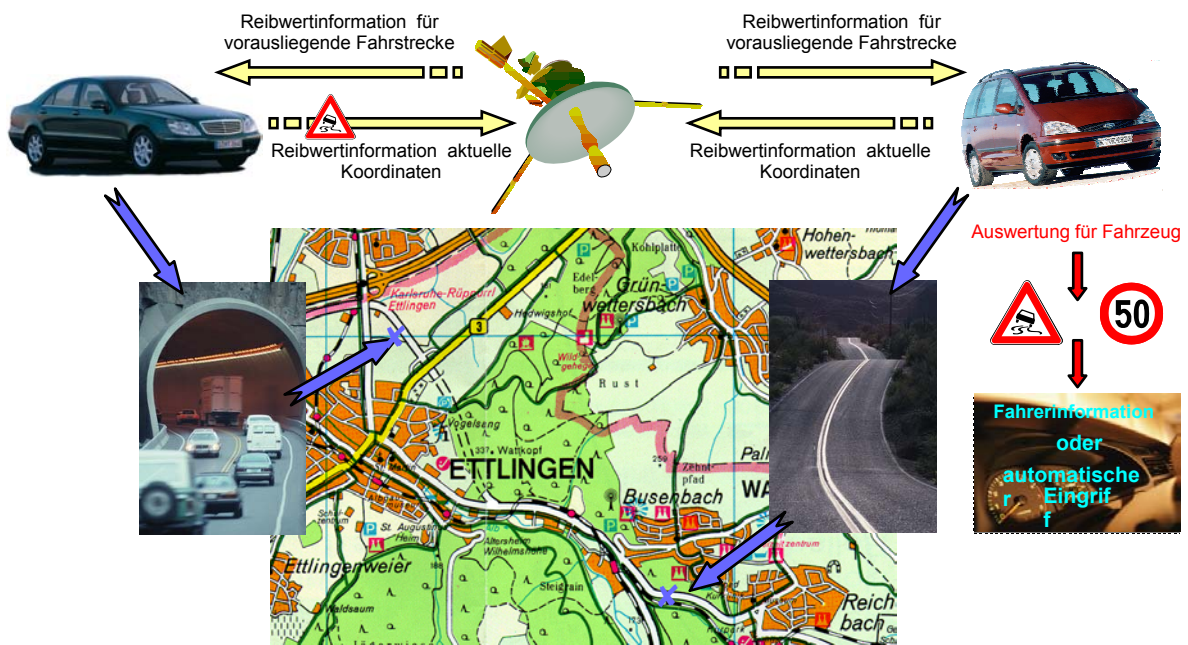


Abb. 7: Weitergabe der lokalen Reibwerte mit Hilfe satellitengestützter Navigationseinrichtungen. Durch Nutzung der aktuellen, mit geografischen Daten gekoppelten, Reibwertinformationen kann die Fahrweise im vorausliegenden Streckenabschnitt angepasst werden.