

F+E-Vorhaben BlueGreenStreets

Gefördert von  
Bundesministerium für Bildung und Forschung  
Forschung für Nachhaltige Entwicklung  
Ressourceneffiziente Stadtquartiere

# Leitfaden: Beurteilung Verkehrssicherheit städtische Notwasserwege

Hochschule Karlsruhe  
Institut für Verkehr und Infrastruktur  
Prof. Dr. Jochen Eckart  
M.Sc. Jonas Fesser

Karlsruhe, den 01.06.2022

## Inhaltsverzeichnis

1. Ziel des Leitfadens4
2. Herausforderung Starkregenereignisse auf Stadtstraßen5
  - 2.1. Anpassung von Stadtstraßen an die Folgen des Klimawandels5
  - 2.2. Notwasserwege für die Mitbenutzung von Stadtstraßen zur temporären Notableitung und Rückhaltung von Starkregenereignissen5
3. Die Verkehrssicherheit von Notwasserwegen7
  - 3.1. Literaturanalyse Verkehrssicherheit Notwasserwege8
    - 3.1.1. Niederschlag8
    - 3.1.2. Wasserstände bis 1 cm10
    - 3.1.3. Wasserstände 1 bis 20 cm11
  - 3.2. Rechtliche Rahmenbedingungen von Notwasserwegen14
  - 3.3. Analyse bestehender Notwasserwege15
  - 3.4. Befragung von Verkehrsteilnehmende16 ..... 16
  - 3.5. Unfallanalyse für Starkregenereignisse17
  - 3.6. Videobasierte Verkehrskonfliktanalyse von überfluteten städtischen Straßen19
    - 3.6.1. Anzahl und Typ der Konflikte20
    - 3.6.2. Wasserstand und Konflikttypen21
    - 3.6.3. Wasserstand und Konfliktschwere22
    - 3.6.4. Wasserstand und Geschwindigkeit23
  - 3.7. Muster Gefahrensituationen Überflutungen städtische Straßen23
4. Empfehlungen für die Planung von Notwasserwegen27
  - 4.1. Übersicht Ablauf Planung und Bewertung von Notwasserwegen27
  - 4.2. Vorauswahl geeigneter Standorte Notwasserwege28
    - 4.2.1. Kriterien Vorauswahl potenzieller Standorte Notwasserwege28
    - 4.2.2. Vorauswahl Standort Solingen Heukämpchenstraße29
  - 4.3. Analyse Verkehrssicherheit Vorzustand mögliche Standorte Notwasserwege29
    - 4.3.1. Kriterien und Methoden für Analyse Verkehrssicherheit von Notwasserwegen29
    - 4.3.2. Analyse Verkehrssicherheit Vorzustand Heukämpchenstraße32
  - 4.4. Empfehlungen für die Gestaltung von Notwasserwegen33
    - 4.4.1. Temporäre Ableitung von Starkniederschlägen33
    - 4.4.2. Temporäre Rückhaltung von Starkniederschlägen34
    - 4.4.3. Synergien mit der Verkehrsberuhigung34
  - 4.5. Varianten Notwasserweg Heukämpchenstraße34
    - 4.5.1. Variante 1: Notwasserweg innerhalb bestehender Borde35
    - 4.5.2. Variante 2: Notwasserweg als konventioneller Querschnitt36
    - 4.5.3. Variante 3: Notwasserweg als Mischverkehrsfläche37

- 4.6. Verkehrssicherheitsaudit geplante Notwasserwege37
  - 4.6.1. Bewertung Verkehrssicherheit Notwasserwege37
  - 4.6.2. Analyse Verkehrssicherheit Notwasserweg Heukämpchenstraße39
- 4.7. Umsetzung Notwasserwege40
- 4.8. Monitoring von Notwasserwegen41
- 5. Ausblick Notwasserwege43
  - I. Anhang44
    - 45
    - 47
    - 49
    - 51

## 1. Ziel des Leitfadens

Kommunen stehen vor der Herausforderung der Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Dazu zählen die zunehmenden Starkregenereignisse und die damit einhergehende Überflutungen. Ein Lösungsvorschlag ist die Nutzung von Straßen als Notwasserwege für die temporäre Rückhaltung und Notableitung von Wasser bei starken lokalen Regenfällen. Von Seiten der Verkehrsplanung bestehen allerdings noch Bedenken hinsichtlich Verkehrssicherheit und Verkehrssicherungspflicht für solche Straßen, die auch als Notwasserwege dienen sollen. Unklar war bisher, unter welchen Rahmenbedingungen Notwasserwege aus Sicht der Verkehrssicherheit geeignet oder vertretbar sind und an welchen Beurteilungskriterien dies zu bemessen sei. Vielen Praxispartnerinnen und Praxispartnern fehlen Hilfestellungen für die erfolgreichen Umsetzung von Notwasserwegen.

Ziel des Leitfadens ist, den Einfluss von temporären Überflutungen bei Starkregenereignissen auf die Verkehrssicherheit zu erläutern und die Möglichkeiten und Grenzen des verkehrssicheren Einsatzes von Notwasserwegen darzustellen. Die erforderliche Prozessgestaltung wird ebenso aufgezeigt wie Lösungen für eine effektive Umsetzung von Notwasserwege-Pilotvorhaben. Eine Methodik zur Auswahl und die Gestaltungsmöglichkeiten von geeigneten Standorten für gezielte temporäre Rückhaltung und Notableitung werden erläutert. Konkrete Bewertungsmaßstäbe für die Beurteilung der Verkehrssicherheit von Notwasserwegen werden präsentiert. Abschließend wird ein Konzept für das Monitoring eines umgestalteten Straßenraums dargestellt.

Der Leitfaden richtet sich an Akteurinnen und Akteure aus der Planungspraxis, insbesondere der kommunalen Verkehrsplanung, Siedlungswasserwirtschaft und Freiraumplanung, die Notwasserwege entwerfen und umsetzen. Die bestehenden Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit von Notwasserwegen werden verständlich, praxisnah und auf dem aktuellen Forschungsstand entsprechend dargestellt.

Der Leitfaden konzentriert sich auf die verkehrlichen Rahmenbedingungen von Notwasserwegen. Für die wasserwirtschaftlichen Aspekte von Notwasserwegen wird auf die Darstellungen von Benden (2014), Valée & Benden (2010), Waldhoff et al. (2012), Günthert & Faltermaier (2016) sowie Riegel et al. (2013) verwiesen.

## 2. Herausforderung Starkregenereignisse auf Stadtstraßen

### 2.1. Anpassung von Stadtstraßen an die Folgen des Klimawandels

Die Klimawandelfolgen zeigen sich weltweit und sind auch in Deutschland längst spürbar (Germanwatch 2019). Mit austauschärmeren Wetterlagen im Zuge der Klimakrise ist mit einer Zunahme konvektiver Starkregenereignisse in Mitteleuropa zu rechnen (Deutschländer & Mächel 2017, IPCC 2013, UBA 2019). Durch den hohen Versiegelungsgrad in städtischen Gebieten fließt ein großer Anteil des anfallenden Niederschlagswassers ab. Da städtische Entwässerungssysteme nicht für seltene Starkregenereignisse dimensioniert sind, kann es zu einer Überlastung des Entwässerungssystems kommen. Betroffen ist dann die Kanalisation oder Elemente der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. Das Niederschlagswasser kann in diesen Fällen nicht mehr in die Entwässerungssysteme eingeleitet werden oder tritt aus diesen aus. Es besteht die Gefahr, dass der Niederschlag unkontrolliert, dem Geländeprofil folgend, oberflächlich abfließt. Straßen bilden häufig die „natürlichen“ Fließwege. Vor allem in dicht besiedelten urbanen Gebieten ist das Schadenspotenzial von durch Starkregenereignisse ausgelösten Überflutungen enorm, da schützenswerte Nutzungen und Infrastrukturen oftmals nicht ausreichend vor Überflutungen geschützt sind.

Viele Kommunen müssen daher ihre Entwässerungssysteme an die voraussichtliche Klimafolge verstärkt auftretender Starkregenereignisse anpassen (Deutschländer und Dalelane 2012, Becker et al. 2016). Eine Kapazitätserweiterung der konventionellen Entwässerungsinfrastruktur, z.B. durch die Verwendung von Kanalisationsrohren mit einem größeren Durchmesser, stellt für viele Kommunen aus ökologischer und ökonomischer Sicht keine realistische Lösung dar. Die Überflutungsvorsorge erfordert vielmehr einen integrierten Ansatz, der die gesamte Kommune, so auch die Verkehrsplanung, einbezieht. Stadtstraßen erfüllen bei Starkregen bereits heute faktisch eine Speicher- bzw. Ableitungsfunktion, indem sie das aus den Straßeneinläufen austretende Wasser auffangen und ableiten. Der Beitrag von Stadtstraßen zur Anpassung an Überflutungen durch konvektive Starkregenereignisse kann darüber hinaus aber auch aktiv gestaltet werden.

### 2.2. Notwasserwege für die Mitbenutzung von Stadtstraßen zur temporären Notableitung und Rückhaltung von Starkregenereignissen

Stadtstraßen erfüllen grundsätzliche Funktionen: Verbindungsfunktion, Erschließungsfunktion und Aufenthaltswirkung. Darüber hinaus haben Stadtstraßen auch die Aufgabe, das auf ihnen anfallende Niederschlagswasser schadlos aufzunehmen und in das Entwässerungssystem abzuleiten. Die RAS EW (FGSV 2005) konzentriert sich dabei auf den Bemessungsregen im „Normalfall“. Bei Entwässerung über Mulden ist dies ein einjähriges, bei Mittelstreifenentwässerung ein dreijähriges, bei Straßentiefpunkten ein zweijähriges und bei Trogstrecken ein zehn- bis zwanzigjähriges Niederschlagsereignis. Extreme Starkregenereignisse mit einer selteneren Wiederkehrzeit werden bisher von der RAS EW nicht berücksichtigt.

Stadtstraßen können jedoch einen Beitrag zum Schutz vor Überflutungen durch konvektive Starkregenereignisse liefern. So wird von Benden (2014), Valée & Benden (2010), Waldhoff et al. (2012), Günthert & Faltermaier (2016), Riegel et al. (2013) und der TU Kaiserslautern & Pecher (2011) eine gezielte Mitbenutzung von Verkehrsflächen für eine kontrollierte temporäre Notableitung und Rückhaltung von Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen vorgeschlagen. Für Kommunen könnte die Mitbenutzung von Verkehrsflächen ein kostengünstiges Konzept zur Vorsorge vor Schäden durch Starkregenereignisse darstellen. Das KompetenzNetzwerk Hamburg Wasser (2010) definiert das Konzept für die Mitbenutzung von (Verkehrs-)Flächen für die Bewirtschaftung von Starkregenereignissen folgendermaßen:

*„Mitbenutzte Flächen, wie beispielsweise Verkehrsflächen, [...] unterliegen einer Hauptnutzung und werden im Starkregenfall zur temporären Zwischenspeicherung und/oder zum*

*Transport von Abflussspitzen für den Überflutungsschutz [...] genutzt. Bei den hier genannten extremen Regen handelt es sich um Ereignisse, die [...] für Straßen in der Regel seltener als alle 10 Jahre auftreten. Die Mitbenutzung von Flächen ist daher nicht der Normalfall, sondern die Ausnahme. Zudem ist die Entleerungszeit auf etwa 12 bis maximal 24 Stunden angesetzt, so dass innerhalb kürzester Zeit die Hauptnutzung wieder erfolgen kann.“*

Im Folgenden wird eine solche Mitbenutzung von Straßen für die temporäre Notableitung und Rückhaltung von Starkregenereignissen als Notwasserwege bezeichnet. Eingebunden in übergeordnete Konzepte zur klimaangepassten Gestaltung blau-grüner Straßenräume, können Notwasserwege zur Erhöhung der Resilienz von städtischen Gebieten gegenüber den Folgen des Klimawandels beitragen.

Für Notwasserwege eignen sich Straßenräume mit großzügigen Platzverhältnissen sowie angrenzende Freiflächen oder Vorfluter zur schadlosen Ableitung des Niederschlagswassers. Die Gestaltung von Notwasserwegen umfasst einfache bautechnische Anpassung, z.B. großzügig dimensionierte Rinnensysteme, Hochborde oder Schwellen. Mit deren Hilfe werden das anfallende Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen gelenkt und von schutzwürdiger Nutzung ferngehalten. Weitere Hinweise zur Gestaltung von Notwasserwegen liefern Benden (2014), Valée & Benden (2010), Waldhoff et al. (2012), Günthert & Faltermaier (2016) sowie Riegel et al. (2013).

### 3. Die Verkehrssicherheit von Notwasserwegen

Starkregenereignisse und Überflutungen können sich auf die Verkehrssicherheit von Stadtstraßen auswirken. Grundsatz der RAS EW (FGSV 2005) ist, dass das auf Straßen anfallende Niederschlagswasser deren Benutzbarkeit möglichst wenig beeinträchtigen soll. Starkregenereignisse können die Benutzbarkeit und Sicherheit von Straßen durch Sichtbeeinträchtigungen, eingeschränkte Befahrbarkeit, geringe Griffigkeit zwischen Reifen und Fahrbahn, der Gefahr von Aquaplaning, der Gefahr von Alleinunfällen von Kfz durch Wasserschlag oder die Zunahme der Sturzgefahr für Zufußgehende beeinträchtigen. Es besteht daher teilweise die Befürchtung, dass Notwasserwege zu einer Zunahme der Anzahl und Schwere von Unfällen führen (TU Kaiserslautern & Pecher 2011; Riegel et al. 2013).

Jedoch gibt es auch Stimmen (Benden 2014, Kyte et al. 2000, Karlaftis und Yannis 2010), die Befürchtungen zur Verkehrssicherheit von Notwasserwegen in Frage stellen. So hängt die Verkehrssicherheit stark vom Verhalten der Verkehrsteilnehmenden ab. Sie können die Gefährdung bei Überflutung durch Anpassungsreaktionen wie z.B. Reduzierung der Geschwindigkeiten kompensieren. Die eventuelle Gefährdung der Verkehrssicherheit durch Notwasserwege ist darüber hinaus mit deren Beitrag zum Hochwasserschutz abzuwägen. So können Notwasserwege die Gefährdungen für schutzwürdige Nutzungen durch unkontrolliert abfließendes Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen reduzieren.

Die Verkehrssicherheit von Notwasserwegen wird mit einem Multimethodenansatz analysiert und die Muster von typischen Gefahrensituationen ermittelt.

- Die Literatur zu Auswirkungen von Starkregenereignissen auf die Verkehrssicherheit wird ausgewertet.
- Die Erfahrungen aus bestehenden Fallbeispielen von Notwasserwegen werden dokumentiert und analysiert.
- Verkehrsteilnehmende werden zu ihrem Verhalten bei Starkregenereignissen und überfluteten Straßen befragt.
- In den Städten Karlsruhe, Bretten, Solingen und Hamburg werden die polizeilich gemeldeten Verkehrsunfälle bei Starkregenereignissen analysiert.
- Mittels einer videobasierten Verkehrskonfliktanalyse wird das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden bei überfluteten Straßenräumen betrachtet.

Die Verkehrssicherheit auf Notwasserwegen wird von der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit der Überflutung beeinflusst. Die Aussagen der Analyseschritte werden daher jeweils nach verschiedenen Wasserständen differenziert. Unterschieden werden folgende Wasserstände:

- Wasserfilmdicken von bis zu 1 cm werden betrachtet, die bei funktionierendem Entwässerungssystem bei normalen Regenereignissen oder Starkregenereignissen auftreten können.
- Wasserstände von 1 bis 20 cm werden analysiert, die für die temporäre Notableitung und Rückhaltung von Starkniederschlägen von besonderer Bedeutung sind.
- Wasserstände ab 20 cm werden dargestellt, bei denen sich die Gefährdungslage deutlich ändert.

Die Verkehrssicherheit verschiedener Verkehrsteilnehmender wird durch Notwasserwege unterschiedlich beeinträchtigt. Differenziert werden folgende Verkehrsteilnehmende:

- MIV: Der MIV bildet aufgrund der hohen Fahrgeschwindigkeiten und Frequenz in vielen Stadtstraßen einen Fokus der Betrachtung hinsichtlich der Verkehrssicherheit. Viele Aspekte sind dabei auch auf den ÖPNV und den Radverkehr übertragbar.
- ÖPNV: Die Besonderheiten des ÖPNV, etwa die netzweite Wirkung von Störungen, werden betrachtet. Der Fokus der Betrachtung liegt dabei auf Bussen. Straßen- oder Stadtbahnen werden aufgrund der sehr spezifischen Anforderungen des Schienenverkehrs nicht berücksichtigt.
- Fußverkehr: Die Anforderungen von Zufußgehenden als schwächste Verkehrsteilnehmende werden berücksichtigt.

- Radverkehr: Radfahrende, die sich je nach Führungsform im Seitenraum oder auf der Fahrbahn bewegen, werden soweit erforderlich auch gesondert betrachtet.

### 3.1. Literaturanalyse Verkehrssicherheit Notwasserwege

Die für das Themenfeld Verkehrssicherheit von Notwasserwegen vorliegenden Erkenntnisse der Fachliteratur werden gesammelt. Die unter einschlägigen Schlagwörtern in Google Scholar und Bau- und Umweltfachdatenbanken vorliegende deutsch- und englischsprachige Fachliteratur wird ausgewertet. Forschungsfragen für die Literaturanalyse sind:

- Wie wirkt sich die temporäre Überflutung der Fahrbahn auf die Verkehrssicherheit aus?
- Welche sicherheitsrelevanten Verkehrsvorgänge sind auf überfluteten Fahrbahnen zu beobachten?
- Welche Rahmenbedingungen gelten für die verkehrssichere Gestaltung von Notwasserwegen?

#### 3.1.1. Niederschlag

Zunächst werden generelle Erkenntnisse zur Wirkung von Niederschlägen auf die Verkehrssicherheit unabhängig von eventuellen Überschwemmungen dargestellt. Die Aussagen der Fachliteratur beziehen sich dabei überwiegend auf den Kfz-Verkehr.

#### ***Entwicklung Unfallhäufigkeit und Unfallschwere MIV auf nasser Fahrbahn***

Theofilatos & Yannis (2014), Smith (1982), Scott (1986), Andrey & Yagar (1993), Fridstrøm et al. (1995), Caliendo et al. (2007), Levine et al. (1995), Edwards (1996), Chang & Chen (2005), Koetse & Rietveld (2009), Brodsky & Hakkert (1988), Chung et al. (2005), Eisenberg (2004), Jones et al. (1991), Satterthwaite (1976), Shankar et al. (1995), Fridstrøm und Ingebrigtsen (1991), Keay & Simmonds (2006) und (Hermans et al. 2006) kommen unabhängig von der großen Bandbreite an verschiedenen Forschungsmethoden zum gleichen Ergebnis: Bei Regen und nasser Fahrbahn nimmt die Häufigkeit von Unfällen des Kfz-Verkehrs zu. Der Anstieg der Unfallrate wird auf die Kombination geringer Reibungsbeiwerte durch die nasse Fahrbahn und die beeinträchtigte Sicht durch Regen, Spritzwasser oder Nebel zurückgeführt. Nur wenige Studien konnten keinen oder sogar einen negativen Zusammenhang feststellen. So konnte Jones et al. (1991) für Seattle keinen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Niederschlägen und der Anzahl von Unfällen nachweisen. Yannis & Karlaftis (2010) haben für Athen für einen Zeitraum von 21 Jahren nachgewiesen, dass bei Niederschlägen die Anzahl an Unfällen zurückgeht. Vermutlich sind Kfz-Fahrende in Athen Niederschläge nicht gewöhnt. Sie gleichen von daher die für sie ungewöhnliche Situation durch eine besonders vorsichtige Fahrweise aus.

Für die Unfallschwere bei Regen und nasser Fahrbahn sind die Aussagen der Fachliteratur weniger eindeutig. Theofilatos & Yannis (2014), Caliendo et al. (2007) und El-Basyouny und Kwon (2012) weisen nach, dass mit Niederschlägen und nasser Fahrbahn die Anzahl der schweren Unfälle stärker zunimmt als die Anzahl leichter Unfälle. Andere Studien (Koetse und Rietveld 2009; Khattak et al. 1998; Edwards 1998) gehen hingegen davon aus, dass bei Niederschlägen und nasser Fahrbahn die Schwere der Unfälle abnimmt. Nach Koetse & Rietveld (2009) nimmt bei Regen und nasser Fahrbahn zwar die Anzahl der Unfälle zu, die Unfallschwere hingegen ab. So haben Niederschläge eine Reduktion der Geschwindigkeit zur Folge, was die Schwere der Unfälle senkt (Khattak et al. 1998). Auch Edwards (1998) kommt zum Ergebnis, dass die durchschnittliche Schwere von Straßenverkehrsunfällen bei Niederschlägen abnimmt, da mehr leichte Unfälle geschehen.

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass bereits durch normale Regenereignisse die Anzahl der Verkehrsunfälle zunimmt, wobei sich die Unfallschwere möglicherweise reduziert.



### **Entwicklung von Unfallhäufigkeit und Unfallschwere MIV bei Starkregenereignissen**

Die Aussagen der Fachliteratur zu den Auswirkungen von Starkniederschlägen auf die Unfallhäufigkeit und Unfallschwere sind widersprüchlich. Für australische Städte weisen Keay & Simmonds (2006) nach, dass der Anstieg der Unfallrate von der Regenmenge abhängt. Während bei 0-1 mm/d die Unfallrate nur um 4.6% ansteigt, nimmt diese bei 1-2mm um 10%, bei 2-5 mm um 20%, bei 5-10 mm um 30%, bei 10-20 mm um 40% und über 20 mm um 60% zu. Für Hongkong wurde ebenfalls beobachtet, dass die Unfallrate mit der Regenintensität steigt (Lam et al. 2013). Von einer Korrelation zwischen der Regenintensität und der Unfallrate in den Niederlanden geht auch Brijs et al. (2008) aus. Abweichend davon fand Haghighi-Talab (1973) keinen Unterschied der Unfallrate beim Vergleich von moderaten und schweren Regenfällen. Theofilatos & Yannis (2014) sowie Yannis & Karlaftis (2010) kommen bei einer Langzeituntersuchung in Athen sogar zu dem Ergebnis, dass sich mit zunehmender Regenintensität die Anzahl der Unfälle reduziert. Die unterschiedlichen Aussagen lassen sich unter anderem auf die in den Untersuchungen verwendeten unterschiedlichen Bezugsgrößen zurückführen. So werden in einigen Analysen kurzfristige konvektive Starkregenereignisse betrachtet, während sich andere Studien auf die tägliche Regenmenge beziehen. Zudem ist unklar, ob und wie die teilweise sehr beschränkte räumliche und zeitliche Ausdehnung von konvektiven Starkregenereignissen mit der Unfallhäufigkeit abgeglichen wurde.

Einigkeit besteht in der Fachliteratur, dass die Verkehrsteilnehmenden bei Starkregenereignissen ihre Geschwindigkeit stärker reduzieren als bei normalen Regenereignissen. Bei leichten Niederschlägen werden durchschnittliche Geschwindigkeitsrückgänge zwischen 8 km/h und 19,5 km/h festgestellt, während diese bei stärkeren Niederschlägen zwischen 8 km/h und 31 km/h betragen (Unrau & Andrey 2006; Brilon & Ponzlet 1996; Akin et al. 2011; Kyte et al. 2000; Edwards (1999):

Zur Wirkung von Starkniederschlägen gibt es im Gegensatz zur Bewertung von normalen Regenereignissen keine eindeutigen Aussagen. Vertiefte Analysen sind daher erforderlich.

