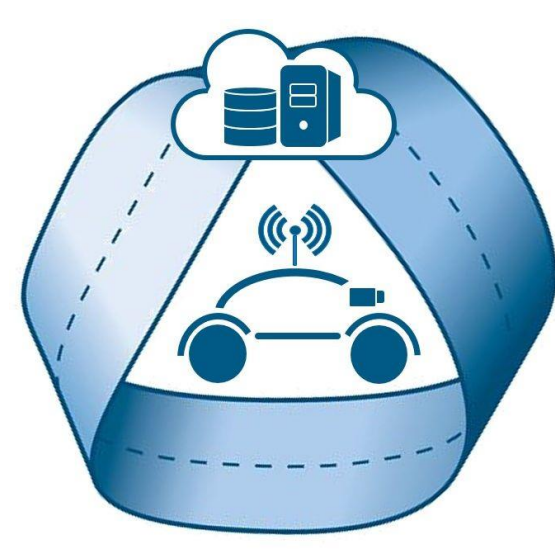




Statistische Eigenschaften des synchronisierten Verkehrs an einer bewegten Engstelle

Vincent Wiering, Boris Kerner und Michael Schreckenberg - Universität Duisburg-Essen

Einleitung

Ein Verkehrszusammenbruch ist ein Phasenübergang von **Freifluss (F)** zu **synchronisiertem Verkehr (S)**, welcher meistens an einer Engstelle geschieht. Die stromabwärtige Staufront des synchronisierten Verkehrs ist an der Engstelle fixiert, während die stromaufwärtige Staufront weiter stromaufwärts wandert. Innerhalb des synchronisierten Verkehrs kann spontan Freifluss entstehen oder ein **sich bewegendem breiter Stau (J)**, da es zu S→F Instabilitäten oder zu S→J Instabilitäten kommen kann. Ein Vergleich von zwei verschiedenen Engstellen zeigt einen Unterschied in dem stochastischen Verhalten dieser beiden Instabilitäten.

Methode

Mit dem **Kerner-Klenov Modell (KKL Modell)** wird eine zweispurige Autobahn simuliert (Abb. 1), einmal mit einem **sich langsam bewegenden Fahrzeug (MB)** und einer **Auffahrt (on)**. Um die beiden Engstellen miteinander vergleichen zu können, wird als Grundlage die Wahrscheinlichkeit eines Verkehrszusammenbruchs genommen. Bei unterschiedlichen Werten von v_{MB} und q_{on} wird bestimmt bei welchem Wert von q_{in} die Wahrscheinlichkeit den Wert 0,5 hat (Abb. 2 (a) und (b)). Dadurch werden **Wertepaare** ($v_{MB}|q_{on}$) gefunden, die beim gleichen Verkehrsfluss q_{in} die Wahrscheinlichkeit eines Verkehrszusammenbruchs von 0,5 haben (Abb. 2 (c)).