### **Beeinträchtigung Leistungsfähigkeit MIV**

Niederschlag führt zu einer Reduzierung der Leistungsfähigkeit des Kfz-Verkehrs um 15% bei Hellichkeit und 30% bei Dunkelheit (Pontzlet 1995). Jedoch besitzen Starkniederschläge eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit (Wiederkehrzeit kleiner 20 oder 30 Jahre) und bilden daher seltene sowie zeitlich begrenzte Ereignisse. Die Auswirkungen der wassersensiblen Straßenraumgestaltung sind daher mit anderen temporären Einschränkungen wie Unfälle, Baustellen usw. vergleichbar, die nach dem HBS nicht bei der Bewertung der Leistungsfähigkeit zu berücksichtigen sind (Benden 2014). Zudem sind bei Starkniederschlägen tendenziell weniger Personen unterwegs, da Fahrten verschoben oder abgesagt werden.

### **Exkurs: Schmutzfracht von Straßen bei Starkregenereignissen**

Die Schmutzfracht von Straßen trägt zum Eintrag von Schwermetallen und Kohlenwasserstoffen in Gewässer und Boden bei (Huber et al. 2016; Li & Barrett 2008; Kayhanian et al. 2007; Barrett et al. 1995; Xanthopoulos & Hahn 1990; Sieker & Grottker 1987). Es besteht die Befürchtung, dass die vermehrte Ableitung von Starkniederschlägen von Straßen zu einem gesteigerten Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser beiträgt. Diese Gefahr kann durch die Beachtung der bekannten Einsatzgrenzen von Versickerungsanlagen sowie dem Einsatz dezentraler Reinigungsanlagen reduziert werden. So wird durch die Bindung der Schadstoffe in der belebten Bodenzone die Gefährdung des Grundwassers reduziert (DWA A 102-2). Die zunehmende Rückhaltung und Versickerung des Niederschlagswassers führt im Rahmen von Notwasserwegen darüber hinaus zu einer Reduzierung der hydraulischen Belastung der Mischwasserkanalisation. Da Kläranlagen nicht für alle kritischen Niederschlagsereignisse dimensioniert werden können, kommt es bei Starkniederschlägen häufiger zu einem Überlauf der Mischwasserkanalisation in den Vorfluter. Dies führt zu relevanten Schadstoffeinträgen in Oberflächengewässer. Die Anzahl und der Umfang der Mischwasserüberläufe kann

durch die Maßnahmen der Notwasserwege und allgemein der wassersensiblen Straßenraumgestaltung verringert werden. Es ist daher in Bezug auf die Gewässergüte eine Abwägung in der Gesamtbilanz erforderlich.

### **3.1.2. Wasserstände bis 1 cm**

Bei Wasserständen bis zu 1 cm werden die generellen Auswirkungen nasser Fahrbahnen auf die Verkehrssicherheit betrachtet.

#### ***Reduzierte Reibungsbeiwerte MIV auf nasser Fahrbahn***

Von hoher Bedeutung für die Verkehrssicherheit ist der Anhalteweg bei einer Vollbremsung, der sich aus dem Reaktionsweg (Reaktions-, Schwell- und der Ansprechdauer) und des eigentlichen Bremswegs ergibt. Aufgrund von ABS wird der Bremsweg durch die Haftreibung zwischen Reifen und Fahrbahn bestimmt (Reif 2017). Wenn die Fahrbahnfläche durch Niederschläge nass wird, reduziert sich der Reibungsbeiwert (auch Reibungskoeffizient genannt) für die Haftreibung. Der Reibungsbeiwert ist auch für die Kurvenhaftung von Bedeutung. Der Reibungsbeiwert (dimensionsloses Maß) liegt bei trockener Fahrbahn zwischen 0,7 bis 0,9 auf nasser Fahrbahn bei 0,3 bis 0,6 (Black Jr. & Jackson 2000). Reif (2017) gibt den Reibungsbeiwert für 50 km/h für trockene Fahrbahn mit 0,85 neuer sowie 1,0 für abgenutzte Reifen, bei einer Wasserfilmdicke von 1 mm mit 0,55 neu und 0,4 abgenutzt sowie Wasserfilmdicken von höher 2 mm mit 0,5 neu und 0,25 abgenutzt an. Im Ergebnis verlängert sich dadurch bei einem Wasserfilm von 1 mm bei 50 km/h der Bremsweg um 3,6 bzw. 5,3 m. Gesondert zu betrachten sind Regenfälle nach einer längeren Trockenperiode. Über den Zeitraum der Trockenperiode lagern sich Ölrückstände u.ä. ab, die dann bei Nässe zu einer rutschigen Fahrbahn mit sehr niedrigen Reibungsbeiwerten führen (Pisano et al. 2008; Koetse & Rietveld 2009; Eisenberg 2004). Wenn die Kfz-Führer ihre Fahrweise nicht an die geringeren Reibungsbeiwerte anpassen, kann es zu einem Anstieg an Unfällen kommen (Wallman & Åström 2001; Schulze et al. 1977). Lamm et al. (1985) zeigt jedoch auf, dass das fehlende Kraftschlussvermögen häufig nicht allein für das Unfallgeschehen bei Nässe verantwortlich ist. Vielmehr wirken die geringen Reibungsbeiwerte mit weiteren ungünstigen Faktoren (wie unangepasstes Fahrverhalten, unvorteilhafte Fahrbahngeometrie und schlechter Reifenzustand) zusammen.

#### ***Reduzierte Sichtweite MIV***

Bei Starkniederschlägen kann sich aufgrund der großen Wassermenge auf den Windschutzscheiben die Sichtweite reduzieren. Dies hat einen Einfluss auf den Reaktionsweg und damit auf den Anhalteweg, der die Sichtweite nicht überschreiten sollte. Die Kfz-Führenden müssen daher bei Regen die Abstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen anpassen, um weiterhin den gleichen Sicherheitspuffer bei einer Bremsung zu haben. Ben-Edigbe et al. 2013 hat erhoben, dass mit steigender Regenintensität die Abstände zwischen den Fahrzeugen größer werden, aber gleichzeitig die Anzahl der Fahrzeuge in einem Fahrzeugpulk zunimmt.

#### ***Aquaplaning von MIV***

Aquaplaning bezeichnet das Aufschwimmen des auf nasser Fahrbahn mit hoher Geschwindigkeit rollenden Kraftfahrzeugreifens auf einem Wasserkeil. Wenn der hydrodynamische Druck größer ist als die Flächenpressung der Reifenaufstandsfläche bildet sich ein geschlossener Wasserfilm zwischen Reifen und Fahrbahn. Die Übertragung der Reibungskräfte zwischen Reifen und Fahrbahn ist dann nicht mehr möglich, was zu einem Kontrollverlust über das Fahrzeug und fast unvermeidlich zu einem Unfall führt (FGSV 1968; Herrmann 2008). Die entscheidenden Einflussfaktoren für das Eintreten von Aquaplaning sind nach Guo (2000), Agrawal et al. (1977), Gallaway et al. (1979), Reed et al. (1984) und Black Jr. & Jackson (2000): die Wasserfilmdicke, das Reifenprofil und die Fahrgeschwindigkeit. Aquaplaning tritt bei

hohen Geschwindigkeiten insbesondere dann auf, wenn die Wasserfilmdicke höher ist als das Reifenprofil. Jedoch tritt Aquaplaning selbst bei hohen Wasserfilmdicken erst ab einer Geschwindigkeit von über 60 km/h auf. Die Gefahr von Aquaplaning hängt somit stark von der Fahrgeschwindigkeit ab.

### **Kompensationsstrategie der Verkehrsteilnehmenden**

Khattak et al. 1998; Andrey und Yagar 1993; Hawkins 1988 untersuchen, ob die Verkehrsteilnehmenden die erhöhten Gefährdungen durch widrige Straßenbedingungen bei Überflutungen und Starkregenereignissen durch Kompensationsstrategien ausgleichen. Damit die Kfz-Führenden trotz der späteren als unter Normalbedingungen Erkennbarkeit von Gefahren und den längeren Anhaltewegen in kritischen Situationen rechtzeitig reagieren können, sind Geschwindigkeitsreduktion und Abstandsvergrößerung zu vorausfahrenden Fahrzeugen erforderlich. So wurde in Athen beobachtet, dass die Unfallrate mit zunehmender Regenintensität sinkt. Dies wurde dadurch erklärt, dass Regen in Athen selten ist und sich die Verkehrsteilnehmenden daher besonders vorsichtig verhalten (Theofilatos und Yannis 2014; Yannis und Karlaftis 2010).

Eine Kompensationsstrategie bei Starkregenereignissen ist nicht notwendige Fahrten zu verschieben. Damit sinkt das Verkehrsaufkommen und damit einhergehend die absolute Anzahl an Unfällen (Kilpeläinen & Summala 2007). So kommt es bei schlechten Wetterverhältnissen im Vergleich zu normalen Wetterbedingungen zu weniger Freizeitfahrten (Kilpeläinen & Summala 2007). Bei einer Haushaltsbefragung in Belgien wurden wegen Witterungsbedingungen schul- und arbeitsbezogene Fahrten zu 4% verschoben und zu 7% abgesagt, während freizeitbedingte Fahrten zu 26% verschoben und 24% abgesagt wurden (Cools et al. 2010). Bei einer Untersuchung in Tokio wurden an Wochentagen mit Regen circa 3 bis 4% weniger Fahrten als an Wochentagen ohne Niederschlag erfasst, während an Wochenenden mit Regen aufgrund der höheren Anzahl an Freizeitwegen 5 bis 8% weniger Fahrten erfasst wurden (Chung et al. 2005).

Es besteht Einigkeit darin, dass bei Niederschlag und nasser Fahrbahn die Kfz-Führenden ihre Geschwindigkeit reduzieren. So wurde in verschiedenen Untersuchungen Reduktionen der Fahrgeschwindigkeiten bei Regen um 3 km/h (Chung et al. 2006), 6 bis 7 km/h (Kilpeläinen & Summala 2007) und 9,5 bis 12 km/h (Brilon und Ponzlet 1996) beobachtet. Goodwin (2002) gibt eine Reduktion der Geschwindigkeit bei Regen um 10 bis 25% und Akin et al. (2011) um 8 bis 12% an. Beobachtete Geschwindigkeitsreduktionen bei normalem Regen und Starkniederschlägen sind 2 km/h versus 5 bis 10 km/h (Kyte et al. 2000), 4 km/h versus 5 bis 6 km/h (Wang et al. 2006) sowie 2 bis 3 km/h versus 6 bis 7 km/h (Lam et al. 2013). Kritisch diskutiert wird, ob die beobachtete Reduktion der Geschwindigkeit ausreichend ist, um den verlängerten Anhalteweg auf nasser Fahrbahn vollständig zu kompensieren. Edwards (1999), Chung et al. (2006), Lam et al. (2013), Eisenberg (2004), Keay & Simmonds (2006), Levine et al. (1995) und Brodsky & Hakkert (1988) gehen davon aus, dass die Autofahrenden den verlängerten Bremsweg bei Nässe unterschätzen und ihre Geschwindigkeit nicht ausreichend reduzieren. Sie unterschätzen die Gefahr bzw. überschätzen die eigene Fahrzeugbeherrschung. Die Kfz-Führenden reduzieren angesichts der Witterungsbedingungen symbolhaft die Geschwindigkeit. Dies reicht aber nicht aus, um den reduzierten Reibungsbeiwert der nassen Fahrbahn auszugleichen (Edwards 1999). Jedoch beziehen sich die meisten Untersuchungen zur mangelnden Kompensation auf Außerortsstraßen mit hohem Geschwindigkeitsniveau, so dass unklar ist, ob diese Erfahrungen auf innerstädtische Straßen übertragen werden können.

### **3.1.3. Wasserstände 1 bis 20 cm**

Für die temporäre Notableitung und Rückhaltung von Starkniederschlägen auf Verkehrsflächen werden Wasserstände von bis zu 20 cm diskutiert. Für diese Wasserstände liegen in der Fachliteratur nur wenige Aussagen zum Gefährdungspotential vor.

**Einseitiger hydraulischer Widerstand bei MIV**

Wenn ein Fahrzeug auf nur einer Seite durch Wasser auf der Fahrbahn fährt, kann dies zu einem einseitigen Lenkwiderstand und damit zu einer Änderung der Fahrtrichtung führen. Im Gegensatz zum Vorgang bei Aquaplaning kommt es nicht zu einem Aufschwimmen des Reifens, sondern zu einem Widerstand mit der Folge des Verreißen des Lenkrades. Dieses Phänomen tritt bei Wasserfilmdicken auf, die deutlich größer als die Reifenprofile sind, sowie bei Fahrgeschwindigkeiten über 60 km/h. Zu Unfällen kommt es insbesondere dann, wenn eine plötzliche Veränderung der Wassertiefe auftritt und es damit zu einem Lenkwiderstand und der Ablenkung kommt (Black Jr. & Jackson 2000).

**Wassertiefen größer 20 cm**

Für Wasserstände ab 20 cm liegen in der Fachliteratur wieder mehr Aussagen zur Verkehrssicherheit vor. Relevante Themenfelder sind die Wassertiefe von Fahrzeugen, Hochwasseropfer in Fahrzeugen sowie die Sturzgefahr von Zufußgehenden.

**Wassertiefe von Fahrzeugen**

Als Wassertiefe wird die maximale Wassertiefe bezeichnet, die ein Fahrzeug schadensfrei durchfahren kann (Kramer et al. 2016). Die Wassertiefe wird als Fahrzeugspezifikation von den Herstellern angegeben und ergibt sich aus technischen Spezifikationen wie der Höhe des Lufteinlasses und des Zündsystems, der Wasserdichtigkeit des elektrischen Equipments oder der Einstiegsschwelle zum Innenraum. Kramer et al. (2016) haben die Wassertiefe für eine repräsentative Auswahl von 50 Kfz erhoben. Für einen normalen Pkw liegt die Wassertiefe zwischen 30 und 50 cm. Gesondert betrachtet werden die Einsatzfahrzeuge von Notfalldiensten. Rettungsfahrzeuge haben eine Wassertiefe von 60 bis 120 cm (Kramer et al. 2016). Zudem sind die für Rettungsdienste wichtigen Routen prioritär von Überflutungen freizuhalten bzw. sind den Rettungsdiensten Hinweise zu geben, wo Überflutungen besonders häufig auftreten, damit diese bei der Routenplanung berücksichtigt werden können (Riegel et al. 2013; Valée & Benden 2010).

**Hochwasseropfer in Fahrzeugen**

Überschwemmungen über 40 cm bilden für Kraftfahrzeugführende ein hohes Risiko. Während in Europa 27% aller bei Hochwasser Ertrunkenen in ihren Fahrzeugen verunglückt sind, liegt diese Zahl in den USA sogar bei 63% (Jonkman & Kelman 2005; Kellar & Schmidlin 2012; Ashley & Ashley 2008). Fahrzeugführende, die in ihrem Fahrzeug sitzen oder dieses gerade verlassen, machen nach Yale et al. (2003) die Mehrzahl der Hochwassertoten in den USA aus. Nach Rappaport (2000) sind 23% der Toten durch Hurrikanen in den USA im Zeitraum zwischen 1970 und 1999 in ihren Fahrzeugen ertrunken. French et al. (1983) und Staes et al. (1994) geben an, dass ca. die Hälfte der Todesfälle bei größeren Überschwemmungen auf Ertrinken in Fahrzeugen zurückzuführen ist. Bei vollständig überfluteten Fahrzeugen ertrinken nach Yale et al. (2003) 74% der Fahrzeuginsassen und nach Theofilatos & Yannis (2014) und Kellar & Schmidlin (2012) sogar 90% der Fahrzeuginsassen. Die meisten der Ertrunkenen waren dabei auf ihnen bekannten Straßen unterwegs und haben Warnungen vor dem Durchfahren der überschwemmten Bereiche erhalten. Die Unfälle traten meist nicht zu Beginn der Überschwemmung, sondern erst nach ein paar Stunden auf, wenn sich die Verkehrsteilnehmenden an die außergewöhnliche Situation gewöhnt und sich riskanter verhalten hatten. Die meist männlichen Opfer haben ihre Fahrzeuge bewusst in die überfluteten Bereiche gefahren und die Gefahr unterschätzt (Yale et al. 2003), etwa die Wassertiefe oder die Stärke der Strömung.

Die Gefahr weggeschwemmt zu werden, hängt bei Kfz vom Fahrzeugtyp, der Wassertiefe sowie der Strömungsgeschwindigkeit ab. Nach Shu et al. (2011) wird ein mittelgroßer SUV bei einer Wassertiefe von 50 cm, einer Strömungsgeschwindigkeit von 4,0 m/s oder einer Wassertiefe von 100 cm und einer Strömungsgeschwindigkeit von 2,3 m/s weggeschwemmt. Für einen Kleinwagen wird als

Schwellenwert zum Wegschwemmen eine Wassertiefe von 45 cm und eine Strömungsgeschwindigkeit von 2,0 m/s angegeben. Bei Mittelklassefahrzeugen liegen die Schwellenwerte bei 50 cm Wassertiefe und 3,3 m/s Strömungsgeschwindigkeit (Shu et al. 2011). Xia et al. (2011) geben als Faustformel an, dass Fahrzeuge, welche sich bereits bis zum Dach unter Wasser befinden, bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 bis 1,0 m/s abgetrieben werden. Shand et al. 2011 nennt Wassertiefen für das Aufschwimmen von Fahrzeugen von 34 bis 57 cm. Wassertiefen über 40 cm und Fließgeschwindigkeiten über 2 m/s sind daher aufgrund der Gefährdung von Personen am Steuer unbedingt zu vermeiden.

### **Sturzgefahr Zufußgehende**

Überflutungen von Verkehrsflächen führen zu Komforteinbußen von Zufußgehenden durch nasse Schuhe, erzwungene Umwege oder die Spritzfahrten von Fahrzeugen. Zudem ist ein erhöhtes Sturzrisiko zu berücksichtigen. So kann der Körper durch die Strömung des Wassers zum Stolpern gebracht werden oder durch die geringe Griffbarkeit des Bodens das Gleichgewicht verlieren. Benden (2014) sowie Oertel & Schlenkhoff (2008) gehen davon aus, dass es bei Wasserständen von unter 25 cm nur zu geringer Gefährdung von Fußgängerinnen und Fußgängern kommt, die Anzahl der Stürze im Bereich zwischen 25 und 75 cm steigt und eine erhebliche Gefährdung erst ab Wasserständen über 75 cm entsteht. Russo et al. (2013) gehen hingegen davon aus, dass viele Studien die Stabilität der Zufußgehenden auf überfluteten Flächen überschätzen. Russo et al. (2013) zeigen, dass Kinder und ältere Personen bereits bei Wasserständen zwischen 9 und 16 cm sowie einer Fließgeschwindigkeit zwischen 1,5 und 2,0 m/s ein instabiles Gehverhalten aufweisen und die Sturzgefahr steigt. Besonders instabil sind Zufußgehende in dem Moment, in dem sie von einem trockenen Bereich in einen überfluteten Bereich treten. Russo et al. (2013) sehen bis zu einer Fließgeschwindigkeit von 1,51 m/s ein geringes und ab einer Fließgeschwindigkeit von 1,88 m/s ein hohes Sturzrisiko. Ähnliche Ergebnisse präsentieren Shu et al. (2011), wonach bei Kindern und Älteren bereits ab einem Wasserstand von 20 cm und einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 m/s erhöhte Sturzgefahr besteht. Bei Treppen- oder Rampenanlagen können selbst deutlich niedrigere Wasserstände gefährlich sein (Benden 2014). Überflutungen wirken einen besonderen Reiz auf Kinder aus. Da ein Fehlverhalten von Kindern einkalkuliert werden muss, sind besondere Schutzmaßnahmen zu treffen. Ab Wasserständen von 30 cm ist eine gesonderte Einfriedung zum Schutz von Kindern gegen Ertrinken vorzusehen.

### **Barrierefreiheit**

Um Niederschlagswasser auf der Fahrbahn temporär zurückhalten zu können, ist häufig die Anpassung des Straßenprofils notwendig. Neben der Nutzung eines V-Profiles für die Fahrbahn, kann auch der Einsatz von hohen Bordsteinen notwendig werden, um das Rückhaltevolumen zu erhöhen. Dabei können Konflikte mit dem Ziel der Barrierefreiheit entstehen. Für mobilitätseingeschränkte Personen stellen hohe Bordsteine sowie ein überfluteter Fahrbahnbereich teilweise unüberwindbare Hindernisse dar.

### **Befahrbarkeit durch Radverkehr**

Zu Radfahrenden wurden keine Aussagen in der Fachliteratur gefunden. Probleme sind durch die reduzierten Reibungsbeiwerte und damit rutschigen Fahrbahnen zu erwarten und durch verdeckte Hindernisse unter der Wasseroberfläche, die zu einem erhöhten Sturzrisiko führen.

### **Zwischenfazit Verkehrssicherheit überflutete Fahrbahnen**

Für die verschiedenen Wasserstände lassen sich jeweils spezifische Gefahrensituationen für die Verkehrsteilnehmenden erkennen. Viele Gefahren sind bereits bei geringen Wasserständen (bis zu 1

cm) relevant, die auch bei normalen Entwässerungssystemen auftreten können. Für diese Gefährdungen liegen in der Fachliteratur die meisten Informationen vor. Für Wasserstände von 1 bis 20 cm ( für Notwasserwege von besonderer Bedeutung), finden sich bisher nur wenige Aussagen in der Fachliteratur. Für Wasserstände über 20 cm gibt es wieder mehr Informationen, was auf die höhere Gefahr von Hochwassertoten zurückzuführen ist.

### 3.2. Rechtliche Rahmenbedingungen von Notwasserwegen

Eine wesentliche rechtliche Anforderung für eine temporäre Rückhaltung und Notableitung von Starkregenereignissen auf Straßen bildet die Verkehrssicherungspflicht (Benden 2014). Nach dieser sind Verkehrsteilnehmende vor den Gefahren zu schützen, welche ihnen bei zweckentsprechender Benutzung öffentlicher Verkehrsflächen aus deren Zustand entstehen (König et al. 2011). Die Verkehrssicherungspflicht trifft dabei denjenigen, der die Gefahr geschaffen hat oder für sie verantwortlich ist (Rotermund & Krafft 2008). Bei öffentlichen Verkehrsflächen liegt die Verkehrssicherungspflicht somit in der Regel beim Baulastträger (Staab 2003). Die Verletzung der Verkehrssicherungspflicht hat Schadensersatzansprüche gegenüber dem Baulastträger zur Folge.