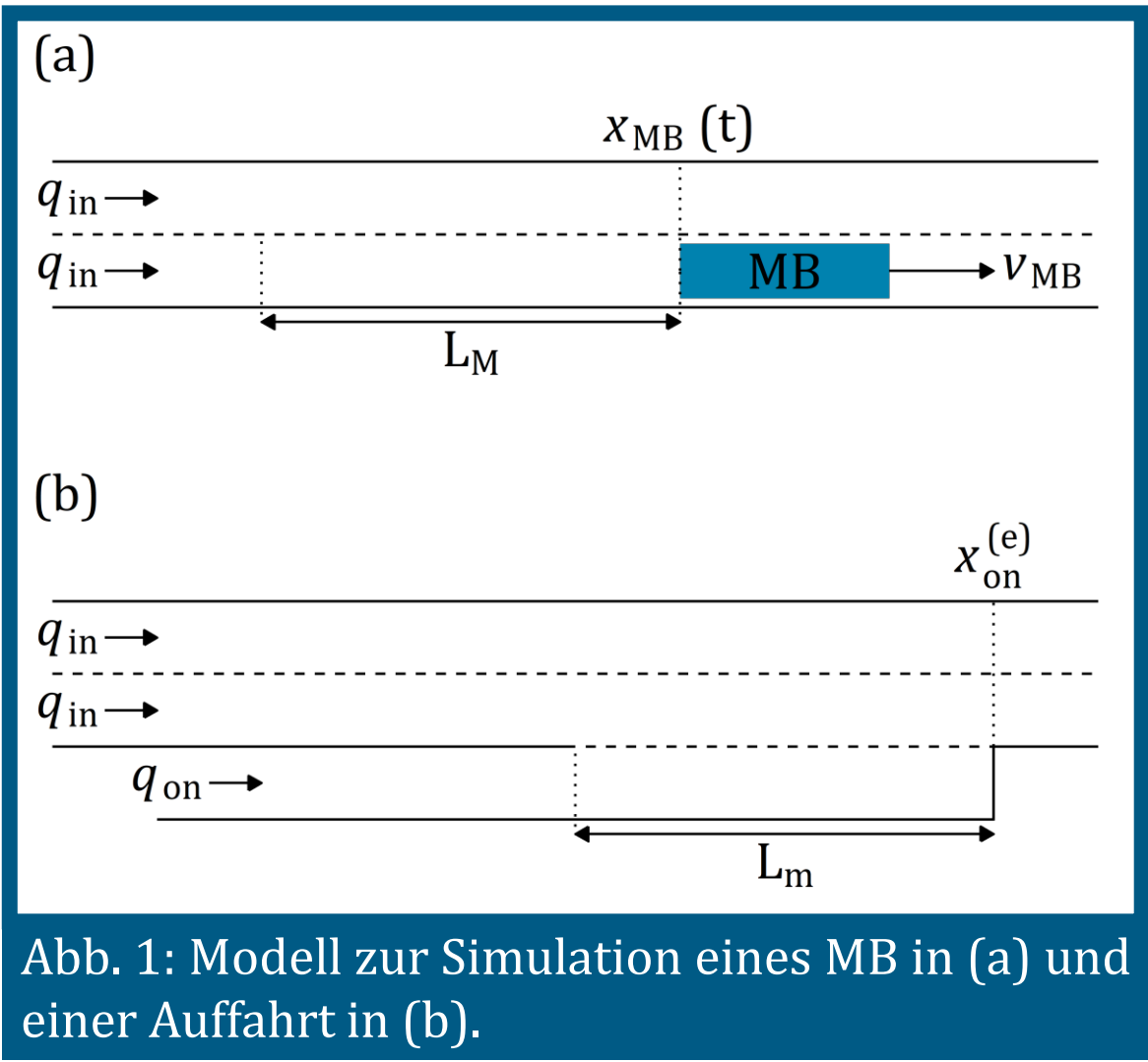


Abb. 1: Modell zur Simulation eines MB in (a) und einer Auffahrt in (b).

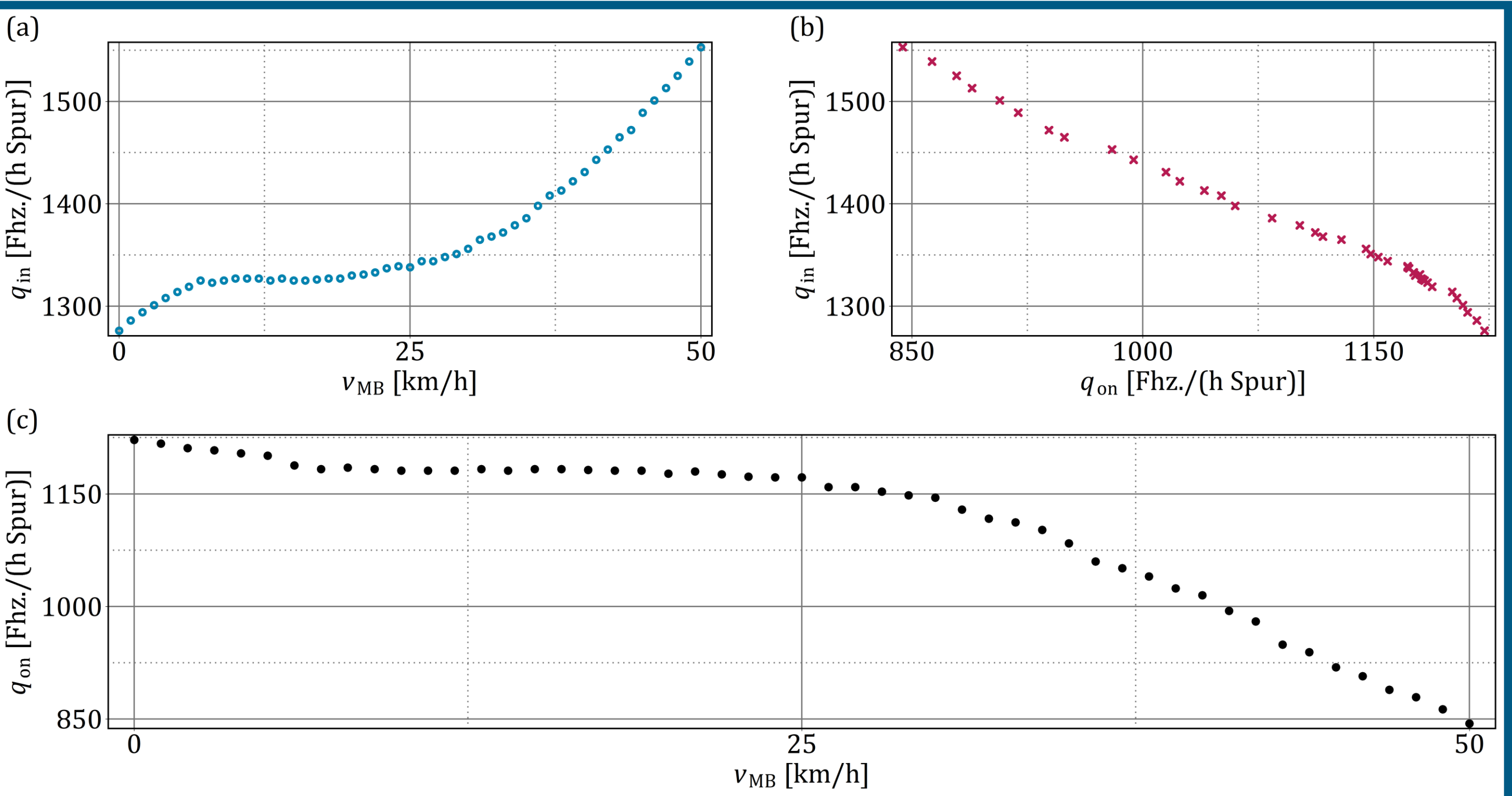


Abb. 2: Verkehrsfluss q_{in} , bei dem die Wahrscheinlichkeit eines Verkehrszusammenbruchs den Wert 0,5 hat, gegen die Geschwindigkeit v_{MB} in (a) und gegen den Verkehrsfluss q_{on} in (b). Die daraus resultierenden Wertepaare ($v_{MB}|q_{on}$), bei denen die beiden Engstellen miteinander verglichen werden können, sind in (c) gezeigt.

Vergleich von Staumustern

Aufgrund der oben genannten Methode zeigen die Wertepaare in Abb. 2 (c) für MB und Auffahrt das gleiche statistische Verhalten für einen Verkehrszusammenbruch beim gleichen Verkehrsfluss q_{in} . Nachdem allerdings ein Zusammenbruch erfolgt ist, zeigt eine Betrachtung der entstehenden Staumuster einen qualitativen Unterschied zwischen einem MB und einer Auffahrt (Abb. 3).