Der genaue Umfang der Verkehrssicherungspflicht ist nicht gesetzlich geregelt, sondern ergibt sich vielmehr aus einer umfangreichen Rechtsprechung wie dem BGH 1970, BGH 1994, OLG Bamberg 1970, OLG Bamberg 1990, OLG Düsseldorf 1995, OLG Hamm 1999, OLG Mannheim 1966 (Staab 2003). Im Grundsatz richtet sich die Verkehrssicherungspflicht nach dem Verkehrsbedürfnis und ist daher für Hauptverkehrsstraßen höher als für gering befahrene Wohnwege (Heß 2008). Aus Sicht der Verkehrssicherheit sind Sicherungsmaßnahmen erforderlich, die ein verständiger und umsichtiger, in vernünftigen Grenzen vorsichtiger Mensch für ausreichend halten darf, um andere Personen vor Schäden zu bewahren (BGH 1994). Die Verkehrsteilnehmenden haben sich auf die gegebenen erkennbaren Straßenverhältnisse einzustellen (Rotermund & Krafft 2008). Einen Anspruch auf völlig gefahrlose und gute Verkehrswege gibt es nicht (Staab 2003). Im Folgenden wird analysiert, welche Anforderungen der Verkehrssicherungspflicht bei Notwasserwegen zu berücksichtigen sind.

Die Anforderungen der Verkehrssicherungspflicht für die Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen auf Verkehrsflächen sind mit denen für verkehrsberuhigende Einbauten im Straßenraum vergleichbar. So sind nach der Rechtsprechung des BGH 1991 geschwindigkeitsdämpfende Maßnahmen und auch Hindernisse mit der Verkehrssicherungspflicht vereinbar, so lange diese nicht selbst zur Quelle einer Verkehrsgefährdung werden, indem sie trotz verkehrsgerechten Verhaltens des Fahrenden dessen Fahrzeug beschädigen (Götker NZV 1995; Berz & Burmann 2017). Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf tiefergelegte Fahrzeuge gelegt. So verlangen das OLG München sowie das OLG Hamm, dass von Maßnahmen wie z.B. Aufpflasterungen keine Gefahren für tiefergelegte Fahrzeuge bei Einhaltung der vorgeschriebenen Schrittgeschwindigkeit ausgeht (Götker NZV 1995). Zudem ist bei Beschädigung tiefergelegter Fahrzeuge eine Mithaftung des Fahrenden zu prüfen (OLG Köln 1992). So sollte der Fahrende eines tiefergelegten Fahrzeuges um die besondere Gefährdung des Fahrzeuges durch Bodenschwellen und ähnliche Hindernisse wissen. Es kann von ihm verlangt werden, dass er diese besonders vorsichtig (auch langsamer als mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit) überfährt (OLG Düsseldorf 1996). Der Fahrende muss sich vergewissern, ob das Hindernis gefahrlos überfahren werden kann und muss ggf. umkehren (OLG Celle MDR 2000). Erst wenn das Überfahren des Hindernisses auch bei Schrittgeschwindigkeit für den Fahrenden nicht erkennbar zu Schäden führt, wird von einer Unabwendbarkeit ausgegangen (OLG Hamm NJW 1993). In Analogie ließe sich daraus für die Gestaltung von Notwasserwegen ableiten, dass diese mit der Verkehrssicherungspflicht vereinbar sind, so lange diese trotz verkehrsgerechten Verhaltens des Fahrenden dessen Fahrzeug beschädigen.

Bei der Mitbenutzung von Verkehrsflächen für die Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen sind ausreichende Vorsorgemaßnahmen vorzusehen und die Verkehrsteilnehmenden vor den eventuellen Beeinträchtigungen zu warnen (Werner 2012). Vorsorgemaßnahmen in für die Mitbenutzung vorgesehenen Straßen können die Gewährleistung darstellen, dass bestimmte Wasser-

stände nicht überschritten werden, die zu Schäden an Fahrzeugen führen, keine verdeckten Hindernisse bestehen oder die zulässige Höchstgeschwindigkeit reduziert wird. Durch diese Vorsorgemaßnahmen versucht der Straßenbaulastträger aktiv die Gefahr zu reduzieren und im Sinne des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes möglichst lange die, wenn auch eingeschränkte, Nutzbarkeit der Straße zu gewährleisten. Strengere Anforderungen an die Verkehrssicherungspflicht gelten dabei vor allem für Kinder. Allerdings darf in angemessenem Maß auf die Aufsichtspflichten und die soziale Kontrolle durch die Nutzenden vertraut werden (Scheid et al. 2018). Zudem ist mit Gefahrenzeichen auf die Mitbenutzung der Straße für die Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen hinzuweisen. So können mit dem Verkehrszeichen 101 „Achtung Gefahrenstelle“ die Verkehrsteilnehmenden gewarnt und zur Vorsicht aufgefordert werden. Vor Überflutungen, die nicht sicher passiert werden können, sollte durch das Verkehrszeichen 2014 „Fahrbahn überflutet“ hingewiesen und die Straße gesperrt werden (Rotermund / Krafft 2008; OLG Hamm 1999). Auch sollte der Straßenzustand regelmäßig überwacht werden (BGH 1970). Nach Überflutungen ist die Fahrbahn von eventuellen schmierigen Rückständen zu reinigen.

### **3.3. Analyse bestehende Notwasserwege**

Erste Notwasserwege wurden bereits in der Praxis umgesetzt. Im Folgenden werden verschiedene Fallbeispiele von bereits realisierten Rückhaltungen von Starkniederschlägen im Straßenraum dargestellt und deren Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit analysiert.

#### ***Notwasserwege Hochschulstadtteil Lübeck***

Im 85 ha große Hochschulstadtteil Lübeck mit über 5.000 Einwohnenden und rund 2.000 Arbeitsplätzen wurde ein besonderes Augenmerk auf die Überflutungsvorsorge gelegt. Der Stadtteil besitzt eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, mit der Niederschlagsereignisse bis zu einer zehnjährigen Wiederkehrzeit schadlos im Gebiet bewirtschaftet werden. Um auch über den zehnjährigen Wiederkehrzeitraum hinausgehende Niederschlagsereignisse schadlos abzuführen, wird ein System von Notwasserwegen vorgesehen. Das Niederschlagswasser von Starkregenereignissen, welches nicht durch das Entwässerungssystem aufgenommen werden kann, wird über Abflusswege in Straßen und Grünflächen zum Vorfluter geleitet. Der Verlauf und die Ausgestaltung dieser Notwasserwege wurde intensiv zwischen der Siedlungswasserwirtschaft, der Verkehrsplanung sowie der Freiraumplanung abgestimmt. Dabei wurde darauf geachtet, dass im Straßenverlauf keine abflusslosen Senken entstehen sowie Bordsteine und Schwellen für Einfahrten so ausgebildet wurden, dass das Niederschlagswasser auf den Straßen gehalten wird. Zudem wurde eine Regelung zur Kostenteilung für die Unterhaltung und Reinigung der Notwasserwege zwischen dem Fachbereichen Stadtgrün und den Entsorgungsbetrieben getroffen. Die Gefahren durch schmierige Verschmutzungen auf der Fahrbahn nach Überschwemmungen kann damit reduziert werden. Die Umsetzung des Konzepts wurde durch einen umfassenden Partizipationsprozess begleitet, wodurch anfänglich bestehende Bedenken reduziert werden konnten. Insbesondere wurde kommuniziert, dass eine Überflutung der Notwasserwege nur selten und nur bis zu einer geringen Höhe und Zeitdauer erfolgt (BBR EXWOST 2015).

#### ***Mitbenutzung Parkplatz Baumarkt Hamburg Stellingen***

Im Rahmen der Baugenehmigung für den Neubau eines Baumarktes in Hamburg-Stellingen wurde aufgrund der mangelnden Möglichkeiten für die Versickerung oder Ableitung in Vorfluter eine Einleitbegrenzung des Niederschlagswassers für das öffentliche Kanalnetz erlassen. Ziel ist eine größtmögliche Reduzierung und Verzögerung des Niederschlagswasserabflusses von den privaten Flächen in die öffentliche Kanalisation. Dies wird zum einen durch Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, wie extensive Dachbegrünung, Versickerungs- und Rückhaltegräben sowie eine unterirdische Regenwasserzisterne, erreicht. Zum anderen wird das Niederschlagswas-

ser der Parkplatzflächen in Staukanälen gefasst, die bei seltenen Niederschlagsereignissen Überstaumöglichkeiten an Tiefpunkten im Bereich des Parkplatzes sowie der Lieferantenumfahrt besitzen. Die temporäre Überflutung dieser Bereiche schafft zusätzlichen Stauraum, bevor das Niederschlagswasser anschließend zeitverzögert in die Kanalisation eingeleitet wird. Bei Überflutungen sind die Parkplatzflächen sowie die Lieferantenumfahrt weiterhin, wenn auch mit Einschränkungen, nutzbar. Aufgrund der geringen Geschwindigkeit auf dem Parkplatz wird von keinen besonderen Gefährdungen für die Verkehrsteilnehmenden ausgegangen. Die multifunktionale Nutzung der Verkehrsflächen für die Rückhaltung von Niederschlagswasser auf einem privaten Grundstück ist eine flächensparende und kostengünstige Variante für eine dezentrale Bewirtschaftung des Niederschlagswassers (RISA 2014).

### ***Notwasserwege in Kopenhagen***

Die Innenstadt Kopenhagens ist durch Überflutungen infolge von Starkniederschlägen gefährdet. Ausgelöst durch eine Serie von Starkniederschlägen mit Überflutungen wird seit dem Jahr 2013 ein Netzwerk an Notableitungen entwickelt. Im zugehörigen Masterplan werden vier Elemente für die Notableitung von Starkniederschlägen vorgesehen. Diese umfassen die Ableitung von Niederschlagswasser über Straßen, die temporäre Rückhaltung auf Straßen, Straßen mit begleitenden begrünten Mulden und Grünfläche sowie im öffentlichen Freiraum integrierte öffentliche Rückhaltebecken. Für Straßen die zur Retention der Niederschläge dienen, ist eine Stautiefe von 10 cm für ein 100-jähriges Regenereignis vorgesehen. Durch verschiedene Maßnahmen zur multifunktionalen Nutzung soll eine schadlose Ableitung des Niederschlagswassers bei einer gleichzeitigen gestalterischen Aufwertung der Straßenräume erfolgen (BBR EXWOST 2015 Klimakvarter, 2013).

### ***Klima-Boulevard Bremen***

In Bremen-Findorf wird die Münchener Straße als „Klima-Boulevard“ umgebaut. Dabei werden die Straßensanierung, die erforderliche Kanalsanierung sowie die Klimaanpassung miteinander kombiniert. Die Durchgangsstraße besitzt ein hohes Kfz-Verkehrsaufkommen, was die Verkehrssicherheit für Radfahrende und Zufußgehende beeinträchtigt. Zudem besitzt die Straße eine geringe Aufenthaltsqualität, was u.a. auf einen geringen Grünanteil zurückzuführen ist. Im Rahmen des Umbaus zu einem Klima-Boulevard wird die Fahrbahnbreite von gegenwärtig 9 auf 7,5 m reduziert. Der dadurch entstehende Freiraum wird für die Neupflanzung zahlreicher Bäume in groß dimensionierten Baumbeeten und für die Anlage eines Parkstreifens mit versickerungsfähigem Pflaster genutzt. Das Quergefälle leitet das Niederschlagswasser von der Fahrbahnmitte zu den tieferliegenden versickerungsfähigen Parkstreifen und Baumbeeten. Bei seltenen Starkregenereignissen dienen Parkstreifen und Baumbeete auch der kurzfristigen Rückhaltung von Niederschlagswasser. Durch diese gezielte temporäre Überflutung des Parkstreifens können Überflutungen in Bereichen mit höherem Schadenspotential wie Fahrbahn oder Fuß- und Radwege reduziert werden (BBR EXWOST 2015).

## **3.4. Befragung von Verkehrsteilnehmenden zum Verhalten auf überfluteten Straßen**

Von Hölsch 2018 wurden 75 Verkehrsteilnehmende zu ihrem Verhalten auf überfluteten Straßen befragt und ein Abgleich zwischen ihrer Selbstauskunft und dem in Videoaufnahmen beobachteten Verhalten vorgenommen.

In der Befragung wurden den Probandinnen und Probanden Standbilder aus Videos von überfluteten Straßen gezeigt. Es wurde erfragt, wie sie sich in einer solchen Situation verhalten würden: Situationen mit verschiedenen Wasserstandhöhen (mittlere Wasserstände von 1 bis 20 cm und hohe Wasserstände über 20 cm). Den Befragten standen verschiedene Verhaltensoptionen zur Auswahl, die sich in die Gruppen Konfliktvermeidungsverhalten und Konfliktkonfrontationsverhalten einteilen lassen. Beim Konfliktvermeidungsverhalten werden mögliche Konflikte und Gefahren der überschwemmten Streckenabschnitte durch das Wenden oder Parken des Fahrzeugs vermieden. Beim



Konfliktkonfrontationsverhalten entschließen sich die Verkehrsteilnehmenden den Konfliktraum zu betreten und Schäden durch Abbremsen, Ausweichen oder Umfahren zu vermeiden. Im Ergebnis wird abgeglichen, wie das von den Probandinnen und Probanden in der Befragung angegebene Verhalten mit dem in den Videos real beobachtete Verhalten korreliert.

Bei mittleren Wasserständen und keinen weiteren Verkehrsteilnehmenden zeigen in den Videos 66% der Beobachteten ein Konfliktvermeidungsverhalten und 33% ein Konfliktkonfrontationsverhalten. Sobald voraus- oder nachfahrende Fahrzeuge vorhanden sind, ändert sich das Verhalten. Dann weisen nur noch 20% der Probandinnen und Probanden ein Konfliktvermeidungsverhalten auf und 80% ein Konfliktkonfrontationsverhalten. Bei niedrigen Wasserständen besteht hohe Bereitschaft das Verhalten des vorausfahrenden Verkehrsteilnehmers zu kopieren und die überflutete Verkehrsfläche zu befahren. Bei Wasserständen über 20 cm ist dieses Verhalten nicht mehr zu beobachten.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Befragung und der Beobachtung aus den realen Videoausschnitten fällt auf, dass 55% der Probandinnen und Probanden angeben eine überschwemmte Verkehrsfläche nicht befahren zu wollen und damit ein Konfliktvermeidungsverhalten wählen, während in der Realität in den Videos nur 10% der Akteurinnen und Akteure Konfliktvermeidungsverhalten zeigen. Die Fahrerinnen und Fahrer entschließen sich in den realen Situationen den Bereich der Überflutungen zu befahren, wobei sie jedoch ihr Verkehrsverhalten durch niedrige Geschwindigkeiten anpassen. Die Auswertung verdeutlicht, dass die Befragung nur bedingt Aufschluss darüber gibt, wie sich Verkehrsteilnehmende bei Starkregen real verhalten. Es gibt einen Unterschied zwischen dem Antwortverhalten, wenn in Ruhe eine Situation betrachtet wird, und dem im Straßenraum realisierten Verkehrsverhalten, wenn die Entscheidung schnell und unter dem Druck nachfolgender Fahrzeuge erfolgt.

### 3.5. Unfallanalyse für Starkregenereignisse

Für die vier Städte Karlsruhe, Hamburg, Bretten und Solingen (Doormann et al. 2017 und Schwägerl 2021) wurde der Zusammenhang zwischen Starkregenereignissen und Verkehrsunfällen analysiert. Dafür werden Daten aus der amtlichen Unfallstatistik sowie Daten zu Starkregenereignisse aus der Wetteraufzeichnung zusammengeführt. Ziel ist zu analysieren, ob konvektive Starkregenereignisse einen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben. Die Analyse konzentriert sich auf konvektive Starkregenereignisse mit einer maximalen Regendauer von 120 Minuten, die zu starken Sichtbehinderungen sowie lokalen Überlastungen der Siedlungsentwässerung führen können. Für einen Fünfjahreszeitraum werden zunächst alle Starkregenereignisse und dann die zeitgleich vorgefallenen Unfälle identifiziert. Untersucht wird, ob ein Zusammenhang zwischen dem Starkregenereignis und dem Unfallgeschehen besteht.

Zunächst wird die deutschlandweite Unfallstatistik für das Jahr 2019 analysiert (Statistisches Bundesamt 2020). Im Jahr 2019 wurden in Deutschland 2.685.000 Verkehrsunfälle erfasst, davon 300.143 mit Personenschaden. In innerstädtischen Bereichen wurden 2.769 Unfälle mit Personenschaden und der angegebenen Unfallursache „Schlüpfrigkeit durch Regen“ erfasst. Des Weiteren kam es innerorts durch starken Regen, Hagel oder Schneegestöber zu 241 Unfällen mit Personenschaden. Von den 207.625 Unfällen mit Personenschaden innerorts können 1,33% auf Schlüpfrigkeit durch Regen und 0,11% auf starken Regen, Hagel oder Schneegestöber zurückgeführt werden. Der Einfluss von Starkniederschlägen auf Verkehrsunfälle ist nach der deutschlandweiten Unfallstatistik gering.

Für die Stadt Karlsruhe werden die durch Starkregenereignisse verursachten Unfälle auf städtischen Straßen für den Zeitraum Januar 2012 bis September 2016 identifiziert und ausgewertet (Dormann et al. 2017). Im betrachteten Zeitraum wurden 21.210 Unfälle erfasst. Von diesen Unfällen ereigneten sich 3.395 Unfälle auf nassen Fahrbahnen. Um herauszufinden, ob diese Unfälle auf nassen Fahrbahnen durch Starkregenereignisse verursacht wurden, werden die Daten von drei Karlsruher Wetterstationen herangezogen. Im Untersuchungszeitraum wurden an den Wetterstationen 13 Starkregenereignisse an elf Tagen erfasst. Dabei handelt es sich um sieben einjährige Starkregenereignisse, drei zweijährige Starkregenereignisse, drei dreijährige Starkregenereignisse sowie ein

fünfjähriges Starkregenereignis. An den Tagen mit Starkregenereignissen ereigneten sich 118 Unfälle, was einen Durchschnitt von 10,7 Unfällen pro Tag ergibt. Dieser Durchschnitt entspricht in etwa dem Fünfjahresdurchschnitt von 11,5 Unfällen pro Tag in Karlsruhe. Zur Klärung der Frage, ob die Unfälle in Zusammenhang mit einem der Starkregenereignisse stehen, wird analysiert, welche Unfälle in einem Zeitraum zwischen 15 Minuten vor und 15 Minuten nach einem aufgezeichneten Starkregenereignis aufgetreten sind. Leichte Ungenauigkeiten bezüglich des Zeitpunkts des Starkregenereignisses werden damit ausgeglichen. Im erfassten Zeitraum wurden im gesamten Fünfjahreszeitraum lediglich fünf Unfälle erfasst, die zum Zeitpunkt eines der Starkregenereignisse erfolgten. Zudem wird analysiert, ob die Unfälle auch tatsächlich dort stattgefunden haben, wo das Starkregenereignis von den Wetterstationen aufgezeichnet wurde. So gab es vier Unfälle, bei denen zwar an einer der drei Wetterstationen im Stadtgebiet ein Starkregenereignis aufgezeichnet wurde, die zum Unfall nächst gelegene Station jedoch kein Starkregen verzeichnet. Am Ende des Ausschlussverfahrens bleibt im Fünfjahreszeitraum ein Unfall übrig, welcher zeitgleich mit einem lokalen Starkregenereignis stattgefunden hat. Eine Durchsicht dieses Unfallberichts ergibt, dass es sich um einen Unfall handelt, bei dem ein ausparkendes Fahrzeug ein anderes parkendes Fahrzeug leicht beschädigt hat. Die Beschreibung des Unfallgeschehens legt nahe, dass der Unfallvorgang nicht in Zusammenhang mit dem Starkregenereignis steht. Für konvektive Starkregenereignisse lassen sich für den betrachteten Zeitraum in Karlsruhe damit keine negativen Auswirkungen auf das Unfallgeschehen belegen.

In der Stadt Bretten wurden im Untersuchungszeitraum von 2014 bis 2020 2.422 Verkehrsunfälle erfasst. Im Durchschnitt entspricht das 0,95 Unfällen pro Tag. Knapp 400 Unfälle sind bei nasser Fahrbahn vorgefallen, neun Unfälle bei Glätte oder Schlüpfrigkeit. In Bretten kann den identifizierten Starkregenereignissen nur ein Unfall zugeordnet werden. Bei dem Unfall handelt es sich um einen Zusammenstoß mit einem parkenden Fahrzeug bei dem geringer Sachschaden entstand. Der Unfallhergang lässt sich nicht auf das Starkregenereignis zurückführen.

In Solingen wurde im Zeitraum 2014 bis 2019 9.571 Unfälle erfasst, was einen Mittelwert von 4,4 Unfällen pro Tag ergibt. In 2.165 Fällen war die Straße zum Unfallzeitpunkt nass, bei 32 Unfällen war die Fahrbahn schlüpfrig. In Solingen konnten den identifizierten Starkregenereignissen vier Unfälle zugeordnet werden. Bei drei Unfällen kam es zu einem Aufprall mit je einem parkenden Fahrzeug. Bei einem Unfall wurde dabei Sichtbehinderungen durch starken Regen vermerkt. Beim vierten Unfall kam es zu einem Zusammenstoß zweier Pkw. Aufgrund zu hoher Geschwindigkeit und eingeschränkter Sicht durch Regen wurde der einbiegend Pkw zu spät erkannt.

In Hamburg wurden für den Zeitraum 2014 bis 2020 463.930 Unfälle analysiert. Das entspricht einem Durchschnitt von 181,4 Unfällen am Tag. Bei 23% der Unfälle war nasse Fahrbahn vermerkt. In dem Siebenjahreszeitraum kam es in Summe bei 1166 Minuten zu Starkregenereignissen (0,032 % der Zeit). Zeitgleich mit den Starkregenereignissen fanden 51 Unfälle statt (0,00011% der Unfälle). Im Durchschnitt passiert in Hamburg alle 7:56 Minuten ein Unfall. Während Starkregenereignisse liegt die durchschnittliche Dauer zwischen Unfällen bei 22:52 Minuten. Nur in zwei Fällen werden Regen oder starker Regen als Unfallursache aufgeführt. Die übrigen Unfälle lassen keinen Zusammenhang aufgrund der geringen räumlichen und zeitlichen Distanzen zu aufgezeichneten Starkregenereignisse herstellen. Für alle Unfalltypen sowie Unfallarten konnte kein signifikanter Zusammenhang mit Starkregenereignissen festgestellt werden.

Die Analyse von Unfällen in den vier Städten zeigt, dass es bei einer detaillierten Betrachtung nur in den wenigsten Fällen möglich ist, einen Zusammenhang zwischen Starkregenereignissen und dem Unfallgeschehen herzustellen. Eine Zuordnung zur Unfallursache Überschwemmung war nicht möglich. Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass konvektive Starkregenereignisse keine auffällige Unfallursache auf städtischen Straßen sind. Die Aussage der Fachliteratur, dass Starkregen die Unfallrate erhöhen kann, kann in den untersuchten Fallbeispielen nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse sprechen eher für einen negativen Zusammenhang zwischen Starkregen und Unfallanzahl.