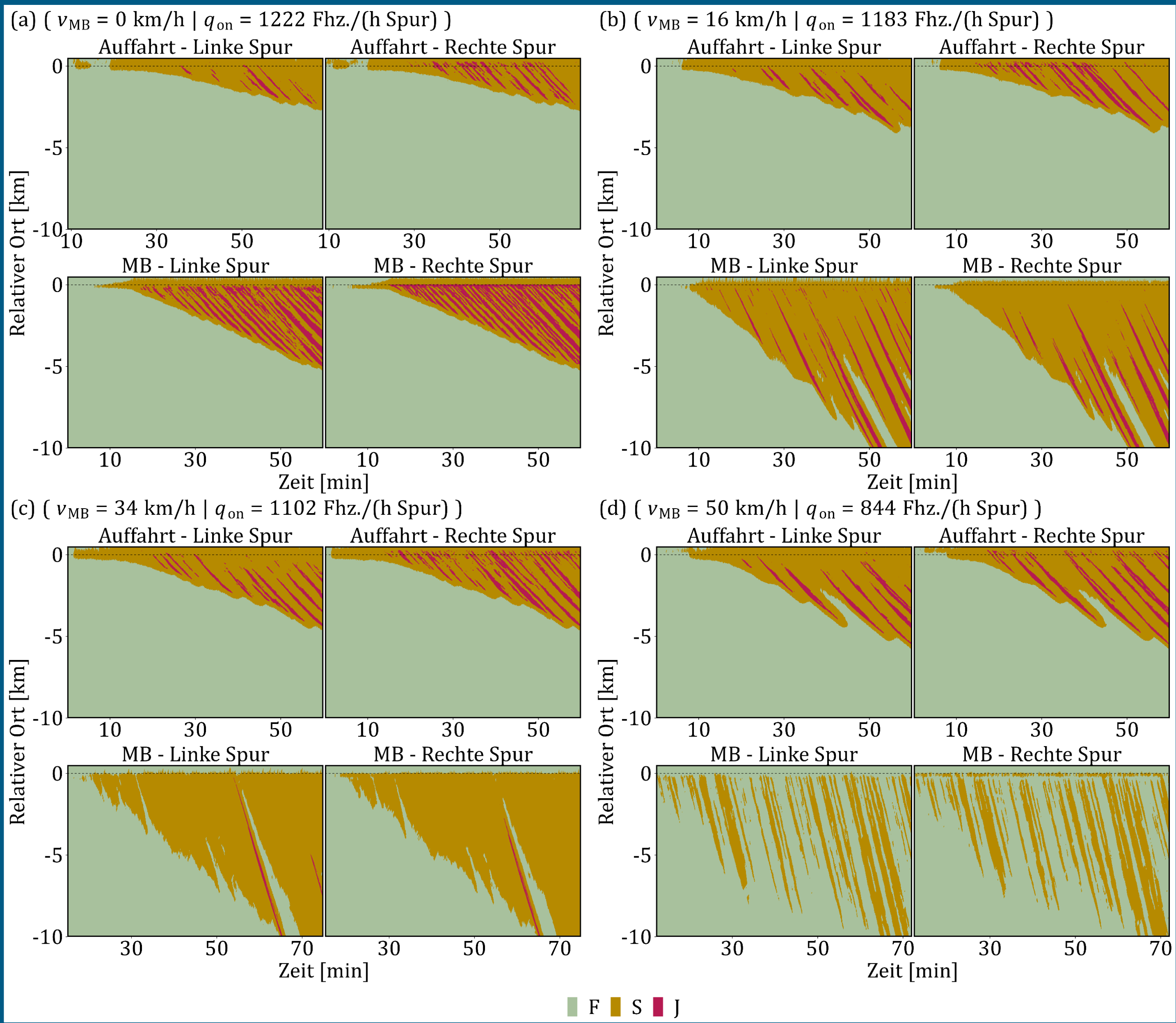


Abb. 3: Vergleich der Staumuster, welche an einem MB und an einer Auffahrt entstehen. Der Vergleich findet unter der Bedingung statt, dass die Wahrscheinlichkeit eines Verkehrszusammenbruchs den Wert 0,5 hat. Der Verkehrsfluss q_{in} ist 1276 Fhz./h Spur in (a), 1325 Fhz./h Spur in (b), 1379 Fhz./h Spur in (c) und 1553 Fhz./h Spur in (d).

Wahrscheinlichkeit für S→F und S→J Instabilität

Um den gezeigten Unterschied in den Staumustern an dem MB und an der Auffahrt zu erklären, wird in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v_{MB} und dem Verkehrsfluss q_{on} die **Wahrscheinlichkeit** P_{SF} bestimmt, mit der eine S→F Instabilität entsteht, bevor eine S→J Instabilität auftaucht oder der Simulationszeitraum von 60 min endet. Analog wird die **Wahrscheinlichkeit** P_{SJ} für die S→J Instabilität bestimmt (Abb. 4).

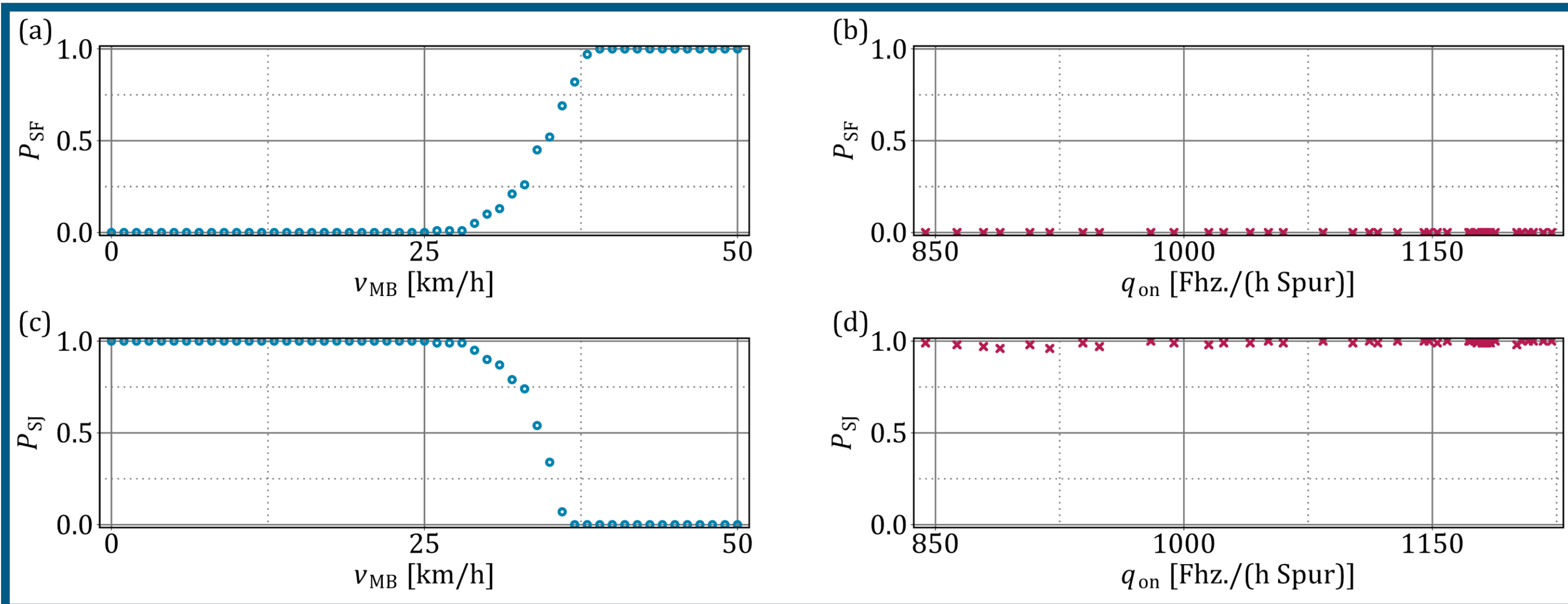


Abb. 4: Wahrscheinlichkeit für eine S→F Instabilität P_{SF} und einer S→J Instabilität P_{SJ} an einem MB und an einer Auffahrt in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v_{MB} bzw. des Verkehrsflusses q_{on} .

Verdünnung des synchronisierten Verkehrs

Der Grund für das unterschiedliche Verhalten der Wahrscheinlichkeiten P_{SF} und P_{SJ} liegt in den **Abständen $\bar{g}^{(S)}$ zwischen den Fahrzeugen im synchronisierten Verkehr** (Abb. 5). Da die stromabwärtige Front des synchronisierten Verkehrs an der Engstelle fixiert ist, bewegt sich diese im Fall des MB mit der Geschwindigkeit v_{MB} , während sich die stromaufwärtige Front unabhängig davon weiter stromaufwärts bewegt. Dadurch kommt es zu einer **Verdünnung des synchronisierten Verkehrs**.