### 3.6. Videobasierte Verkehrskonfliktanalyse von überfluteten städtischen Straßen

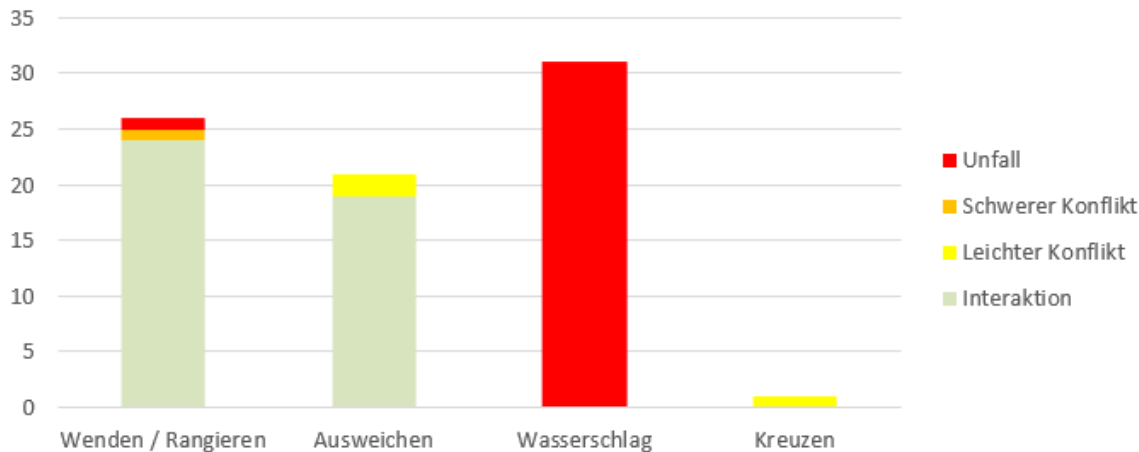
Sowohl Unfälle als auch Starkregenereignisse treten selten auf und lassen sich zeitlich und räumlich nur schwer vorhersagen. Eine systematische Analyse der Verkehrssicherheit auf durch Starkregenereignisse überfluteten Straßen, allein basierend auf Unfalldaten, ist daher nur schwer möglich. Durch die zunehmende Verbreitung von Smartphones gibt es jedoch eine große Anzahl von Videos von überfluteten Straßen nach Starkregenereignissen. Da bei den temporär überfluteten Straßen nur kurze Beobachtungszeiträume zur Verfügung stehen, bietet es sich an, nicht allein Unfälle zu betrachten, sondern auch die deutlich häufiger auftretenden Verkehrskonflikte und diese somit bei der Analyse der Verkehrssicherheit zu berücksichtigen. Verkehrskonflikte sind Situationen, in denen sich Verkehrsteilnehmende räumlich und zeitlich so annähern, dass Kollisionen nur durch kritische Fahrmanöver vermieden werden können. Solche Verkehrskonflikte sind nach der Konfliktpyramide von Hyden (1977) deutlich häufiger als Unfälle. Das gehäufte Auftreten von Verkehrskonflikten ist ein Indikator für mangelnde Verkehrssicherheit, auch wenn keine Unfälle beobachtet werden. Die Verkehrskonfliktanalyse ist daher in der Lage, für bereits deutlich kürzere Beobachtungszeiträume Aussagen über die Verkehrssicherheit zu treffen, als dies bei der klassischen Unfallanalyse der Fall ist. Somit können mit der Verkehrskonfliktanalyse auch für die selten auftretenden Überflutungsereignisse im Straßenraum Aussagen zur Verkehrssicherheit getätigt werden. Damit wird eine weitere empirische Basis für die Analyse der Verkehrssicherheit von Notwasserwegen geschaffen.

In drei Studien (Mettmann et al. 2016; Hölsch 2018; Fesser 2019) wurde die Verkehrssicherheit von überfluteten Fahrbahnen mit Hilfe der Verkehrskonfliktanalyse untersucht. Dafür wurden zunächst Videos mit überfluteten städtischen Straßen identifiziert. Etwa 60 Videos von überfluteten innerstädtischen Straßen in Deutschland mit einer Gesamtlänge von knapp 4 Stunden und insgesamt 130 Einzelsequenzen konnten gesichtet werden.

Die Videos werden nach Konflikten untersucht, in denen sich Verkehrsteilnehmende räumlich und zeitlich so annähern, dass Kollisionen nur durch kritische Fahrmanöver vermieden werden können (Schnabel & Lohse 2011). Dafür werden die identifizierten Videos mit Hilfe eines strukturierten Kriterienkatalogs im Hinblick auf Variablen des Verkehrsverhaltens (Geschwindigkeit, Beteiligte etc.), der Konflikttypen und -schwere (in Anlehnung an das Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) (FGSV 2012)) sowie den äußeren Rahmenbedingungen (Wasserstand auf Fahrbahn, Sichtbehinderung durch Niederschlag etc.) ausgewertet. Die beobachteten Konflikte werden entsprechend der Standardkonflikte der M Uko kategorisiert. Dieser Katalog wird um spezifische Konflikte für Überschwemmungen erweitert, die aufgrund des Wassers auf der Fahrbahn entstehen. Die Schwere der Konflikte wird angelehnt an den Standard der Verkehrskonflikttechnik erfasst (Hyden 1977). Als Interaktion werden demnach Konflikte eingeordnet, bei denen Verkehrsteilnehmende untereinander agieren und sich abstimmen, besondere Fahrmanöver aber noch nicht notwendig sind um einen Unfall zu verhindern. Bei leichten Konflikten handelt es sich um Konflikte, bei denen die zeitlichen und räumlichen Abstände zwischen den beteiligten Verkehrsteilnehmenden noch groß genug für eine kontrollierte Reaktion sind, die jedoch bereits über ein normales Fahrmanöver hinausgeht. Bei schweren Konflikten werden Unfälle hingegen nur noch dadurch vermieden, dass die beteiligten Verkehrsteilnehmenden starke, nur noch bedingt kontrollierbare Fahrmanöver durchführen. Im Falle eines Unfalls liegt letztlich eine Kollision von Verkehrsteilnehmenden untereinander oder ein Alleinunfall vor.

### 3.6.1. Anzahl und Typ der Konflikte

Abbildung 1.: Anzahl und Typ von Konflikten bei überfluteten Straßen



Zunächst wird analysiert, welche Konflikttypen im Zusammenhang mit der Überflutungssituation stehen. Unterschieden wird dabei zwischen Standardkonflikten, welche unabhängig von der Überflutungssituation auftreten, und spezifischen Konflikten die aufgrund von Wasser auf der Fahrbahn entstehen. Als Standardkonflikttypen entsprechend der M UKO werden kategorisiert: Konflikte durch Einbiegen/Kreuzen (z.B. bevorrechtigtes Fahrzeug von links), Konflikte durch ruhenden Verkehr (z.B. Ausweichen in den Gegenverkehr), Konflikte im Längsverkehr (z.B. Auffahren, Spurwechsel nach rechts, Begegnende) und sonstige Konflikte (z.B. Rückwärtsfahren, Wenden). Neben diesen Standardkonflikttypen werden als für Überflutungen typische Konflikttypen berücksichtigt: Liegenbleiben (Fahrzeuge durch Wasserschlag liegengeblieben), Wenden (wegen Wasser auf der Fahrbahn) oder Ausweichen (vor überfluteten Stellen).

Die bei normalen Verkehrsverhältnissen häufig vorkommenden Konflikte durch Einbiegen/Kreuzen werden bei Überflutungen nur sehr selten beobachtet (Mettmann et al. 2016). Vielmehr sind fast ausschließlich für Überflutungen spezifische Konflikttypen wie Wenden und Rangieren vor Überflutungen, Ausweichmanöver sowie liegengebliebene Fahrzeuge anzutreffen. So sind 81% der Konflikte spezifisch für überflutete Fahrbahnen und nur bei 19% handelt es sich um Standardkonflikte (Abbildung 2).

Am häufigsten sind Alleinunfälle durch liegengebliebene Fahrzeuge infolge eines Wasserschlags beim Überschreiten der Wattiefe. Die hohe Anzahl an Fahrzeugen, welche in einen überfluteten Bereich einfahren und mit einem Wasserschlag liegen bleiben, zeigt, dass die Verkehrsteilnehmenden häufig nicht einschätzen können, wann das Durchfahren einer überfluteten Fahrbahn gefahrlos möglich ist. Lediglich zwei in den Videos beobachtete Unfälle sind nicht auf einen Wasserschlag zurückzuführen. So fahren wendende Fahrzeuge rückwärts gegen Straßenlaternen und verursachen einen leichten Sachschaden. Die geringe Schwere der Konflikte ist auf die überwiegend geringen Geschwindigkeiten zurückzuführen. So sind 93% der Verkehrsteilnehmenden mit einer angepassten Geschwindigkeit unterwegs, durch die keine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmenden besteht und die unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegt. Neben den Alleinunfällen wurden keine Unfälle mit anderen Verkehrsteilnehmenden beobachtet.

Am Rand der überfluteten Fahrbahnbereiche sind häufig Interaktionen durch wendende oder rangierende Fahrzeuge zu beobachten. Beim Wenden und Rangieren ist das Geschwindigkeitsniveau sehr gering, so dass es meist nur zu leichten Interaktionen zwischen Verkehrsteilnehmenden kommt. Konflikte oder gar Unfälle wurden, mit Ausnahme eines Alleinunfalls beim Rückwärtsfahren

gegen eine Laterne, nicht beobachtet. Dabei werden teilweise Fußgängeraufstellflächen oder erhöhte Mittelstreifen regelwidrig zum Wenden genutzt.

Als weiterer spezifischer Konflikttyp für Überschwemmungen sind Ausweichmanöver auf die Gegenfahrbahn oder den Seitenraum zu beobachten. Beim Ausweichen und Umfahren ist ein ausgeprägtes Schwarmverhalten festzustellen. Wenn ein Verkehrsteilnehmer ein Ausweichmanöver durchführt, folgen ihm häufig weitere. Beobachtet wurde zudem, dass Verkehrsteilnehmende vor dem Durchfahren der überfluteten Fahrbahnabschnitte zunächst zögern, dann jedoch durch nachfolgende Fahrzeuge (z.B. mittels Hupen) zum Weiterfahren gedrängt werden. Dabei umfahren einige Kraftfahrzeugführende überflutete Fahrbahnbereiche regelwidrig über erhöhte baulich getrennte Geh- und Radwege. Das Ausweichen findet in einem Geschwindigkeitsbereich zwischen Schrittgeschwindigkeit und Tempo 30 statt, so dass die Konfliktschwere gering ist und meist nur Interaktionen oder leichte Konflikte umfasst.

### 3.6.2. Wasserstand und Konflikttypen

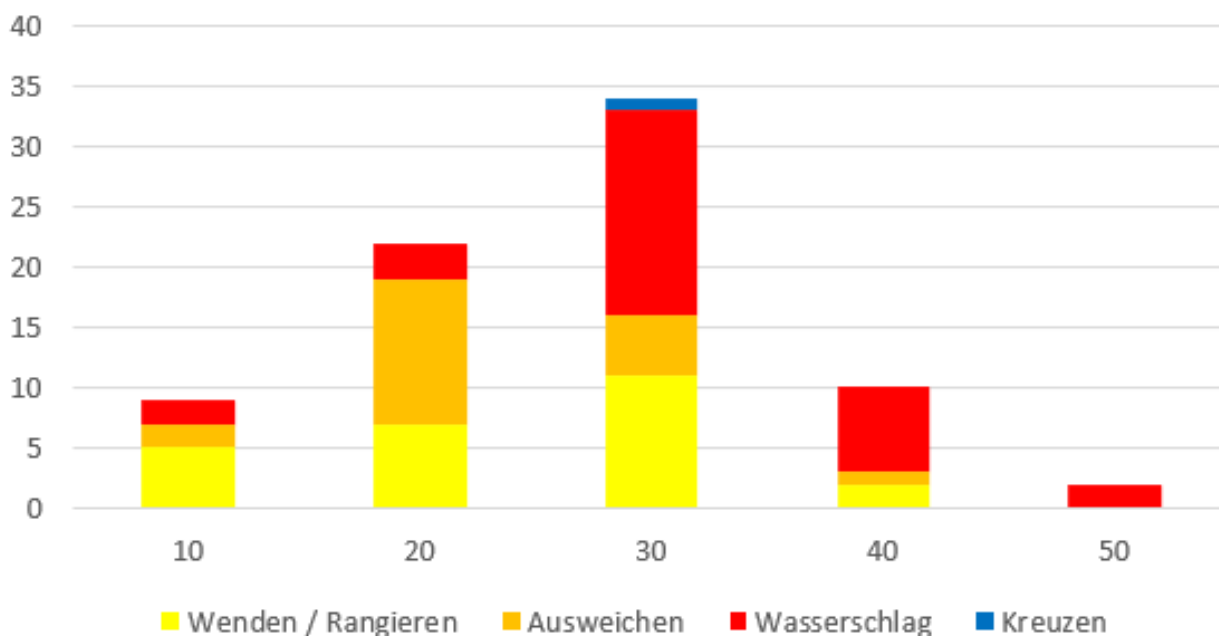


Abbildung 2.: Wasserstände und Konflikttypen bei überfluteten Straßen

Der Zusammenhang zwischen Wassertiefe der Überflutung und der Anzahl der Verkehrskonflikte wird betrachtet (Mettmann et al. 2016, Fesser 2019). Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Konfliktes nimmt zunächst mit zunehmendem Wasserstand bis 30 cm zu. Die beobachteten Unfälle und Konflikte treten vor allem bei Wasserständen von 20 cm und 30 cm auf (Abbildung 3). Ab 40 cm Wasserstand nimmt die Anzahl der Verkehrskonflikte und Unfälle wieder ab.

Unfälle durch Wasserschlag sind, von wenigen Ausnahmen abgesehen, bei Wasserständen von 30 und 40 cm anzutreffen. Dies deckt sich mit den Angaben der Fachliteratur zur Wattiefe von Pkw, die meist 30 cm beträgt (Kramer et al. 2016). Insbesondere bei Wasserständen von 30 cm ist die Wattiefe gerade überschritten, was von den Kfz-Führenden nicht immer realisiert wird, wodurch es zu vielen Alleinunfällen kommt. Bei überfluteten Bereichen mit Wasserständen von 50 cm gibt es weniger Fahrende, die versuchen diese Bereiche zu durchfahren. Sie werden offenbar korrekt als zu tief wahrgenommen. Warum vereinzelt Wasserschläge bei Wasserständen von unter 20 cm anzutreffen sind, lässt sich in den beobachteten Situationen nicht nachvollziehen. Möglicherweise sind

einzelne Stellen der Fahrbahn tiefer und die Wasserstände zum Beobachtungszeitpunkt im Vergleich zum Maximalstand bereits wieder gesunken oder es kam zu einem Wellenschlag. Innerhalb der Wattiefe von Pkw sind Alleinunfälle durch Wasserschlag deutlich seltener.

Ausweichmanöver kommen insbesondere bei Wasserständen von 20 und 30 cm vor. Bei geringeren Wasserständen fahren die Verkehrsteilnehmenden auf der Fahrbahn meist direkt durch die Überflutung. Bei höheren Wasserständen ist ein Ausweichen auf andere Verkehrsflächen meist nicht möglich.

Konflikte durch Wenden und Rangieren steigen bei Wasserständen von 10 bis 30 cm an. Je höher die Wasserstände, desto wahrscheinlicher sind Wendemanöver. Ab 40 cm nimmt die Anzahl dieser Konflikte wieder ab.

### 3.6.3. Wasserstand und Konfliktschwere

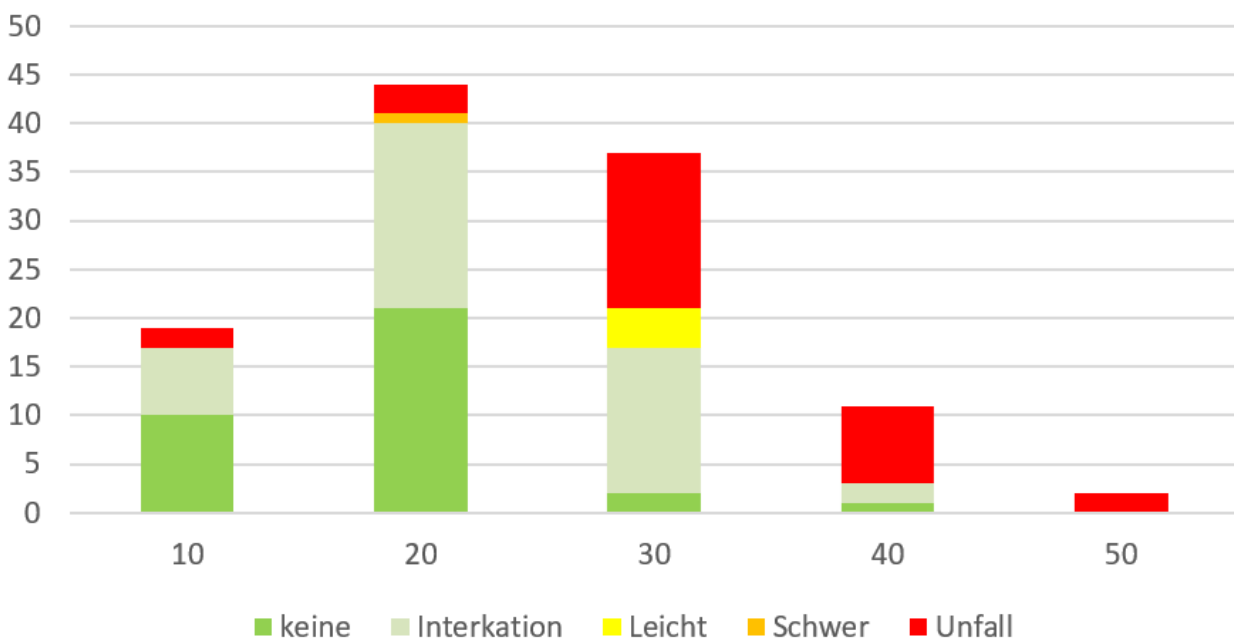


Abbildung 3.: Wassertiefe und Konfliktschwere bei überfluteten Straßen

Auch der Zusammenhang zwischen den Wasserständen und der Konfliktschwere wird untersucht. Bei Wasserständen von 10 und 20 cm gibt es nur Begegnungen und leichte Konflikte. Es sind nur vereinzelt schwere Konflikte oder Alleinunfälle zu beobachten.

Bei Wasserständen von 30 cm steigt die Anzahl von Konflikten und Unfällen schlagartig an, insbesondere von Alleinunfällen durch Wasserschlag. Bei dieser Wasserhöhe gibt es also die meisten Konflikte und Unfälle. Videos mit Radfahrenden zeigen, dass Gleichgewicht halten und eine grundsätzliche Befahrbarkeit durch Radfahrende bei Wasserständen von 20 und 30 cm möglich ist.

Bei Wasserständen ab 40 cm überwiegen Unfälle. Es kommt kaum noch zu Begegnungen und Interaktionen ohne Konflikte. Jedoch nimmt die Anzahl der Vorkommnisse im Vergleich zu 30 cm deutlich ab. Bei Wasserständen von 50 cm werden kaum Vorkommnisse beobachtet, wenn dann aber Unfälle.

### 3.6.4. Wasserstand und Geschwindigkeit

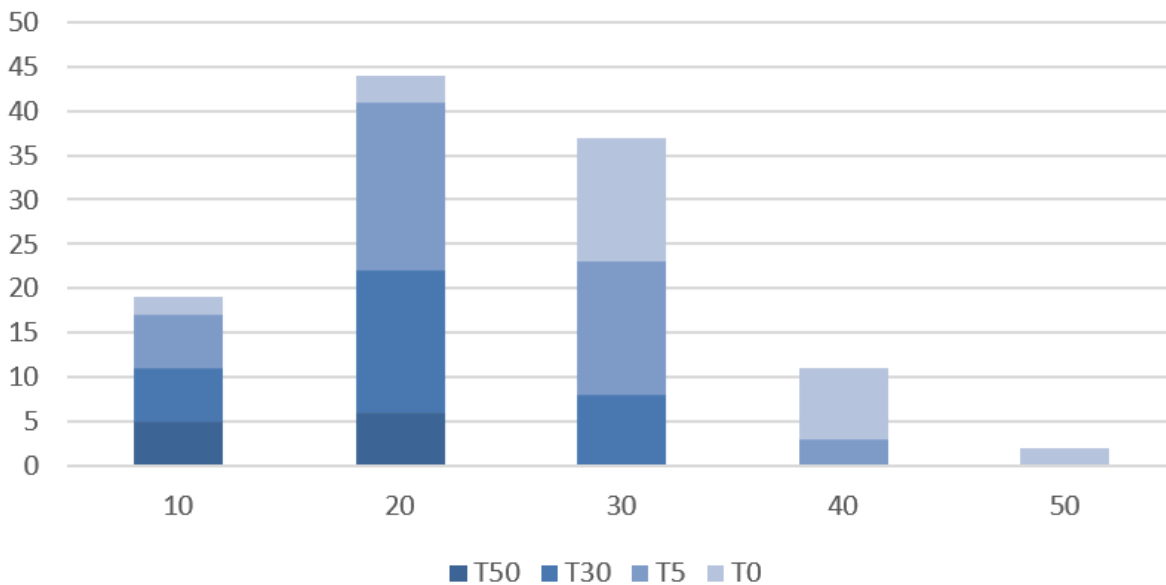


Abbildung 4.: Wassertiefe und gefahrene Geschwindigkeit bei überfluteten Straßen

Ob die Verkehrsteilnehmenden ihre Geschwindigkeit der Situation entsprechend anpassen oder nicht, ist entscheidend für die Bewertung der Verkehrssicherheit bei überfluteten Fahrbahnen. Durch verringerte Geschwindigkeit können die Gefahren durch verminderte Haftreibung und Sicht kompensiert werden. Bei geringen Wasserständen von 10 cm wird noch von 25% der Verkehrsteilnehmenden 50 km/h gefahren. Geschwindigkeiten bis zu 50 km/h werden bei Überflutungen meist nur gefahren, wenn die Verkehrssituationen eindeutig und übersichtlich sind, so dass keinerlei Interaktionen oder Konflikte entstehen. Zudem handelt es sich meist um schon länger überflutete Bereiche, bei denen ein hoher Druck durch andere Verkehrsteilnehmende besteht. Bei Wasserständen ab 20 cm fahren nur 15% der Verkehrsteilnehmenden 50 km/h. Ab 30 cm Wasserstände fährt niemand 50 km/h und nur 22% 30 km/h. In den Videos war zu beobachten, dass die Kfz ihre Geschwindigkeit bei überfluteter Fahrbahn im Vergleich zur Trockenwettergeschwindigkeit deutlich reduzieren, um die ungünstigen Rahmenbedingungen zu kompensieren. Daraus ergibt sich bei überfluteten Fahrbahnen eine wirksame Kompensationsstrategie der Verkehrsteilnehmenden. Dies ist bei nasser Fahrbahn bzw. Regen anders. Die Verkehrsteilnehmenden reduzierten ihre Geschwindigkeit nicht ausreichend für eine Kompensation. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Überflutungen für Verkehrsteilnehmende ungewöhnliche Situationen darstellen, sie sich verunsichert fühlen und von daher die Geschwindigkeit deutlich reduzieren. Die vereinzelt höheren Geschwindigkeiten könnten jedoch darauf hinweisen, dass sich dies nach einer gewissen Dauer der Überflutung wieder gibt und wieder schneller gefahren wird.