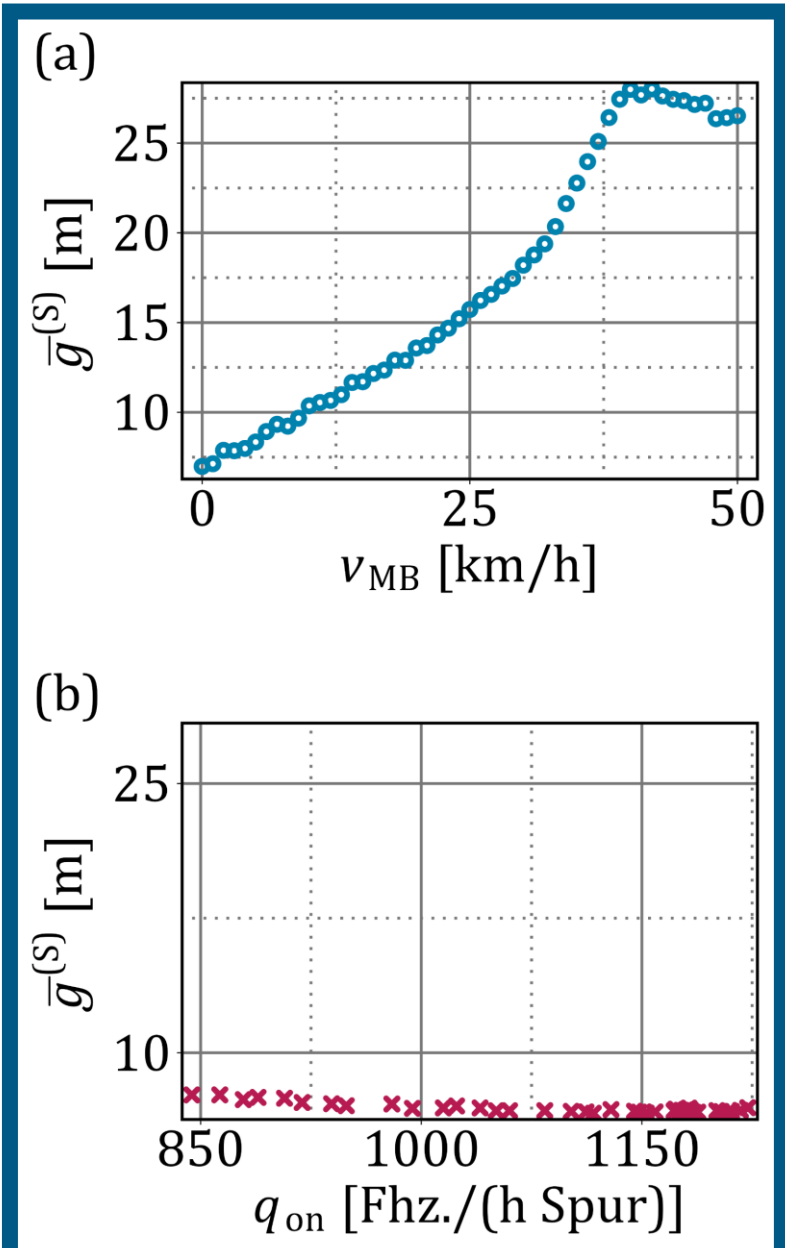


Abb. 5: Mittlere Abstand $\bar{g}^{(S)}$ im synchronisierten Verkehr an einem MB und an einer Auffahrt in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v_{MB} bzw. des Verkehrsflusses q_{on} .