### 3.7. Muster Gefahrensituationen Überflutungen städtische Straßen

Aus der Zusammenschau von Literaturanalyse, Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen, Analyse bestehender Fallbeispiele, Unfallanalyse, Befragung und Verkehrskonfliktanalyse lassen sich Muster von Gefahrensituationen für die verschiedenen Verkehrsteilnehmenden auf Notwasserwegen identifizieren.

| Eigenschaft Notwasserweg                |       | Erkenntnisse  | Empfehlungen für Notwasserwege   |
|---|-------|---|--|
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit in km/h | >60   | Gefahr Aquaplaning ab 60 km/h<br>Gefahr Hydraulic Drag<br>Risiko, dass Gefahrensituation zu spät erkannt wird   | Durch Kompensationsstrategie der Verkehrsteilnehmenden ist bei Überflutungen die real gefahrene Geschwindigkeit meist geringer als die zulässige Höchstgeschwindigkeit.<br><br>Notwasserwege nur bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 50 besser 30 km/h vorsehen.<br><br>Gute Einsehbarkeit der Situation gewährleisten. |
|   | 50    | Keine Gefahr Aquaplaning unter 50 km/h<br>Risiko, dass Gefahrensituation zu spät erkannt wird   |  |
|   | <30   | Kurze Anhaltewege und ausreichend Zeit auf Überflutung zu reagieren   |  |
| Wasserstandshöhen in cm                 | <1    | Normale Situation mit funktionierender Entwässerung<br>Eventuell Sichtbeeinträchtigungen.<br>Ab Geschwindigkeiten von 60 km/h Gefahr von Aquaplaning.<br>Nach Überflutungen eventuell Rückstände, die die Griffbarkeit beeinträchtigen.   | Wasserstand Überflutung unter 20 cm zur Sicherheit unter 15 cm, um Risiko für Wasserschlag und Sturzgefahr Fußgänger zu reduzieren.<br><br>Wasserstände über 40 cm aufgrund Risiko Todesfälle Ertrinken in Fahrzeug unbedingt vermeiden.<br><br>Durch Überflutung verdeckte Hindernisse vermeiden.                           |
|   | 1-20  | Wattiefe Pkw 30 cm.<br>Bis 20 cm Durchfahren für Verkehrsteilnehmende meist ohne Gefahr Alleinunfall Wasserschlag möglich.<br>Für Zufußgehende meist noch begrenztes Sturzrisiko.<br>Gefahren durch in Überflutung verdeckte Hindernisse.<br>Nach Überflutungen eventuell Rückstände, die die Griffbarkeit beeinträchtigen.                 |  |
|   | 21-40 | Ab 20 cm steigt Risiko an, dass es aufgrund von Wellenschlag, Strömung oder kleineren Untiefen vermehrt zu Alleinunfällen mit Wasserschlag kommt.<br>Ab 30 cm kommt es zu sprunghaftem Anstieg von Alleinunfällen durch Wasserschlag.<br>Rettungsfahrzeuge können die Überflutung meist noch passieren.<br>Zufußgehende haben ab 20 cm Was- |  |



|                             |                |  |   |
|-----------------------------|----------------|--|---|
|                             |                | <p>serstand und höheren Fließgeschwindigkeiten erhöhte Sturzgefahr.</p> <p>Gefahren durch in Überflutung verdeckte Hindernisse.</p> <p>Nach Überflutungen eventuell Rückstände, die die Griffbarkeit beeinträchtigen.</p>                              |   |
|                             | >40            | <p>Auch für Rettungsfahrzeuge besteht beim Durchqueren die Gefahr von Alleinunfällen durch Wasserschlag.</p> <p>Normale Pkw fangen an aufzuschwimmen, mit der Gefahr, dass bei Strömung die Fahrzeuge weggeschwemmt werden und Personen ertrinken.</p> |   |
| Fließgeschwindigkeit in m/s | <1,5           | Risiko für Zufußgehende und Kfz noch begrenzt.   | Zur Sicherheit von Fußverkehr und Pkw Fließgeschwindigkeiten <1,5m/s.   |
|                             | >1,5           | <p>Bei Fließgeschwindigkeit über 1,5 m/s erhöhte Sturzgefahr für schwache Zufußgehende.</p> <p>Bei Fließgeschwindigkeiten über 2 m/s und Wasserständen 40 cm Gefahr Aufschwimmen und Wegschwemmen von Pkw mit Gefahr Ertrinken.</p>                    |   |
| Dauer Überflutung           | Wenige Stunden | Bei temporären Beeinträchtigungen durch Starkregenereignisse ist häufig eine Selbstregulation der Verkehrsteilnehmenden als Kompensationsstrategie zu beobachten.  | Beeinträchtigung sollte auf wenige Stunden (genaue Zeitdauer nicht bekannt) beschränkt sein.                                      |
|                             | länger         | Bei längerfristigen Beeinträchtigungen ist zunehmend risikobereites Verhalten zu beobachten.   |   |
| Verkehrsmenge               | Niedrig        | Verkehrsteilnehmende handeln nach eigener Einschätzung.  | Hohe Verkehrsmengen (genaue Menge ist nicht bekannt) erhöhen Risiko zu nicht angepasstem Verhalten aufgrund von Schwarmverhalten. |
|                             | hoch           | <p>Vorsichtige Verkehrsteilnehmende oftmals durch nachfolgende Fahrzeuge zum Weiterfahren gedrängt.</p> <p>Beim Durchfahren oder Umfahren einer Überflutung ist Schwarmverhalten festzustellen.</p>  |   |
| Verkehrsmittel              | MIV            | <p>Wattiefe von 30 cm.</p> <p>Zur Verhinderung von Alleinunfällen Wasserschlag Wassertiefe &lt;20cm gewährleisten.</p> <p>Ab Fließgeschwindigkeiten 2m/s und</p>   | Verschiedene Verkehrsteilnehmende führen zu vergleichbaren Anforderungen Wasserstand <20cm und Fließgeschwindigkeit <2m/s.        |

|              |                |   |  |
|--------------|----------------|---|--|
|              |                | 40 cm Wasserstand Gefahr des Wegschwemmens Pkw.   | <p>Weitreichende Folgewirkungen bei ÖPNV beachten, auch wenn diese selten sind.</p> <p>Zugänglichkeit für Notfalldienste ist jederzeit zu gewährleisten.</p> |
|              | Retungsdienste | <p>Wattiefe von Einsatzfahrzeugen häufig bis 50 cm – dadurch länger Befahrbarkeit gewährleistet.</p> <p>Beeinträchtigung von Einsatzrouten beachten.</p>  |  |
|              | ÖPNV           | <p>Anforderungen Befahrbarkeit vergleichbar mit Pkw.</p> <p>Bei ÖPNV meist nicht Wirkung allein auf einzelne Fahrzeuge, sondern Wirkungen auf das weitere ÖPNV-System. Führt zu Verzögerungen, Ausfällen oder Umleitung des ÖPNVs.</p>  |  |
|              | Fuß            | <p>Hohes Augenmerk, da Basis-Verkehrsmittel, insbesondere auch in Notfallsituationen.</p> <p>Erhöhte Sturzgefahr ab Wasserständen von 20 cm und Fließgeschwindigkeiten über 1,5m/s.</p>   |  |
|              | Rad            | <p>Radfahrende je nach Führungsform im Seitenraum oder auf der Fahrbahn unterwegs. Daher vielfältige Anforderungen.</p> <p>Grundsätzliche Befahrbarkeit und Gleichgewicht Radfahrende auch bei Wasserständen von 20 bis 30 cm möglich.</p> <p>Bei Überflutungen mit höheren Fließgeschwindigkeit erhöhte Sturzgefahr.</p> |  |
| Platzangebot | Viel           | Anpassungsreaktionen der Verkehrsteilnehmenden können meist ohne Konflikte erfolgen.  | <p>Ausreichend Platzangebot (bisher nicht spezifiziert) für Anpassungsreaktionen der Verkehrsteilnehmenden wie Wenden, Rangieren, Ausweichen vorhalten.</p>  |
|              | Wenig          | Anpassungsreaktionen der Verkehrsteilnehmenden wie Wenden / Rangieren oder Ausweichen führt mit höherer Wahrscheinlichkeit zu Konflikten mit anderen Verkehrsteilnehmenden.   |  |

Tabelle 1.: Muster Gefahrensituationen überflutete Straßen

## 4. Empfehlungen für die Planung von Notwasserwegen

### 4.1. Übersicht Ablauf Planung und Bewertung von Notwasserwegen

Bei der temporären Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen im Straßenraum sind die Anforderungen der Verkehrssicherungspflicht zu berücksichtigen. Dafür ist, basierend auf den Mustern an Gefahrensituationen, die Verkehrssicherheit von Notwasserwegen systematisch zu analysieren.

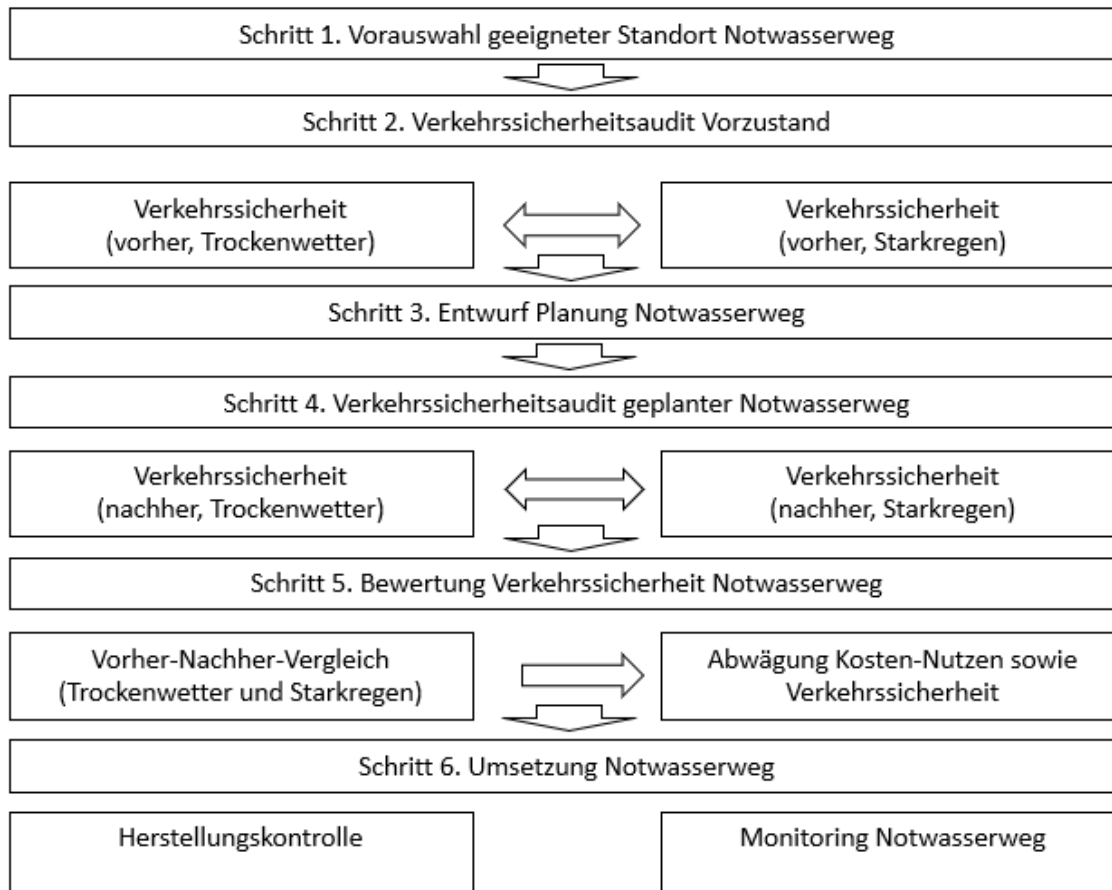


Abbildung 5.: Ablauf Planung und Bewertung Notwasserwege

Die Analyse basiert auf Verkehrssicherheitsuntersuchungen am Standort möglicher Notwasserwege in seiner gegenwärtigen Gestaltung bei Trockenwetter sowie bei einem Starkregenereignis mit Überflutung. Die aus den gegenwärtigen ungeplanten Überflutungssituationen entstehenden Gefährdungen werden identifiziert. Aus den Ergebnissen werden Varianten für die Gestaltung des Standorts als Notwasserweg entwickelt. Auf Grundlage dieser Varianten wird bewertet, wie sich die Verkehrssicherheit des möglichen Notwasserweges nach dessen Umgestaltung darstellt. Dabei erfolgt die Bewertung für Trockenwetter und ein Starkregenereignis. Dies ermöglicht einen Vergleich der Verkehrssicherheit des potenziellen Standorts in seiner jetzigen Gestaltung (Vorher-Zustand) sowie nach dessen Umgestaltung als Notwasserweg (Nachher-Zustand).

Durch den Vorher-Nachher-Vergleich der Verkehrssicherheit wird bewertet, ob es durch den Notwasserweg für einen umsichtigen, sich auf die Straßenverhältnisse einstellenden Verkehrsteilnehmenden zu einer relevanten Gefährdungszunahme kommt. Zudem wird analysiert, ob bei der Ge-

staltung des Notwasserweges ausreichende Vorsorgemaßnahmen ergriffen wurden, um die Beeinträchtigungen der Verkehrssicherheit zu reduzieren. Diese beiden Vergleiche ermöglichen eine Bewertung, ob die Anforderungen der Verkehrssicherungspflicht berücksichtigt sind. Im Folgenden wird das Vorgehen im Allgemeinen beschrieben und anhand des Fallbeispiels Solingen Heukämpchenstraße illustriert.

## 4.2. Vorauswahl geeigneter Standorte Notwasserwege

### 4.2.1. Kriterien Vorauswahl potenzieller Standorte Notwasserwege

Die Vorauswahl potenzieller Standorte für Notwasserwege beginnt mit der Analyse, welche Standorte sich aus wasserwirtschaftlicher Sicht eignen. Damit steht der wasserwirtschaftliche Zweck der Notwasserwege im Vordergrund. Die Analyse, ob sich die identifizierten potenziellen Standorte für Notwasserwege aus Sicht der Verkehrssicherheit eignen, erfolgt erst im nächsten Schritt. Kriterien für aus wasserwirtschaftlicher Sicht geeignete Standorte für Notwasserwege (Günthert & Faltermaier 2016; Riegel et al. 2013) sind:

- Die „natürlichen“ Fließwege, auf denen sich das Niederschlagswasser bei Starkregenereignis aus den angrenzenden Bereichen sammelt, wie z.B. Mulden oder Senken. Zudem sollte der Schutz gefährdeter Nutzungen erforderlich sein, um Gefahren zu reduzieren.
- Am Standort sollte eine schadensarme Ableitung des Niederschlagswassers in Vorfluter oder Freiflächen möglich sein.
- Die Nutzung als Notwasserweg eignet sich insbesondere bei Überflutungen durch Starkniederschläge mit einer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit (Wiederkehrzeit kleiner 10 Jahre).

Um solche für Notwasserweg geeignete Standorte zu bestimmen, ist eine Analyse des lokalen oberflächigen Abflussverhaltens erforderlich. Basierend auf hochauflösenden Geländemodellen können mit Hilfe von Abflussmodellen die potentiellen oberflächigen Fließwege sowie Wasserstände für verschiedene Niederschlagsereignisse ermittelt werden. Zunächst wird ein digitales Geländemodell mit den Geländetiefpunkten wie Mulden und Senken erstellt (Tyrna & Hochschild 2010). Dann erfolgt ein gekoppeltes Kanalnetz- und Oberflächenabflussmodell (Fuchs et al. 2018). Der Direktabfluss des Niederschlagswassers wird über das Oberflächenmodell ermittelt. Die Wechselwirkungen zwischen den Abflüssen im Kanalnetz und an der Oberfläche werden über die Schnittstellen wie Schächte und Straßeneinläufe bestimmt. Dabei wird auch ein möglicher Überstau in der Kanalisation und das damit verbundene Austreten von Niederschlagswasser berücksichtigt (Hochschule Bremen 2017). Es lassen sich für Starkregenereignisse die Fließwege und Geländesenken mit zu erwartendem Einstau ablesen. Für die resultierenden Wasserstände an der Oberfläche wird analysiert, ob diese schutzwürdige Nutzungen beeinträchtigen. Im Ergebnis werden Gefahrenpotenzialkarten erstellt. Damit lassen sich die Standorte identifizieren, an denen Notwasserwege zur Reduzierung der Überflutungsschäden bei Starkregenereignissen beitragen können. Die Relevanz der identifizierten Überflutungsbereiche kann anhand von Schadensmeldungen der Feuerwehr sowie Informationen aus sozialen Medien verifiziert werden (Krämer et al. 2018; Tecklenburg et al. 2017).

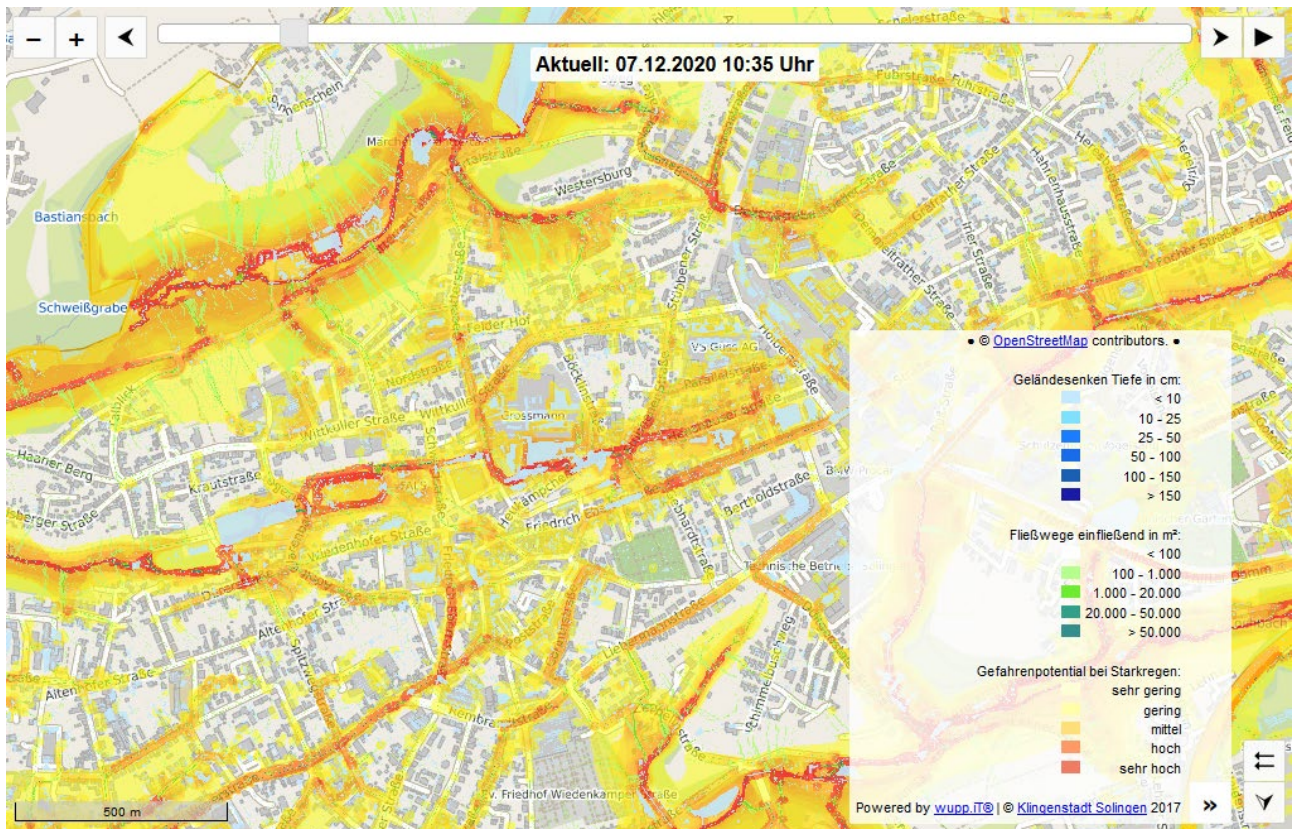


Abbildung 6.: Beispiel Gefahrenpotenzialkarte Überflutungen Stadt Solingen (Quelle Technische Betriebe Solingen)

#### 4.2.2. Vorauswahl Standort Solingen Heukämpchenstraße

Im Folgenden wird die beschriebene Bewertungsmethodik am BlueGreenStreets-Pilotstandort Heukämpchenstraße in Solingen dargestellt. Bei der Heukämpchenstraße handelt es sich um eine ca. 400 m lange, in Ost-West-Richtung verlaufende, gründerzeitliche Quartiersstraße im Solinger Stadtteil Wald. Wie anhand der Fließwege zu erkennen ist, sammelt sich bei Starkregenereignissen das Niederschlagswasser aus den umliegenden Straßen im Tiefpunkt der Heukämpchenstraße. Die Heukämpchenstraße weist daher nach der Gefahrenpotenzialkarte der Stadt Solingen ein hohes Gefährdungspotenzial bei Starkregenereignissen auf. In der Vergangenheit ist es bereits mehrfach zu einer Überflutung der Heukämpchenstraße gekommen. Eine schadensarme Ableitung des Niederschlagswassers in den Krausenerbach erscheint möglich. Die Heukämpchenstraße eignet sich daher aus wasserwirtschaftlicher Sicht als Pilotstandort für einen Notwasserweg.

### 4.3. Verkehrssicherheitsaudit Vorzustand mögliche Standorte Notwasserwege

#### 4.3.1. Kriterien und Methoden für Analyse Verkehrssicherheit von Notwasserwegen

Ob sich ein Straßenabschnitt für die temporäre Rückhaltung und Notableitung von Niederschlagswasser im Straßenraum anbietet, hängt neben der wasserwirtschaftlichen Notwendigkeit auch von der Verkehrssicherheit ab. Die Analyse beginnt mit der Bewertung der Verkehrssicherheit am potenziellen Standort in seiner jetzigen Gestaltung bei Trockenwetter. Anschließend erfolgt eine Bewertung der Verkehrssicherheit am potenziellen Standort in seiner jetzigen Gestaltung bei Auftreten eines Starkregenereignisses.

Bei der Beurteilung des Standortes bei Trockenwetter können die üblichen Bewertungsmethoden und -maßstäbe der Verkehrssicherheitsarbeit angewandt werden. Für eine Beschreibung der Verfahren wird auf den Anhang verwiesen. Die nachfolgende Betrachtung konzentriert sich auf die spezifischen Anforderungen und Anpassung der Bewertungsmethoden und -maßstäbe für die Beurteilung der Verkehrssicherheit bei der temporären Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen im Straßenraum. Die Methodik muss eine Prognosefähigkeit besitzen und auch für Planungen von Notwasserwegen, wenn aktuell noch keine Überflutungen vorliegen, eine Beurteilung der Verkehrssicherheit bei Überflutungen ermöglichen.

Im Mittelpunkt stehen zunächst die Bewertungskriterien für sichere Notwasserwege, basierend auf den Rahmenbedingungen, die für sichere Notwasserwege aus der Analyse in Kapitel 3 abgeleitet wurden. Danach wird geschaut, mit welchen Methoden die erforderlichen Informationen bezogen werden können.