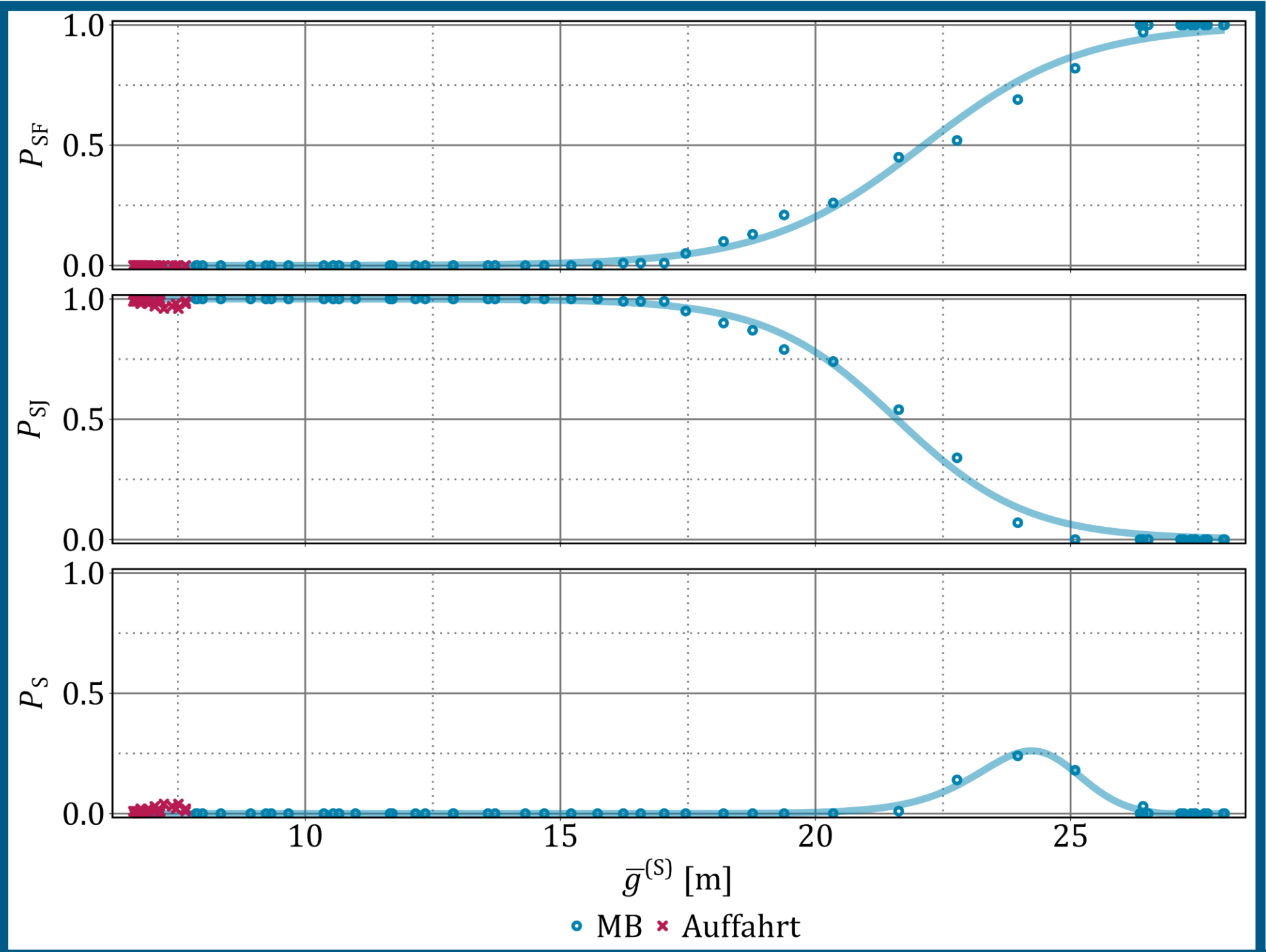


Abb. 6: Wahrscheinlichkeit P_{SF} , P_{SJ} und P_S an einem MB und an einer Auffahrt in Abhängigkeit des mittleren Abstands $\bar{g}^{(S)}$ im synchronisierten Verkehr.

Konkurrenzkampf zwischen der S→F und S→J Instabilität

Innerhalb des synchronisierten Verkehrs an einer Engstelle kommt es zu einem raumzeitlichen Konkurrenzkampf zwischen der S→F und der S→J Instabilität. Daher gibt es **drei grundsätzliche Fälle**, die eintreten können:

1. Eine S→F Instabilität wächst und führt zum entsprechenden S→F Phasenübergang.
2. Eine S→J Instabilität wächst und führt zum entsprechenden S→J Phasenübergang.
3. Keine der beiden Instabilitäten wächst und sie lösen sich wieder auf. Der synchronisierte Verkehr bleibt ununterbrochen.

Bei dem MB gibt es ein Intervall der Geschwindigkeit $v_{MB} \in [34 \text{ km/h}; 38 \text{ km/h}]$ bzw. des mittleren Abstands $\bar{g}^{(S)} \in [22 \text{ m}; 26 \text{ m}]$ in der die Wahrscheinlichkeiten P_{SF} , P_{SJ} und P_S alle größer als Null sind. Entsprechend ist es möglich bei identischen q_{in} und v_{MB} alle drei Fälle zu beobachten.

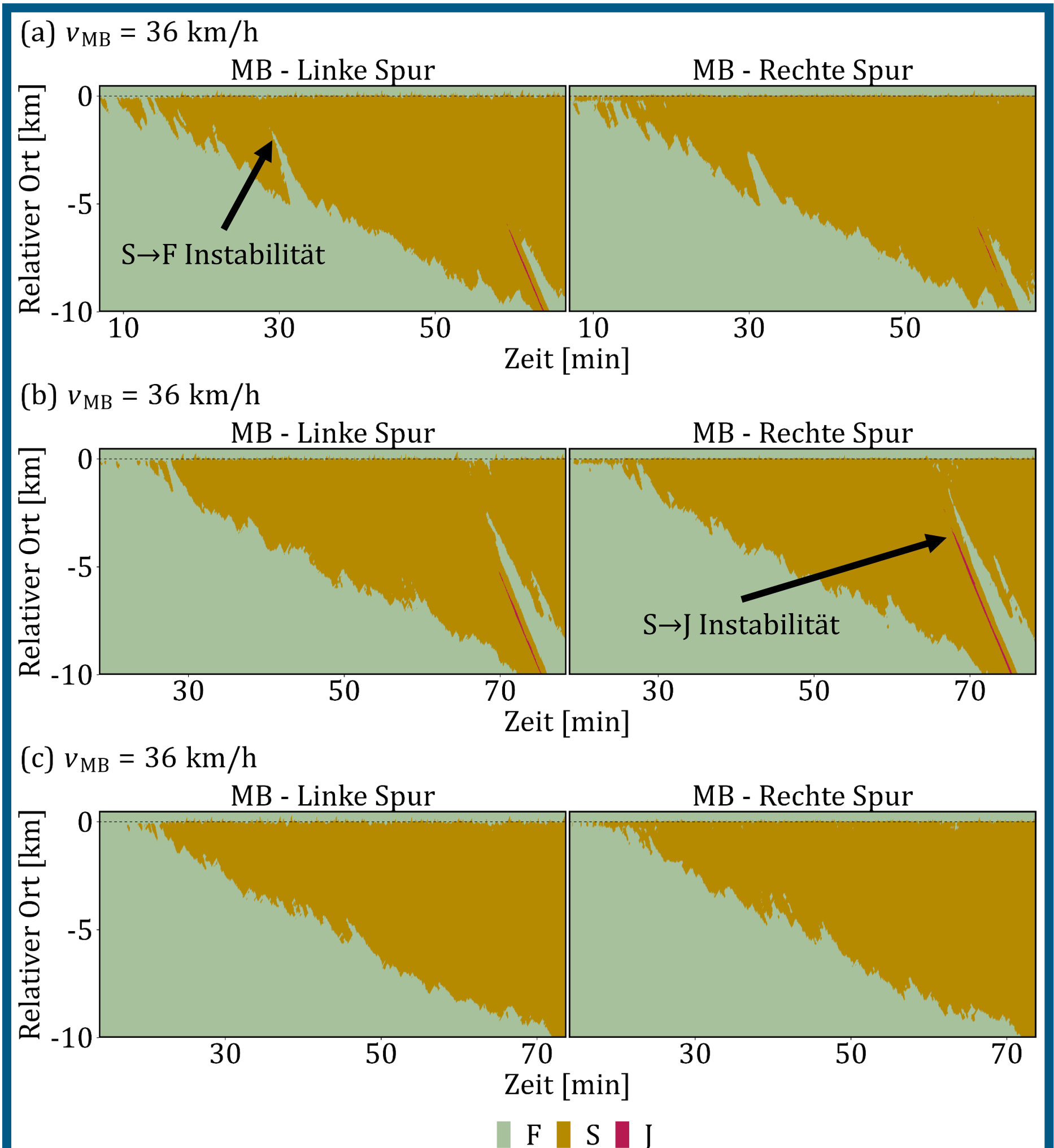


Abb. 7: Verschiedene Staumuster bei identischen Simulationsparametern. In (a) ist eine S→F Instabilität, in (b) eine S→J Instabilität und in (c) keine Instabilität. Der Verkehrsfluss q_{in} ist 1398 Fhz./h Spur.

Veröffentlichung: Vincent Wiering, Sergey L. Klenov, Boris S. Kerner und Michael Schreckenberg, „Statistical physics of the development of Kerner’s synchronized-to-free-flow instability at a moving bottleneck in vehicular traffic“, Physical Review E **106**, 054306 (2022)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



BOSCH
Technik fürs Leben



Mercedes-Benz



universität
uulm

Stadt

ulm



INGENIEURBÜRO SPIES
ELEKTRONIK DATENTECHNIK SYSTEMLÖSUNGEN