Für die Beurteilung der Verkehrssicherheit sind die nachfolgenden Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Diese wurden aus den Mustern an Gefahrensituationen für überflutete städtische Straßen abgeleitet. Dargestellt werden Rahmenbedingungen (als Schwelle für den Einsatz von Notwasserwegen) sowie die für die Rahmenbedingungen erforderlichen Prüfgrößen. Zudem erfolgt eine Erläuterung der Rahmenbedingungen, um diese informiert anzuwenden.

| Rahmenbedingung Notwasserweg   | Prüfgrößen   | Erläuterung / Begründung   |
|--|--|--|
| Beschränkung Wasserstand Überflutung auf 15 bis 20 cm  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Angaben aus Gefahrenpotenzialkarte bzw. Fließwegkarte der Wasserwirtschaft zu erwartende Wasserstände</li> <li>• Topographie des Standortes, welche die Wasserstände begrenzt</li> <li>• Können voraussichtlich in der Planung Maßnahmen ergriffen werden, um Beschränkungen der Wasserstände bei Überflutungen zu gewährleisten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung von Alleinunfällen durch Wasserschlag. Wasserstände &gt; 30 cm führen vermehrt zu Sachschäden durch liegengeliebene Fahrzeuge. Bei Wasserständen &lt; 20cm eventuell 15 cm werden Alleinunfälle zuverlässig vermieden.</li> <li>• Gefährdung Zufußgehende ab Wasserstand &gt; 20 cm.</li> <li>• Wasserstände &gt; 40 cm erhöht i.V.m Strömung zu Verdriftung von Pkw und erhöhter Gefahr Hochwassertoter.</li> </ul> |
| Überflutung nur auf Straßen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 30 besser 50 km/h         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zulässige Höchstgeschwindigkeit</li> <li>• Gefahrenes Geschwindigkeitsniveau (V85) bei trockenen Verhältnissen</li> <li>• Eigenschaften der Strecke (aktuell oder zukünftig geplant) die gewährleistet, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit eingehalten wird</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompensation der Gefährdung der Überflutung durch Verkehrsteilnehmende durch Reduzierung Geschwindigkeit.</li> <li>• Wahrung Verkehrssicherheit, da geringe Geschwindigkeiten zu Interaktionen oder Konflikten mit leichter Intensität führen.</li> <li>• Vermeidung von Aquaplaning, was ab Geschwindigkeiten &lt; 60 km/h auftritt.</li> </ul>  |
| Fließgeschwindigkeit unter 2 besser 1,5m/s und Begrenzung Dauer Überflutung auf wenige Stunden | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Angaben über Fließgeschwindigkeit von Wasserwirtschaft abfragen.</li> <li>• Angaben zur Überflutungsdauer von Wasserwirtschaft abfragen.</li> <li>• Besteht Möglichkeit Fließgeschwindigkeit zukünftig zu beeinflussen.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ab Fließgeschwindigkeiten von 1,5 bis 2,0 m/s erhöht sich die Sturzgefahr von Zufußgehenden.</li> <li>• Ab Wasserstände &gt; 40 cm mit Fließgeschwindigkeiten über 2m/s besteht Gefahr des Wegschwemmens von Pkw.</li> <li>• Bei temporären Beeinträchtigungen von wenigen Stunden kann</li> </ul>  |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>verstärkt mit Selbstregulation und vorsichtigem Verhalten der Verkehrsteilnehmenden gerechnet werden. Bei längerfristigen Beeinträchtigungen unklar, ob die Kompensationsstrategie für widrige Bedingungen noch greift und die wieder Risikoaffinität steigt.</p>  |
| Geringe Verkehrsstärke (es ist keine genaue Grenze vorhanden, aber weniger ist tendenziell besser) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrsmenge aller Verkehrsteilnehmenden aus Erhebung</li> <li>• ÖPNV Linien</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stress/Druck auf unsichere Verkehrsteilnehmende steigt durch nachfolgende Fahrzeuge.</li> <li>• Vermeiden, dass durch ÖPNV-Linien weiteres Netz betroffen ist.</li> </ul>  |
| Übersichtliche Straßenraumsituation und ausreichend Platz zur Vermeidung von Konflikten            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsehbarkeit des für die temporäre Rückhaltung vorgesehenen Bereiches durch Sichtdreiecke prüfen.</li> <li>• Erkennbarkeit des Wasserstandes auf der Fahrbahn für die Verkehrsteilnehmenden.</li> <li>• Prüfen, ob bei Überflutung verdeckte Hindernisse auf der Fahrbahn oder im Seitenraum vorhanden sind.</li> <li>• Vorhandensein von Warte- oder Wendemöglichkeiten für Verkehrsteilnehmende, die sich unsicher fühlen.</li> <li>• Prüfung Wahrscheinlichkeit des Ausweichens des Kfz-Verkehrs über Flächen des Fuß- und Radverkehrs.</li> <li>• Wahrscheinlichkeit, dass sich viele Schaulustige und spielende Personen bei Überflutungen im Straßenraum aufhalten (z.B. Kindergärten).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrsteilnehmende sollten problemlos halten und auf die Situation reagieren können.</li> <li>• Bei Situationen mit geringem Platzangebot wie z.B. Unterführungen kommt es zu mehr Konflikten.</li> <li>• Unter der Wasseroberfläche verdeckte Hindernisse (z.B. Bordsteine oder weggeschwemmte Schachtdeckel) stellen eine Gefahr dar.</li> <li>• Gefährdung der missbräuchlichen Verwendung der Verkehrsflächen des Fuß- und Radverkehrs durch Kfz vermeiden.</li> </ul> |
| Routen von Rettungsfahrzeugen beachten   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Offiziell ausgewiesene Einsatzwege für Rettungsdienste prüfen.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugänglichkeit für Notfalldienste ist jederzeit zu gewährleisten, die meisten Rettungsfahrzeuge haben eine Wassertiefe von 50 cm.</li> </ul>   |
| Barrierefreiheit ermöglichen   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prüfen Barrierefreiheit des Notwasserweges für Zufußgehende</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschiedene Anforderungen sind in Ausgleich zu bringen wie Bedarf an ebenerdigen Querungen und Schaffung von Rückhaltvolumen (mit höheren Borden).</li> </ul>   |
| Unterhaltung sicherstellen   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Besondere Gefahr durch Verschmutzung der Fahrbahn bei Starkregenereignis (in Verbindung mit Sturm) durch Bäume und Sträucher.</li> <li>• Regelungen für Reinigung nach Überflutung vorhanden oder absehbar.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mögliche Ansammlung von Schmutzpartikeln und Öl auf der Fahrbahn nach Überflutung. Gefahr auch nach der Überflutung, wenn die Fahrgeschwindigkeit wieder steigt, jedoch der Reibungsbeiwert immer noch reduziert ist.</li> </ul>   |
| Standort ist bereits   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unfall- und Konfliktanalyse soll</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Überschwemmungen sind</li> </ul>   |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p>weniger unfall-/konfliktträchtig; vermeiden, dass gefährliche Situation verschlechtert werden.</p> | <p>nachfolgende Fragen beantworten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gibt es am Standort auffällig viele oder wenige Unfälle und Konflikte?</li> <li>• Besteht Möglichkeit, dass durch Umgestaltung Notwasserweg die aktuellen Unfallfaktoren entschärft werden?</li> <li>• Gibt es Unfälle und Konflikte, die auf eine erhöhte Gefährdung bei Überschwemmungen hindeuten?</li> <li>• Gibt es Unfälle oder Konflikte, die durch schlechte Sicht und geringe Reibung weiter verschärft werden?</li> </ul> | <p>überwiegend spezifische Konflikte zu beobachten und spielen die sonst üblichen Konflikte eine geringere Rolle.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch das Kompensationsverhalten der Verkehrsteilnehmenden, insbesondere die geringen Geschwindigkeiten, werden auch normale Konflikte entschärft.</li> </ul> |
|---|--|--|

Tabelle 2.: Rahmenbedingungen Analyse Verkehrssicherheit Notwasserwege

Als Methodik zur Analyse der Verkehrssicherheit bei Notwasserwegen bietet sich eine Weiterentwicklung des Verkehrssicherheitsaudits nach „Richtlinien für das Sicherheitsaudit von Straßen“ (RSAS) der FGSV aus dem Jahr 2019 an. Diese ermöglichen die Verkehrssicherheit von Verkehrsanlagen zu beurteilen, auch wenn diese noch in der Planung sind oder bestimmte Situationen wie Starkregenereignisse nur selten auftreten. Das Verkehrssicherheitsaudit erfolgt als systematische Prüfung aller für die Verkehrssicherheit relevanten Themenfelder durch zertifizierte Ingenieurinnen und Ingenieure. Dabei sind neben den in der Richtlinie dargestellten allgemeinen Kriterien auch die besonderen Rahmenbedingungen für Notwasserwege zu berücksichtigen. Im Ergebnis werden in einem Auditbereich die Schwächen des geplanten Notwasserweges im Hinblick auf die Verkehrssicherheit dargestellt und mögliche Nachbesserungen aufgezeigt.

#### 4.3.2. Verkehrssicherheitsaudit Vorzustand Heukämpchenstraße

Die Verkehrssicherheit der Heukämpchenstraße wird im Vorzustand sowohl bei Trockenwetter als auch bei Starkregenereignissen analysiert. Bei Trockenwetter ist die Heukämpchenstraße aus Sicht der Verkehrssicherheit nicht auffällig. In den letzten Jahren liegen keine durch die Polizei erfassten Unfälle vor. Bei einer videobasierten Verkehrskonfliktanalyse wurden in einem 24-Stunden-Zeitraum sieben Interaktionen und fünf leichte Konflikte identifiziert. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Einbiegen-Konflikte Böcklingstraße Heukämpchenstraße, bei denen der Vorrang der rechts einbiegenden Kfz verletzt wird. Dabei schränken die auf der rechten Straßenseite halbseitig auf dem Gehweg parkenden Fahrzeuge die Sicht auf die einmündende Böcklinstraße ein. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit ist 50 km/h. Die gemessene durchschnittliche Geschwindigkeit liegt zwischen 25 km/h und 30 km/h. Das niedrige Geschwindigkeitsniveau trägt zur Verkehrssicherheit bei.

Nach der Analyse der Verkehrssicherheit bei normalen Verhältnissen erfolgt die Bewertung der Heukämpchenstraße in ihrem jetzigen Zustand bei einem Starkregenereignis. Die Prüfung der Rahmenbedingungen lassen bei Überflutung Gefährdung durch Wasserstände erkennen, die zu Alleinunfällen durch Wasserschlag führen können. Zudem kann es eventuell zu Gefährdungen für Zufußgehende durch hohe Fließgeschwindigkeiten kommen. Im Vorzustand ist damit die Verkehrssicherheit bei Überflutungen beeinträchtigt.



| Positiv (+)  | Negativ (-)   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Verkehrsstärke</li> <li>• geringes Geschwindigkeitsniveau</li> <li>• gute Sicht auf Standort</li> <li>• gute Umfahrungsmöglichkeiten</li> <li>• keine erhöhte Gefährdung durch Umfeldnutzungen</li> <li>• geringe Anzahl an aktuellen Konflikten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei bisherigen Überflutungen haben nach der Fließwegekarten eine Tiefe von 10 bis 25 cm. Durch bauliche Maßnahmen kann voraussichtlich eine Beschränkung auf 15 bis 20 cm gewährleistet werden.</li> <li>• Schlechte Erkennbarkeit des Wasserstandes auf der Fahrbahn.</li> <li>• Teilweise unzureichende Platzverhältnisse für Wenden und Rangieren.</li> <li>• Gefährdung Zufußgehende durch hohe Fließgeschwindigkeit aufgrund des Gefälles nicht auszuschließen. Kann durch Planung angepasst werden.</li> <li>• Bei bisheriger Überflutung Bordstein als verdecktes Hindernis.</li> </ul> |

Tabelle 3.: Ergebnisse Analyse Verkehrssicherheit Heukämpchenstraße

#### 4.4. Empfehlungen für die Gestaltung von Notwasserwegen

Nächste Phase im Planungsprozess ist der Entwurf von verschiedenen Varianten für Notwasserwege. Im Folgenden werden verschiedene Strategien dargestellt, wie städtische Straßen als Notwasserwege gestaltet werden können. Bei der Gestaltung der städtischen Straßen geht es nicht allein um das Ermöglichen einer gezielten temporären Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen. Im Sinne eines multicodierten Straßenraumentwurfes sind weitere Aspekte der Gestaltung von BlueGreenStreets zu berücksichtigen. Die Raumannsprüche blau-grüner Elemente sind dabei mit den weiteren Nutzungsanforderungen des Straßenraums wie soziale Brauchbarkeit, Barrierefreiheit, Straßenraumgestaltung, Umfeldverträglichkeit, Verkehrsablauf, Verkehrssicherheit und Wirtschaftlichkeit abzuwägen. Zudem ist bei dem Entwurf die unterirdische Infrastruktur zu berücksichtigen.

##### 4.4.1. Temporäre Ableitung von Starkniederschlägen

Um den Straßenkörper als Fließwege für Starkniederschläge zu nutzen, reichen meist einfache bautechnische Anpassungen aus. Das Niederschlagswasser kann durch großzügig dimensionierte Rinnensysteme im Straßenraum geleitet werden. Hochborde oder Schwellen eignen sich ebenfalls, um das oberflächige Niederschlagswasser zu lenken und von schutzwürdigen Nutzungen fernzuhalten. Der Fließquerschnitt eines Notwasserweges wird durch die Höhe der niedrigsten Gehweghinterkante definiert. Der Abflussquerschnitt des Straßenraums kann durch den Einsatz von Mittelrinnen und die Erhöhung der Querneigung vergrößert werden. In Hanglagen kann der Straßenquerschnitt zudem zur Bergseite verkippt werden, um talseitige Bebauung zu schützen. Mulden oder Senken in der Straßengradiente sind hingegen zu vermeiden.

Neben baulichen Maßnahmen ist auch die Information der Verkehrsteilnehmenden über das Mögliche Auftreten einer Überflutungssituation im Straßenabschnitt erforderlich. Zu informieren ist, welche Wasserstände bei Überflutungen zu erwarten sind und ob ein Durchfahren des Abschnitts ohne Gefahr möglich ist. Zudem kann auf Umfahrungsmöglichkeiten des überfluteten Straßenabschnitts hingewiesen werden.

#### 4.4.2. Temporäre Rückhaltung von Starkniederschlägen

Verkehrsflächen können im Rahmen einer multifunktionalen Flächennutzung für eine begrenzte Zeit gezielt geflutet und für die Rückhaltung von Starkniederschlägen genutzt werden. Der gesamte Straßenraum kann als temporäres Rückhaltevolumen genutzt werden. Der im Straßenraum verfügbare Speicherraum wird dabei durch die Gehweghinterkante definiert. Durch die Erhöhung der Borde, die Absenkung des Fahrbahnniveaus durch eine Mittelrinne oder die bergseitige Verkippung der Querneigung kann das Speichervolumen der Fahrbahn vergrößert werden. Private oder öffentliche Stellplätze oder Parkstände im Straßenraum können ebenfalls zur Rückhaltung genutzt werden. Dabei sind mögliche Komforteinbußen der Nutzenden auf dem Weg vom und zum Pkw zu berücksichtigen. Um den Straßenkörper für Rückhaltung zu nutzen, reichen meist einfache bautechnische Anpassungen zur schadensarmen Nutzung des bestehenden oder zusätzlichen Stauraums aus. Nicht nur auf der Fahrbahn, sondern im gesamten Straßenraum können Flächen für die Rückhaltung gebildet werden, etwa in Form von Grünelementen wie Mulden. Neben den baulichen Maßnahmen ist auch wieder Information und Aufklärung über die Überflutungssituation erforderlich.

#### 4.4.3. Synergien mit der Verkehrsberuhigung

Notwasserwege bieten zahlreiche Synergien mit Verkehrsberuhigungsmaßnahmen. Straßen mit einem geringen Geschwindigkeitsniveau wie Tempo-30-Zonen oder verkehrsberuhigte Bereiche eignen sich aufgrund der hohen Verkehrssicherheit gut für die temporäre Notableitung und Rückhaltung von Niederschlagswasser. Elemente der wassersensiblen Straßenraumgestaltung können zur Verkehrsberuhigung beitragen. So können Tiefbeete ähnlich wie konventionelle Baumbeete als verkehrsberuhigende Einbauten genutzt werden. Offene Muldenrinnen können als Gestaltungsmittel zur Gliederung von Verkehrsflächen, zur optischen Einengung von Fahrbahnen oder als fahrdynamische Schwellen dienen. Verkehrsberuhigende Einbauten wie Pflasterkissen können zur Lenkung des Niederschlagswassers genutzt werden.

#### 4.5. Varianten Notwasserweg Heukämpchenstraße

Aufbauend auf den Ergebnissen des Verkehrssicherheitsaudits werden Varianten für die Umgestaltung der Heukämpchenstraße als Notwasserweg entworfen. Ziel ist nicht allein die gezielte temporäre Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen im Straßenraum. Themen wie Straßenbegleitgrün, Versickerung oder Verdunstung von Niederschlagswasser und Erhöhung der Aufenthaltsqualität werden ebenfalls bei der Entwurfsplanung berücksichtigt. Neben der Überflutungsvorsorge werden somit weitere mit dem Klimawandel einhergehende Herausforderungen wie längere Dürreperioden oder die Zunahme von Hitzetagen berücksichtigt. Die Gestaltung berücksichtigt sowohl normale Witterungsverhältnisse als auch Starkniederschläge.

- Bei Niederschlägen bis zum Bemessungsregen ist Ziel das im Straßenraum anfallende Niederschlagswasser als wertvolle Ressource zu betrachten und dieses vor Ort zu nutzen. So kann das Niederschlagswasser beispielsweise für die Bewässerung von Straßenbegleitgrün eingesetzt werden. Zudem wird eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung angestrebt, bei der das Niederschlagswasser entsprechend der natürlichen Wasserbilanz lokal versickert und zur Erhöhung des Niedrigwasserabflusses des Krausenerbaches beiträgt, der im Bereich der Heukämpchenstraße sein Quellgebiet hat.
- Tritt ein Starkregenereignis auf, steht der Schutz der angrenzenden Gebäude vor Überflutungsschäden und der Verkehrsteilnehmenden im Vordergrund. Die Fahrbahn wird dabei als Retentionsraum genutzt, um eine verzögerte Ableitung des Niederschlagswassers zu ermöglichen und damit die Kanalisation zu entlasten.

Auf Basis der dargestellten Ziele werden drei Varianten für die Umgestaltung der Heukämpchenstraße als Notwasserweg entwickelt.

4.5.1.Variante 1: Notwasserweg innerhalb bestehender Borde

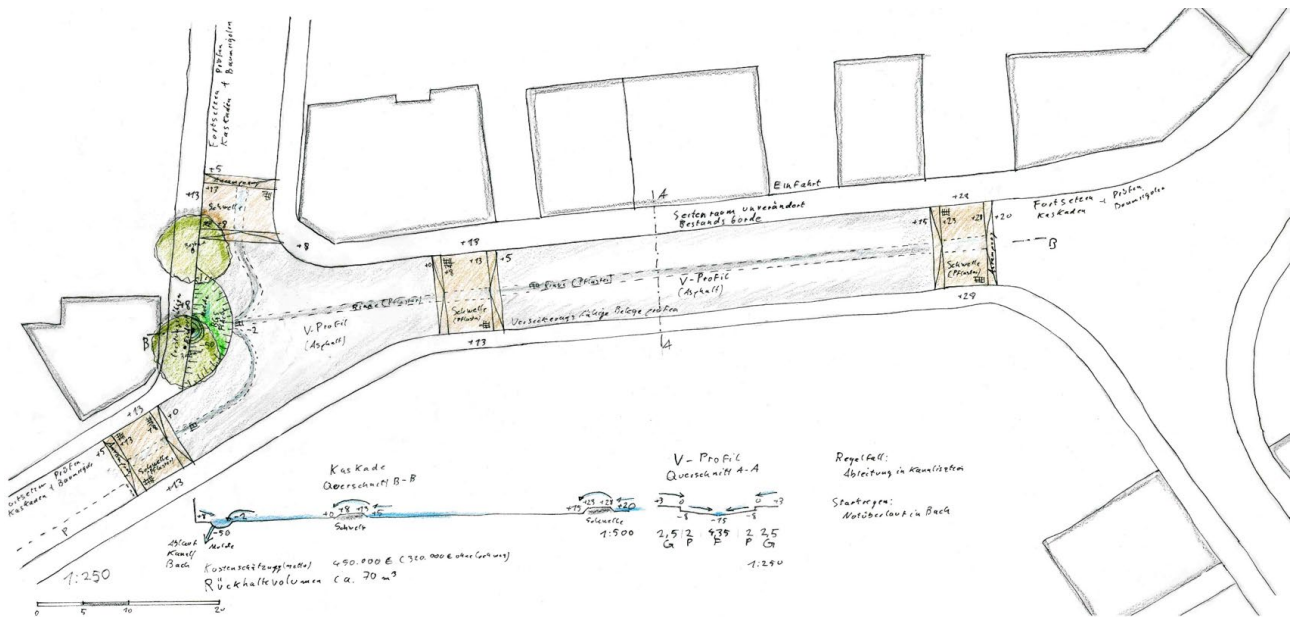


Abbildung 7.: Gestaltung Notwasserweg Heukämpchenstraße Variante 1

Bei Variante 1 (siehe Abbildung 20) erfolgt die Umgestaltung der Heukämpchenstraße innerhalb der bestehenden Borde. Um die Überflutungssituation am Tiefpunkt der Heukämpchenstraße zu entschärfen, werden in der Heukämpchenstraße und der angrenzenden Böcklinstraße Schwellen angelegt, welche das Niederschlagswasser bei einem Starkregenereignis kaskadenartig zurückhalten. Gleichzeitig wird mehr Stauraum für das Niederschlagswasser auf der Fahrbahn geschaffen, indem diese als V-Profil ausgebildet wird. In der Mitte der Fahrbahn befindet sich eine gepflasterte Rinne, welche das Wasser zu einer blau-grünen-Fläche mit leistungsfähigem Einlauf in den Krausenerbach leitet, welcher auch im Falle eines Starkregenereignisses noch Aufnahmekapazitäten besitzt. Um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten, werden die Wasserstände auf der Fahrbahn auf maximal 15 cm begrenzt und die zulässige Höchstgeschwindigkeit von derzeit 50 km/h auf 30 km/h reduziert. Mithilfe von Verkehrsschildern werden die Verkehrsteilnehmenden rechtzeitig auf einen möglichen Einstau von Wasser auf der Fahrbahn hingewiesen. Im für die temporäre Rückhaltung von Niederschlagswasser vorgesehenen Straßenabschnitt werden Markierungen (z.B. markierte Poller) angebracht, anhand derer die Verkehrsteilnehmenden die Höhe des Wasserstands auf der Fahrbahn ablesen können. Denn es fällt vielen Verkehrsteilnehmenden eine Einschätzung der Wasserstandshöhe auf der Fahrbahn ohne entsprechende Bezugspunkte schwer.

## 4.5.2. Variante 2: Notwasserweg als konventioneller Querschnitt

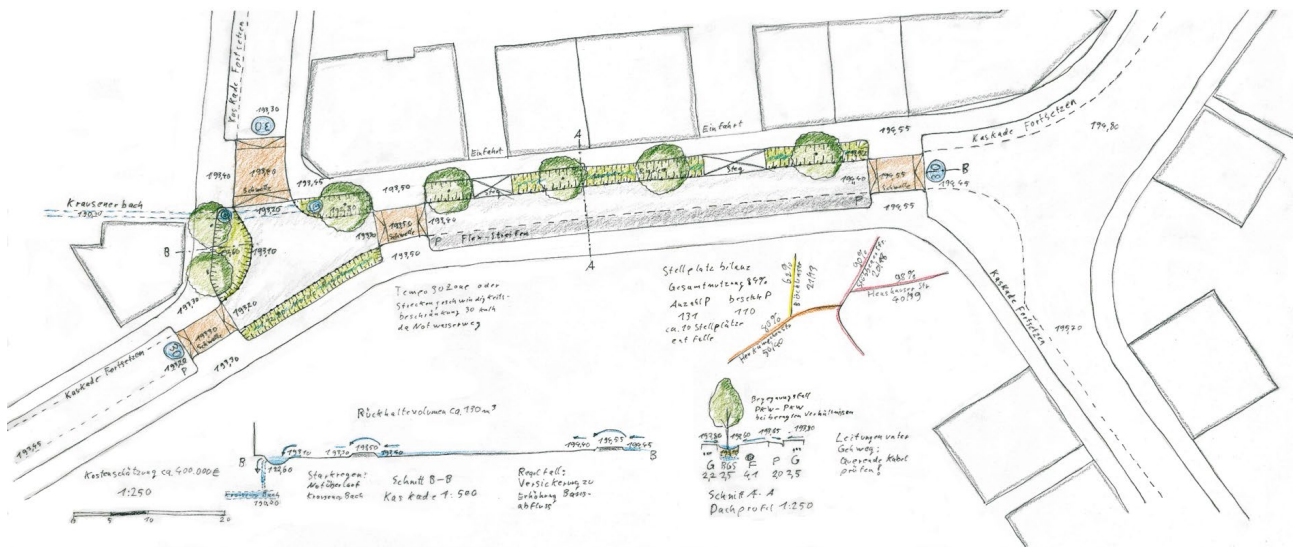


Abbildung 8.: Gestaltung Notwasserweg Heukämpchenstraße Variante 2

Bei Variante 2 (Abbildung 21) wird nicht an den bestehenden Borden festgehalten, da das Entwässerungssystem sowieso angepasst werden soll. Stattdessen wird die Fahrbahnbreite auf das notwendige Mindestmaß (Begegnungsfälle Pkw-Pkw und Pkw-Rad) reduziert und die Möglichkeit des halbhüftigen Gehwegparkens am nördlichen Fahrbahnrand aufgegeben. Um den vorhandenen Bedarf an Pkw-Parkständen zu erfüllen, werden nur am südlichen Fahrbahnrand Parkstände angeordnet. Damit wird Platz für einen 2,5 m breiten blau-grünen-Streifen zwischen dem nördlichen Fahrbahnrand und dem Gehweg geschaffen. Dieser blau-grüne Streifen wird als Mulde ausgeformt, so dass zusätzlicher Rückhalteraum für den Fall eines Starkregenereignisses entsteht. Bei normalem Niederschlag dient die Mulde der dezentralen Versickerung. Das Niederschlagswasser der Fahrbahn und des Gehwegs wird über ein leichtes Quergefälle in die Mulde geleitet. In der Mulde ist die Pflanzung von Bäumen vorgesehen, welche an heißen Sommertagen Schatten spenden und zur Kühlung beitragen. Kaskadenartige Schwellen auf der Fahrbahn ermöglichen das Niederschlagswasser im Falle eines Starkregenereignisses abschnittsweise zurückzuhalten. Das am Tiefpunkt im Bereich der Einmündung Heukämpchenstraße / Böcklinstraße ankommende Niederschlagswasser wird über zwei Einläufe dem Krausenerbach zugeführt.

### 4.5.3. Variante 3: Notwasserweg als Mischverkehrsfläche

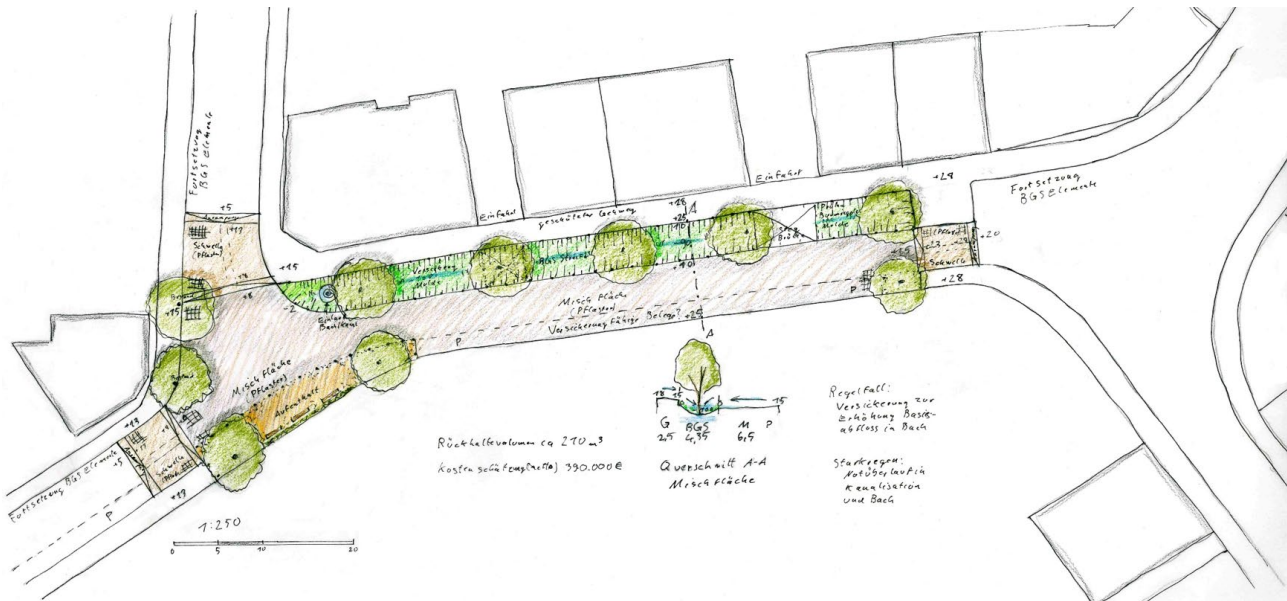


Abbildung 9.: Gestaltung Notwasserweg Heukämpchenstraße Variante 3

Variante 3 (siehe Abbildung 22) weist das höchste Rückhaltevolumen für Starkniederschläge auf. Die Variante sieht eine Mischverkehrsfläche für alle Verkehrsteilnehmenden unter Wegfall des Gehwegs auf der südlichen Seite der Heukämpchenstraße vor. Dadurch wird Raum für eine großzügige blau-grüne Fläche (4,35 m Breite) geschaffen. Die blau-grüne Fläche ist als Mulde ausgeführt, wodurch sich ein großes Retentionsvolumen ergibt und Raum für die Anpflanzung von Bäumen bietet. Der als Mischverkehrsfläche ausgeführte Bereich garantiert ein niedriges Geschwindigkeitsniveau. Schwellen ermöglichen neben der Verkehrsberuhigung eine kaskadenartige Rückhaltung der Starkniederschläge. Am Tiefpunkt der Einmündung der Böcklinstraße in die Heukämpchenstraße ist ein Einlauf in den Krausenerbach vorgesehen. Platz für den ruhenden Verkehr besteht am südlichen Rand der Mischverkehrsfläche. Zusätzlich zur Mischverkehrsfläche ist für Zufußgehende auf der nördlichen Seite der Heukämpchenstraße ein Gehweg vorgesehen.

## 4.6. Verkehrssicherheitsaudit geplante Notwasserwege

Die Verkehrssicherheit von Notwasserwegen nach deren Umgestaltung wird analysiert. Die Bewertung erfolgt sowohl für Trockenwetter als auch für Starkregeneignisse. Dabei wird auf die Methodik des Verkehrssicherheitsaudits zurückgegriffen.

## 4.7. Bewertung Verkehrssicherheit Notwasserwege

### 4.7.1. Methodik zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Notwasserwegen

Die Bewertung der Verkehrssicherheit von Notwasserwegen umfasst zwei sich gegenseitig bedingende Beurteilungen.

Zum einen wird die Verkehrssicherheit vor und nach der Gestaltung als Notwasserweg sowie für Trockenwetter und Überflutung bewertet. Beurteilungsmaßstab ist die Verkehrssicherungspflicht, die kritisch gegenüber bewusst geschaffener Gefährdungen ist. Wenn nachgewiesen wird, dass die Verkehrssicherheit durch die Notwasserweggestaltung zunimmt, dürfte dies zum Nachweis der Erfüllung der Verkehrssicherungspflicht beitragen. Die Ergebnisse des Verkehrssicherheitsaudits für Notwasserwege vor und nach der Umgestaltung werden dabei jeweils gegenübergestellt. Es ist zu entscheiden, ob die Verkehrssicherheit gesteigert wird, gleich bleibt oder sich verschlechtert. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, ob es durch die Gestaltung des Notwasserweges im Vergleich

zum unkontrollierten oberirdischen Abfluss zu mehr oder weniger Überflutungsereignissen kommt. Wenn die Anzahl der Überflutungsereignisse gleich bleibt, kann vereinfacht verbal-argumentativ beurteilt werden, ob die Verkehrssicherheit vorher-nachher sich verbessert, verschlechtert oder gleich bleibt. Wenn hingegen sich die Eintrittswahrscheinlichkeit ändert, bietet es sich an, das Risiko als das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe für die Beurteilung zu nutzen. Dafür ist dann die Eintrittswahrscheinlichkeit von Überflutungen (Angaben durch Wasserwirtschaft, welche Starkregenereignisse mit welcher Wiederkehrzeit zu Überflutungen führen) sowie Schadenshöhe (als Unfallkostenrate der Straße) zu ermitteln. Jedoch liegen bisher keine ausreichende Informationen vor, um die Unfallkostenrate für überflutete Fahrbahnen allgemein anzugeben.

| Vorher-nachher-Vergleich Verkehrssicherheit Notwasserweg<br>... |                        | ... bei Überflutung                                  |   |  |
|---|------------------------|--|---|--|
|   |                        | Verbesserte Sicherheit                               | Gleichbleibende Sicherheit                  | Schlechtere Sicherheit                           |
| .... bei Trockenwetter  | Verbesserte Sicherheit | Sicher (Verkehrssicherungspflicht erfüllt)           | Sicher (Verkehrssicherungspflicht erfüllt)  | Neutral (da unterschiedliche Wahrscheinlichkeit) |
|   | Gleiche Sicherheit     | Sicher (Verkehrssicherungspflicht erfüllt)           | Neutral (Verkehrssicherungspflicht erfüllt) | Unsicher   |
|   | Schlechtere Sicherheit | Unsicher (da Trockenwetter häufiger wie Überflutung) | Unsicher                                    | Unsicher   |

Tabelle 4.: Matrix Vorher-nachher-Vergleich Verkehrssicherheit Notwasserwege

Zum anderen werden die Kosten und Nutzen der Notwasserwege analysiert. Beurteilt wird, ob der Nutzen durch die vermiedenen Schadenskosten von unkontrollierten Überflutungen (oder eventuell Vermeidungskosten als die Baukosten für den Ausbau der Kanalisation zur Beseitigung von Überflutung) den Bau- und Betriebskosten der Notwasserwege überwiegen. Dann erfolgt die finale Abwägung, wie sich die Änderung der Verkehrssicherheit (die im vorherigen Schritt bestimmt wurde) zum Nutzen des Notwasserweges verhält.

|  |          | Nutzen/Kosten Notwasserweg (Nutzen durch vermiedene Schadenskosten/Kosten Bau und Betrieb) |  |   |
|--|----------|--|--|---|
|  |          | Nicht vorhanden<br>Nutzen/Kosten <1  | Gering<br>Nutzen/Kosten >1<2   | Hoch<br>Nutzen/Kosten >2  |
| Veränderung Verkehrssicherheit im Vorher-nachher-Vergleich (Tabelle 4) | Sicher   | Umsetzung nicht als Notwasserweg, sondern als Verbesserung Sicherheit empfohlen            | Umsetzung empfohlen, da Nutzen und sicher (für Pilotvorhaben geeignet)                                 | Umsetzung sehr empfohlen, da hoher Nutzen und sicher (am besten für Pilotvorhaben geeignet) |
|  | Neutral  | Umsetzung nicht empfohlen, da kein Nutzen  | Umsetzung eingeschränkt empfohlen, da geringer Nutzen und nicht unsicher                               | Umsetzung empfohlen, da hoher Nutzen und nicht unsicher (für Pilotvorhaben geeignet)        |
|  | Unsicher | Umsetzung nicht empfohlen, da weder Nutzen noch sicher                                     | Umsetzung nicht empfohlen, da geringer Nutzen und sinkende Verkehrssicherheit dies nicht rechtfertigen | Abwägung im Einzelfall, ob hoher Nutzen Sicherheitsverlust rechtfertigt                     |

Tabelle 5.: Matrix Abwägung Kosten-Nutzen und Verkehrssicherheit Notwasserwege

#### 4.7.2. Analyse Verkehrssicherheit Notwasserweg Heukämpchenstraße

Für die drei Varianten für die Gestaltung der Heukämpchenstraße als Notwasserweg wird die Verkehrssicherheit bei Trockenwetter sowie bei Überflutungen analysiert.

Bei Trockenwetter wird geprüft, ob die im heutigen Zustand identifizierten Sicherheitsdefizite an der Heukämpchenstraße durch die Umgestaltung beseitigt werden oder ob sogar neue Sicherheitsdefizite entstehen. Durch die Entfernung des Gehwegparkens am nördlichen Fahrbahnrand und die Umgestaltung der Einmündung wird die Böcklinstraße für die Verkehrsteilnehmenden besser sichtbar und die Verkehrssicherheit gesteigert. Die vorgesehenen Fahrbahnschwellen dienen den Zufußgehenden als sichere und barrierefreie Überquerungsmöglichkeit. In Zukunft wird die für den fließenden Verkehr zur Verfügung stehende Fahrbahnbreite auf ein Mindestmaß reduziert, womit in manchen Fällen die Abstimmung zwischen den sich annähernden Verkehrsteilnehmenden erforderlich sein kann. Um Konflikte zu vermeiden und ein Ausweichen auf die blau-grünen Flächen zu unterbinden, sind im umgestalteten Abschnitt Ausweichmöglichkeiten vorgesehen. Weitere negative Einflüsse auf die Verkehrssicherheit ergeben sich bei keiner der drei Varianten. Unabhängig von der letztlich gewählten Variante ist von einer Verbesserung der Verkehrssicherheit auszugehen.

Die Verkehrssicherheit bei Starkregenereignissen mit Überflutungen werden analysiert. Bei der Gestaltung der Notwasserwege wird der Wasserstand auf der Fahrbahn im Rückhaltebereich der Heukämpchenstraße auf 15 cm begrenzt. Als Notüberlauf dienen leistungsfähige Einläufe in den Krausenerbach. Im Vergleich zu den bisherigen unkontrollierten Wasserständen wird dadurch die Verkehrssicherheit verbessert. Positiv auf die Verkehrssicherheit wirkt sich auch die Anlage der Fahrbahnschwellen aus. So verringern diese die Fließgeschwindigkeit des Niederschlagwassers und ermöglichen Zufußgehenden eine sichere Querung der Fahrbahn auch bei Überflutungen. Die Fahrbahnschwellen haben darüber hinaus eine verkehrsberuhigende Wirkung und stellen zusammen mit der Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau sicher. Zu einer geringen Verschlechterung der Verkehrssicherheit kann es eventuell durch

die Verengung der Fahrbahn und die wenigen Ausweichmöglichkeiten für Kfz kommen. Insgesamt wird die Verkehrssicherheit bei Überflutungen durch den Notwasserweg gesteigert.

Die Verkehrssicherheit am Pilotstandort Heukämpchenstraße wird in der Bewertungsmatrix zusammengefasst. Die Verkehrssicherheit am Pilotstandort Heukämpchenstraße verbessert sich, unabhängig von der letztlich gewählten Variante, durch eine Umgestaltung als Notwasserweg sowohl bei Trockenwetter als auch bei Starkregenereignissen. Daher erscheint ein Pilotvorhaben als Notwasserweg aus Sicht der Verkehrssicherheit möglich.

| Vorher-nachher-Vergleich<br>Verkehrssicherheit Notwasserweg ... |                        | ... bei Überflutung   |                            |                        |
|---|------------------------|---|----------------------------|------------------------|
|   |                        | Verbesserte Sicherheit  | Gleichbleibende Sicherheit | Schlechtere Sicherheit |
| .... bei Trockenwetter  | Verbesserte Sicherheit | Sicher (Verkehrssicherungspflicht erfüllt) <ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Verkehrsstärke</li> <li>• geringes Geschwindigkeitsniveau und Reduktion der erlaubten Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h</li> <li>• gute Sicht auf den Standort</li> <li>• gute Umfahrungsmöglichkeiten</li> <li>• sichere Querungsmöglichkeiten für Zufußgehende (Schwellen)</li> <li>• geringe Anzahl an Konflikten</li> <li>• gute Erkennbarkeit der Wasserhöhe auf der Fahrbahn</li> <li>• Reduktion der Fließgeschwindigkeit durch Schwellen</li> </ul> | Nicht zutreffend           | Nicht zutreffend       |
|   | Gleiche Sicherheit     | Nicht zutreffend  | Nicht zutreffend           | Nicht zutreffend       |
|   | Schlechtere Sicherheit | Nicht zutreffend  | Nicht zutreffend           | Nicht zutreffend       |

Tabelle 6.: Vorher-nachher-Vergleich Verkehrssicherheit Notwasserweg Heukämpchenstraße

#### 4.8. Umsetzung Notwasserwege

Bei der Umsetzung der Notwasserwege ist eine Herstellungskontrolle durchzuführen. Bei dieser wird überprüft, ob die planerischen Vorgaben zum Notwasserweg fachgerecht ausgeführt wurden. So gilt es zu prüfen, ob der für die Rückhaltung vorgesehene Straßenabschnitt ausreichend gesichert



wurde. Außerdem muss die Barrierefreiheit garantiert werden. Eine Herausforderung für Notwasserwege sind die Wartungs- und Unterhaltungspflichten. So sind Straßenabläufe zur Erhaltung ihrer vollen Funktionsfähigkeit regelmäßig zu reinigen und nach Überflutungen verschmutzte Fahrbahnen zu säubern. Die Unterhaltungspflichten und -kosten für Notwasserwege sind zwischen dem Straßenbaulastträger und der Siedlungswasserwirtschaft entsprechend der jeweils erzielten Vorteile aufzuteilen.

#### 4.9. Monitoring von Notwasserwegen

Das Monitoring dient der Überprüfung, ob die angestrebten Ziele des Notwasserweges erreicht werden. Auch können die bei Pilotvorhaben vorhandenen zulassungsrelevanten Unsicherheiten adressiert werden. Beim Monitoring von Notwasserwegen ist zwischen dem Normalzustand und dem Fall eines Starkregenereignisses zu unterscheiden.

Für das Monitoring der Verkehrssicherheit im Normalzustand Trockenwetter werden die für das Verkehrssicherheitsaudit üblichen Kenngrößen erhoben und ein Vorher-nachher-Vergleich durchgeführt. Dafür erfolgt eine Dokumentation des Unfallgeschehens nach Abschluss der Umgestaltung und eine Verkehrskonfliktanalyse kann durchgeführt werden.

Auch wird die Verkehrssicherheit bei Überflutungen analysiert. Da Starkregenereignisse selten und nur schwer lokal vorhersagbar sind, lassen sich diese kaum systematisch durch fest installierte Kameras oder Messequipment erheben. Es besteht die Gefahr, dass bei vielen Tiefpunkten jahrelang keine relevante Daten erhoben werden können. Daher werden weniger aufwendige Monitoring-Strategien vorgeschlagen. Wenn es zu Überflutungen von Straßen kommt, ist es sehr wahrscheinlich, dass Betroffene davon Fotos oder Videoaufnahmen machen und diese über soziale Medien teilen. Damit gibt es Informationen über solche Ereignisse, die systematisch ausgewertet und genutzt werden können. Das Monitoring umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Eine Routine ist zu etablieren, wie die in sozialen Medien und anderen Kanälen geposteten Fotos, Videos und Meldungen von überfluteten Straßen für das Monitoring systematisch erfasst werden können. Zunächst sind die Vorfälle (Datum und Uhrzeit) zu ermitteln, bei denen es im Notwasserweg zu einer Überflutung kam. Für diese Starkregenereignisse ist dann gezielt möglichst viel Material zu recherchieren, um ein möglichst vollständiges Bild zu erfassen. Dazu zählt:
- Welche Informationen zu dem Standort sind bereits bekannt? - Gibt es Meldungen aus sozialen Medien?
- Gibt es Meldungen aus konventionellen Medien?
- Gibt es Einsatzmeldungen von Rettungsdiensten?
- Anwohnende sind hinsichtlich ihrer Einschätzung der verkehrlichen Situation im Notwasserweg, zu Verkehrssicherheit und Aufenthaltsqualität sowie der Situation bei Starkregenereignissen zu befragen.
- In Ergänzung kann versucht werden gezielt Material von Überflutungen der Notwasserwege durch eigenes Personal (Stormchaser) zu sammeln.

Die identifizierten Überflutungssituationen der Notwasserwege sind dann zu analysieren:

- Die für die Beurteilung der Verkehrssicherheit relevanten Parameter der Überflutung wie Wasserstand, Dauer oder Fließgeschwindigkeit sind zu ermitteln. Für die Ermittlung des Wasserstandes kann auf Referenzgrößen wie Bordsteine und Fahrzeugreifen zurückgegriffen, die Fließgeschwindigkeit durch treibende Gegenstände auf der Wasseroberfläche bestimmt werden.
- Die sicherheitsrelevanten Faktoren des Verkehrsgeschehens werden ermittelt. Die Geschwindigkeit und das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden wird analysiert. Betrachtet wird, ob die gefahrene Geschwindigkeit in der Überflutungssituation angemessen war. Mit Hilfe

der Verkehrskonflikttechnik wird analysiert, ob es zu Konflikten oder Unfällen kommt und zu welchen Typen.

- Die Auswirkungen der Überflutung auf die Funktionsweise (und den Komfort) der Stadtstraße für verschiedene Verkehrsteilnehmende wird betrachtet. Analysiert wird, ob eine Route gar nicht passierbar war, ob eine Route nur langsam durchfahren werden konnte, wie lang eventuelle Umwege, wie stark Komfortbeeinträchtigungen waren. Dabei wird aufgrund der meist nur kurzen Beeinträchtigungsdauer durch die Überflutung weniger auf die üblichen Kenngrößen der Verkehrsqualität (wie Reisezeitverluste), sondern vielmehr auf die grundsätzliche Funktionsfähigkeit (Gewährleistung der Erreichbarkeit etc.) der Stadtstraße abgestellt.

Im Ergebnis des mittel- bis langfristigen Monitorings wird beurteilt, ob die Notwasserwege wie gewünscht funktionieren oder ob es nicht gewünschte Wirkungen gibt, die reduziert werden sollten.

## 5. Ausblick Notwasserwege

In der Zusammenschau der Analyse der Fachliteratur, der rechtlichen Rahmenbedingungen, der bestehenden Fallbeispiele, der Unfälle bei Starkregenereignissen sowie der Verkehrskonfliktanalyse lassen sich Rahmenbedingungen für die Verkehrssicherheit von Notwasserwegen bestimmen. Die unter gewissen Rahmenbedingungen der Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit geringe Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit ist mit den Vorteilen von Notwasserwegen für den gesamtstädtischen Überflutungsschutz abzuwägen. Die ermittelten Rahmenbedingungen können helfen, geeignete Standorte für Pilotvorhaben von Notwasserwegen zu identifizieren. In diesen Pilotvorhaben ist zu untersuchen, ob sich die bisherigen Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit von Notwasserwegen bestätigen.

## Anhang

## Quellen

- Becker P., Becker A., Dalelane C., Deutschländer T., Junghänel T. und Walter A. (2016) Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland - Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung, Deutscher Wetterdienst
- Benden J. (2014) Möglichkeiten und Grenzen einer Mitbenutzung von Verkehrsflächen zum Überflutungsschutz bei Starkregenereignissen, Bericht 57, Bericht des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr der RWTH Aachen
- Brijs T., Karlis D., Wets G. (2008) Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model, *Accident Analysis & Prevention* 40/3
- Brilon, W., & Ponzlet, M. (1996). Variability of speed-flow relationships on German autobahns. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1555), 91-98.
- Chung E. (2006) Does Weather Affect Highway Capacity?
- Deutschländer, T. und C. Dalelane (2012): Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderung des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit, Abschlussbericht, Deutscher Wetterdienst
- Dormann M., Fuchs L., Rasic I., Zehnle N. (2017) Auswertung Unfalldaten im Hinblick auf Starkregenereignisse, Seminararbeit Hochschule Karlsruhe SoSe 2017
- Eckart J. und Blaszczyk R. (2017) Auswirkungen der temporären Rückhaltung und Ableitung von Starkniederschlägen auf Straßen auf die Verkehrssicherheit, Tagungsband DWA-Landesverbandstagung 2017 Baden-Württemberg
- Edwards J. (1999) Speed adjustment of motorway commuter traffic to inclement weather *Transportation Research Part F* 2
- Fesser, Jonas (2019) Untersuchung der temporären Rückhaltung von Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen im Straßenraum aus Sicht der Verkehrssicherheit. Masterarbeit Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Verkehrsmanagement“, Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko), Köln: FGSV Verlag, Ausgabe 2012, (FGSV 316/1)
- Gallaway, B. M., Ivey, D. L., Hayes, G., Ledbetter, W. B., Olson, R. M., Woods, D. L., & Schiller Jr, R. F. (1979). *Pavement and geometric design criteria for minimizing hydroplaning* (No. FHWA-RD-79-31 Final Rpt.).
- George Y., Theofilatos A. (2014) A Review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety, *Accident Analysis and Prevention* 72
- Günther W. und Faltermaier S. (2016) Studie Niederschlagswasser Anpassung der quantitativen Niederschlagswasserbeseitigung an den Klimawandel – Urbane Sturzfluten – Hintergründe – Risiken – Vorsorgemaßnahmen
- Haghighi-Talab D. (1973) An Investigation into the relationship between rainfall and road accident frequencies in two cities
- Hölsch, C (2018) Verhalten von Autofahrern bei überfluteten Straßen nach Starkregenereignissen, Bachelorarbeit an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
- Jonkman, S. N., & Kelman, I. (2005). An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters*, 29(1), 75-97
- Karlaftis M., Yannis G. (2010) Weather effects on daily traffic accidents and fatalities: a time series count data approach. *Proceeding of the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board* 2010

- Keay, K., & Simmonds, I. (2006). Road accidents and rainfall in a large Australian city. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 445-454.
- Kellar and T.W. Schmidlin J (2012) Vehicle-related flood deaths in the United States, 1995–2005; D.M.M. *Flood Risk Management* 5 2012 153–163
- Kilpeläinen M. and Summala H. (2007) Effects of weather and weather forecast on driver behaviour
- KompetenzNetzwerk Hamburg Wasser (2010) Mitbenutzung von Flächen in der Regenwasserbewirtschaftung. Recherche und Dokumentation von realisierten Projekten. Beitrag zum Teilprojekt 1 im Gesamtprojekt Regenwassermanagement des KompetenzNetzwerks HAMBURG WASSER
- Kramer M., Terheiden K., Wieprecht S. (2015) Safety criteria for the traffic ability of inundated roads in urban floodings, *International Journal of Disaster Risk Reduction*
- Kyte, Khatib, Shannon, and Kitchener (2000) Effect of Environmental Factors on Free-Flow Speed
- Lam W., Tam M., Cao X., Li X. (2013) Modelling the Effects of Rainfall Intensity on Traffic Speed, Flow, and Density Relationships for Urban Roads, *Journal of Transportation Engineering ASCE* July 2013
- Marlitz G., Ertel H. (2015) KOSTRA DWD 2010 Starkniederschlagshöhen für Deutschland (Bezugszeitraum 1951 bis 2010)
- Mettmann K., Müller M., Wieschhörster J., Lorenz J. (2016) Starkregensensible Straßenräume, Seminararbeit Hochschule Karlsruhe WiSe 2016/17
- Reed, J. R., Kibler, D. F., Huebner, R. S., & Marks, G. W. (1984). *Hydrop user's manual: program for predicting hydroplaning potential on road surfaces due to rainfall runoff depths.*
- Riegel C., Trum A., Maximini C., Vallée D. (2013) Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an den Klimawandel für die Städte Solingen und Remscheid“ - Endbericht
- Shu C., Xia J., Falconer R. & Lin B. (2011) Incipient velocity for partially submerged vehicles in floodwaters, *Journal of Hydraulic Research*, 49:6
- Schwägerl Kai (2021) Die Auswirkungen von Starkregenereignissen auf das Fahrverhalten im innerstädtischen Bereich, Masterarbeit Hochschule Karlsruhe
- TU Kaiserslautern & Pecher 2011 Klimawandel in Stadtentwässerung und Stadtentwicklung Methoden und Konzepte Kiss, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
- Valée D. und Benden J. (2010). Städtebauliche Anpassung an Starkregenereignisse durch multifunktionale Flächennutzung – Beispiele aus den Niederlanden. *Schriftenreihe Gewässerschutz – Wasser – Abwasser der RWTH Aachen*, Band 220, S. 6-1 bis 6-15. ISSN 0342-6068
- Waldhoff et. al. (2012) HafenCity Universität (HCU) Hamburg: „Finanzierungsmodelle für die wasserwirtschaftliche Mitbenutzung von Grün-, Frei- und Verkehrsflächen“. Dokumentation des RISA-Fachdialoges vom September 2012
- Wussow G. (1922) Untere Grenzwerte dichter Regenfälle, in: *Meteorologische Zeitschrift* H 39 S 137
- Yale J. David, Cole Thomas B., Garrison Herbert G., Runyan Carol W. and Ruback Jasmin K. Riad (2003) Motor Vehicle—Related Drowning Deaths Associated with Inland Flooding After Hurricane Floyd: A Field Investigation, *Traffic Injury Prevention*, 4:4, 279-284,

## Unfallanalyse

### **Zweck:**

Analyse, ob am Notwasserweg eine Unfallhäufungsstelle vorliegt und inwiefern der Standort in der Vergangenheit Schwächen in Bezug auf seine Verkehrssicherheit offenbart hat.

### **Grundlage:**

Merkblatt zur örtlichen Untersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) (FGSV 2012b)

### **Datenbasis:**

Die Basis der Unfallanalyse bilden die von der Polizei erfassten Verkehrsunfälle der vergangenen Jahre. Der Zeitraum sollte mindestens die vergangenen drei Jahre umfassen und so den Zeitraum der Dreijahreskarten abbilden. Je nach vorliegender Datenlage kann dieser bis auf einen Zeitraum von zehn Jahren ausgedehnt werden, um so auch die langjährige Entwicklung des Unfallgeschehens miteinzubeziehen. Folgende Daten sollten zu den einzelnen Unfällen vorliegen:

- Unfalldatum und Uhrzeit des Unfalls
- Unfallbeteiligte (Anzahl und Art der Verkehrsbeteiligung)
- Verortung des Unfalls und der Unfallverlauf
- Unfalltyp
- Unfallart
- Unfallkategorie
- Unfallursache
- Unfallumstände (Lichtverhältnisse, Straßenzustand, ...)
- Angaben, ob Rauschmittel im Spiel waren

Diese Informationen lassen sich in der Regel aus den Unfallberichten erfassen. Neben den Unfallberichten werden die Einjahreskarten (alle der Polizei bekannten Unfälle für den Zeitraum eines Jahres) und Dreijahreskarten (alle der Polizei bekannten Unfälle mit Personenschaden) der vergangenen Jahre herangezogen. Diese können entweder zusammen mit den übrigen Unfalldaten bei der Polizei angefragt oder anhand der Unfallberichte selbst erstellt werden. Benötigt werden außerdem Informationen darüber, ob am potenziellen Standort in den vergangenen zehn Jahren Veränderungen vorgenommen wurden, die einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit gehabt haben. Zu solchen Maßnahmen zählen bauliche Veränderungen oder Veränderungen in der Verkehrsführung.

### **Vorgehen:**

1. Untersuchung, ob der Standort des Notwasserweges eine Unfallhäufungsstelle (UHS) ist. Die Untersuchung erfolgt entsprechend der Kriterien der M Uko für UHS auf Innerortsstraßen. Eine UHS-leicht, also eine UHS mit ausschließlich oder überwiegend leichten Unfallfolgen liegt dann vor, wenn im Zeitraum von einem Jahr (Einjahreskarte) mindestens fünf Unfälle gleichen Unfalltyps aufgetreten sind. Eine UHS-schwer, also eine UHS mit schweren Unfallfolgen, liegt vor, wenn im Zeitraum von drei Jahren mindestens fünf Unfälle mit Personenschaden aufgetreten sind. Die Angaben zur Ausdehnung des einzubeziehenden Straßenraumes gilt es bei der Analyse zu berücksichtigen.
2. Alle am potenziellen Standort aufgetretenen Unfälle werden analysiert, um unfallbegünstigende Faktoren zu identifizieren. Hierzu wird in einem ersten Schritt eine Unfallliste erstellt, welche sämtliche Unfälle am Standort enthält. Mithilfe der Unfallliste lassen sich unfallbegünstigende Faktoren im Unfallkollektiv aufdecken, die erste Hinweise auf Mängel in der Verkehrsanlage liefern. Bei der Analyse ist auf Anzeichen wie gleiche Unfalltypen, gleiche Un-

fallschweren oder gleiche sonstige Unfallmerkmale wie die Lichtverhältnisse oder der Straßenzustand zu achten. Im zweiten Schritt werden Unfalldiagramme erstellt, in welche die beabsichtigte Fahrtrichtung der Unfallbeteiligten der einzelnen Unfälle in Form von Pfeilen bzw. Pfeilkombinationen eingezeichnet werden. Auf diese Weise werden die wichtigsten Informationen zur Örtlichkeit und zum dortigen Unfallgeschehen übersichtlich dargestellt.



## Verkehrskonfliktanalyse

### **Zweck:**

Identifikation von unfallbegünstigenden Verhaltensweisen oder einer die Verkehrssicherheit gefährdenden Gestaltung der Infrastruktur des Notwasserweges. Durch die Methodik der Verkehrskonfliktanalyse lassen sich auch Schwächen aufdecken, welche bisher noch nicht zu einem Unfall geführt haben, aber trotzdem als kritisch zu bewerten sind. Verkehrskonflikte treten deutlich häufiger auf als Verkehrsunfälle und lassen sich daher besser erfassen.

### **Grundlage:**

Verkehrskonfliktanalyse nach Hyden (1977) sowie die videobasierte Verkehrskonfliktanalyse entsprechend Zweibrücken et al. (1998), Hupfer (1998) und Dies et al. (1996).

### **Datenbasis:**

Videoaufzeichnungen vom Verkehrsgeschehen am potenziellen Standort sowie Ergebnisse dortiger Geschwindigkeitsmessungen.

### **Vorgehen:**

1. Videoaufzeichnungen des Verkehrsgeschehens und Geschwindigkeitsmessungen: Zunächst werden am Notwasserweg Videoaufzeichnungen gemacht und Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Um die Repräsentativität der Erhebungen zu gewährleisten, ist es ratsam, sich bei deren Planung und Durchführung an den „Empfehlungen für Verkehrserhebungen“ (EVE) (FGSV 2012) zu orientieren. Demnach sollte die Erhebung in den Monaten des Sommerhalbjahrs (März bis Oktober) stattfinden, um eine Unterrepräsentierung des Fuß- und Radverkehrs zu vermeiden. Außerdem sollten die Erhebungstage in Wochen liegen, welche keine Feier- oder Schulfertage aufweisen. Von den verbleibenden möglichen Erhebungstagen eignen sich vor allem die Tage von Montag bis Donnerstag. Als zeitlicher Umfang empfiehlt sich für die Videoaufzeichnungen und Geschwindigkeitsmessungen jeweils ein Erhebungszeitraum von 24 Stunden am Stück. So ist sichergestellt, dass sämtliche mit der Tageszeit in Zusammenhang stehende Konfliktpotenziale aufgedeckt werden. Die Videoaufzeichnungen sind so durchzuführen, dass möglichst keine personenbezogenen Daten, wie etwa Kfz-Kennzeichen oder Gesichter, zu erkennen sind. Dies kann durch die Verwendung spezieller Kameras für die Erhebung von Verkehrsdaten (z.B. miovision Scout) erreicht werden. Die Verwendung solcher speziellen Kameras ist nicht nur aus Datenschutzgründen zu begrüßen. Sie bieten auch den Vorteil, dass sie aufgrund ihres Aussehens nur selten von den Verkehrsteilnehmenden als Videokameras erkannt werden. Dadurch wird ein Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden und damit das Verkehrsgeschehen vermieden.
2. Auswertung des Erhebungsmaterials: Die Aufnahmen der Videokamera werden im Hinblick auf Verkehrskonflikte ausgewertet. Dabei wird entsprechend der Konflikttheorie von Hyden (1977) zwischen den Konfliktkategorien Interaktion, leichter Konflikt, schwerer Konflikt und Unfall unterschieden. Interaktionen sind Situationen, in denen sich Verkehrsteilnehmende gegenseitig abstimmen, z.B. bei unklarer Vorfahrtsregelung. Eine Interaktion liegt ebenfalls vor, wenn ein Verkehrsteilnehmender einen Fehler eines anderen Verkehrsteilnehmenden so früh erkennt, dass er sich rechtzeitig auf die kommende Situation einstellen kann, ohne übermäßig abbremsen oder gefährliche Ausweichmanöver durchführen zu müssen. Leichte Konflikte werden nicht als kritisch betrachtet, bei denen mindestens ein Verkehrsteilnehmender stark reagieren muss, z.B. durch Abbremsen oder Ausweichen, um einen Zusammen-

- stoß zu verhindern. Schwere Konflikte liegen vor, wenn mindestens ein Verkehrsteilnehmer heftig reagieren muss, z.B. in Form einer Vollbremsung, um einen Zusammenstoß zu vermeiden. Bei Unfällen kommt es mindestens zu einem Sachschaden. Ein Konflikt ist bei der Durchsicht des Videomaterials anhand kritischer Manöver erkennbar, die mindestens ein beteiligter Verkehrsteilnehmer ausführen muss um eine Kollision zu vermeiden. Als kritische Fahr- und Bewegungsmanöver gelten bei Fahrzeugen plötzliches Bremsen, Beschleunigen oder Ausweichen sowie bei Zufußgehenden abruptes Stehenbleiben und Rückwärtsgehen (Schnabel et al. 2011). Bezugsgrößen für die Bestimmung von Konflikten wie die Time to Collision (TTC), die Post Encroachment Time (PET) oder die Deceleration to Safety Time (DST) können wenn möglich erhoben werden um die Konflikte zu quantifizieren. Unter der TTC versteht man den zeitlichen Abstand zweier Verkehrsteilnehmer bis zu deren Kollision, wenn diese mit gleichbleibender Geschwindigkeit und in die gleiche Richtung weiterfahren würden. Je niedriger der TTC Wert ist, desto gefährlicher ist eine Situation einzustufen und umso schwerer ist damit der Konflikt zu werten. Die Grenze zwischen einem leichten und einem schweren Konflikt wird meist auf einen TTC Wert von 1,5 Sekunden festgelegt. Ein anderer Ansatz wird mit der PET verfolgt. Sie steht für den zeitlichen Abstand zwischen dem Verlassen einer Konfliktfläche durch den ersten Verkehrsteilnehmer und dem Erreichen dieser Konfliktfläche durch den zweiten Verkehrsteilnehmer. Als Grenze zwischen einem leichten und einem schweren Konflikt wird meist eine Sekunde verwendet. Bei der DST wird die notwendige Verzögerung zum Erreichen eines Sicherheitszeitabstandes als Maß für die Bewertung von Konfliktsituationen verwendet (FGSV 2012). Es empfiehlt sich für die Auswertung des Videomaterials eine Excel-Tabelle mit 15 Minuten Intervallen anzulegen, in welcher neben den aufgetretenen Konflikten auch die Verkehrsstärke erfasst wird. Als Informationen zu den einzelnen Konflikten sollte das Datum, die Uhrzeit, die Konfliktkategorie und eine kurze Beschreibung des Konfliktablaufs erhoben werden. Die Zählung der Verkehrsteilnehmer kann während der Durchsicht des Videomaterials erfolgen. Als Verkehrsmittel-Kategorien werden Zufußgehende, Radfahrende, Motorräder, Pkw, Lieferwagen, Lkw, Lkw mit Anhänger bzw. Sattel-Kfz, Busse und landwirtschaftliche Fahrzeuge unterschieden. Bei Knotenpunkten, sind sämtliche Verkehrsströme des Knotenpunktes separat auszuzählen. Neben der Auswertung des Videomaterials gilt es auch die vom Seitenradarmessgerät aufgezeichneten Daten zu den Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer auszuwerten. Das durchschnittliche Geschwindigkeitsniveau sowie Spitzengeschwindigkeiten lassen sich über den Tagesverlauf so anschaulich darstellen. Handelt es sich beim Notwasserweg um einen Streckenabschnitt ohne Knotenpunkt, kann auch auf die vom Seitenradarmessgerät gemessene Angaben zur Verkehrsstärke zurückgegriffen werden.
3. Ortsbegehung: Die Videoanalyse und Geschwindigkeitsmessungen sowie deren Auswertung sollten durch eine Ortsbegehung ergänzt werden, bei der der Standort des Notwasserweges auf Sicherheitsdefizite überprüft wird. Wichtige Punkte sind u.a. die Überprüfung der Sichtfelder, der Fahrbahnzustand oder die Beleuchtungssituation. Um einen möglichst umfassenden Einblick in die Sicht der Verkehrsteilnehmer auf die Verkehrslage zu erhalten, soll die Begehung nicht nur zu Fuß erfolgen. Stattdessen soll sie mit allen dort verkehrenden Verkehrsmitteln und in den verschiedenen möglichen Richtungen passiert werden.

## Verkehrssicherheitsaudit

### **Zweck:**

Ziel von Verkehrssicherheitsaudits ist es, die Verkehrssicherheit von Straßen zu erhöhen. Hierzu werden Planungen von Straßenbaumaßnahmen und in Betrieb befindliche Straßen unabhängig auf Sicherheitsaspekte hin überprüft und Sicherheitsdefizite identifiziert. Bei der Planung wird eine Qualitätssicherung im Hinblick auf die Verkehrssicherheit angestrebt. Das Sicherheitsaudit im Bestand ist hingegen ein anlassbezogenes Verfahren. Mit ihm sollen Sicherheitsdefizite aufgedeckt werden, um ggf. erforderliche Maßnahmen zur Vermeidung von Unfällen bzw. zur Minderung von Unfallfolgen einleiten zu können. Die Methodik des Verkehrssicherheitsaudits ist damit auf Planungen sowie auf in Betrieb befindliche Straßen ausgelegt und basiert auf der systematischen Prüfung von für die Verkehrssicherheit relevanten Themenfeldern durch zertifizierte Ingenieurinnen und Ingenieure. Im Ergebnis werden in einem Auditbereich Schwächen der Planung von in Betrieb befindlichen Straßen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit aufgedeckt und mögliche Nachbesserungen aufgezeigt.

### **Grundlage:**

„Richtlinien für das Sicherheitsaudit von Straßen“ (RSAS) der FGSV aus dem Jahr 2019

### **Datenbasis:**

Für das Sicherheitsaudit in der Planung erforderlich Daten sind:

- Erläuterungsbericht mit Angaben zur (prognostizierten) Verkehrsbelastung
- Verkehrsuntersuchungen einschließlich Knotenstrombelastungen
- Übersichtskarte
- Lagepläne
- Höhenpläne
- Straßenquerschnitte
- Bauwerkspläne
- Beschilderungs- und Markierungspläne
- Signallagepläne einschließlich verkehrstechnische Unterlagen für die Signalisierung
- Lagepläne mit Straßenausstattung
- Nachweise der Befahrbarkeit (Schleppkurven) und Sichtfelder

Für das Sicherheitsaudit im Bestand notwendige Angaben sind:

- Informationen zum Anlass des Sicherheitsaudits (Auffälligkeiten, vorgesehene Änderungen)
- Funktion der Verkehrsanlage einschließlich kreuzender und einmündender Straßen und Wege
- Lageplan mit Grundstücksgrenzen, Gebäuden und Nutzungen (möglichst maßstäblich)
- Abgrenzung des Untersuchungsgebiets
- Unfalldaten (Unfalltypenkarte, Unfalllisten, Unfallberichte usw.) aus mindestens drei Jahren (Ein- und Dreijahreskarte), gegebenenfalls ESN-Ergebnisse aus vergleichbaren Verfahren
- Unterlagen aus Streckenkontrolle, Verkehrsschau und/oder Unfallkommissionen zur Verkehrsanlage
- Verkehrsbelastungen der einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen, gegebenenfalls differenziert nach Tageswert (u.a. DTV), Morgen- und Abendspitze, gegebenenfalls vorliegende Geschwindigkeitsdaten
- Querschnittsmaße und -aufteilung von befestigten Flächen und Seitenräumen
- Nutzung und Aufteilung des Straßenraums (Kfz-Verkehr, Radverkehr, Fußgängerverkehr, ruhender Verkehr, ÖPNV usw.)

- Informationen über Ausbau- und Sanierungsmaßnahmen in jüngerer Zeit
- Entwurfselemente aus dem Lage- und Höhenplan
- Ausstattungselemente (z.B. Verkehrszeichen, Wegweisung, Markierungen, verkehrstechnische Anlagen, Fahrzeug-Rückhaltesysteme)
- Signaltechnische Unterlagen von Lichtsignalanlagen mit Angabe von Betriebszeiten, Signalprogrammen und Phasenabläufen
- Unterlagen aus der „Zustandserfassung und Zustandsbewertung der Fahrbahnoberfläche von Straßen“ (ZEB)
- Netzkonzeption für den Fußgänger-/Radverkehr, Schulwegepläne
- Linienverlauf und Frequenz im ÖPNV

**Vorgehen:**

In den RSAS liegt der Fokus neben der Auswertung der vorhandenen Unterlagen auf der Analyse und Bewertung des sicherheitsrelevanten Verhaltens aller Verkehrsteilnehmergruppen bei der Nutzung der Verkehrsanlage. Das Verkehrssicherheitsaudit sollte dabei auf den Ergebnissen der Unfallanalyse sowie der Verkehrskonfliktanalyse aufbauen. Neben den in den RSAS genannten Kriterien für die Auditierung von Innerortsstraßen sollten im Zuge dieser Methode die in Kapitel 3 dargestellten Rahmenbedingungen für Notwasserwege untersucht und bewertet werden.