



Starkniederschläge und Einsatzplanung auf lokaler Ebene

Bericht

Impressum

Projektbearbeitung und verantwortlich für den Inhalt des Berichts

geo7 AG, geowissenschaftliches Büro

Neufeldstrasse 5 – 9, 3012 Bern

Tel. +41 (0)31 300 44 33

Johannes Rempfer

Michael Rinderer

Catherine Berger

Auftraggeber und Projektleitung

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS

Guisanplatz 1B, 3003 Bern

Christoph Werner

Leitungsgruppe

M. Meile (SID Stadt Zürich), T. Schlegel (MeteoSchweiz), C. Werner (BABS)

Zitiervorschlag

geo7 AG (2021): Starkniederschläge und Einsatzplanung auf lokaler Ebene im Kanton Zürich. Studie im Rahmen des National Centre for Climate Services NCCS und im Auftrag des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz (BABS). geo7 AG, Bern.

August 2021

geo7-Bericht

Technische Änderungen vorbehalten

© Copyright 2021 by geo7 AG, Bern/Switzerland

Konzeption und Design: geo7 AG, Bern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Fragestellung, Zielsetzung und Vorgehen	1
1.3	Zielgruppen.....	3
2	Grundlagen	4
2.1	Daten und Datenaufbereitung	4
2.2	Einsatzauslösung im Kanton Zürich.....	5
3	Methodisches Vorgehen	6
3.1	Auswahl der Ortsfeuerwehren für Interviews	6
3.2	Fragenkatalog für die Interviews	10
3.3	Ereignisdefinition	11
3.4	Kategorisierung der Einsätze	11
3.5	Ableitung Niederschlagsschwellenwerte – kantonale und lokale Ebene.....	12
4	Ergebnisse und Diskussion	15
4.1	Interviews mit Vertretern der Ortsfeuerwehren	15
4.1.1	Kernaussagen der Interviews	15
4.1.2	Folgerungen aus den Interviews	16
4.2	Einsatzschwellenwerte und potentiell relevante Ereignisse	17
4.3	Niederschlagsschwellenwerte auf lokaler Ebene	18
4.4	Niederschlagsschwellenwerte auf regionaler Ebene – Gruppierung der Gemeinden	21
4.5	Niederschlagsschwellenwerte auf lokaler Ebene – alternativer Ansatz	26
5	Fazit und Ausblick.....	29
Anhang A	32	
Anhang A.1	Fragenkatalog Interviews	32
Anhang A.2	Tabellen der Ereignisse für ESW50 und ESW25	33
Anhang A.3	Vergleich der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse (ESW25, ESW10)...	35

I. Glossar

03rmax: Niederschlagskennwert entsprechend der maximalen Stundenintensität in den 3 Stunden vor einem Einsatz

12rsum: Niederschlagskennwert entsprechend der 12 Stundesumme vor einem Einsatz

AdF: Angehörige/Angehöriger der Feuerwehr

BABS: Bundesamt für Bevölkerungsschutz

bottom-up Ansatz: Durchführung von Interviews mit Vertretern ausgewählter Ortsfeuerwehren, um einen lokalen ESW festlegen zu können.

ELZ: Einsatzleitzentrale am Flughafen Zürich, koordiniert Feuerwehreinsätze im Kanton Zürich

ESW: Einsatzschwellenwert, ab dessen Überschreitung die Bewältigung weiterer Einsätze zu einer Herausforderung wird

GVZ: Gebäudeversicherung Kanton Zürich

kantonale Studie: die vorhergehende Studie [1]

lokale Studie: die vorliegende Studie

NCCS: National Center for Climate Services

Niederschlagskennwerte: 8 Parameter für die Niederschlagssumme (x-Stunden-Summe, mit $x = 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48$ oder 72 Stunden) und 8 Parameter für die maximale Niederschlagsintensität (höchste Stundensumme in einem Zeitraum von x Stunden, wobei $x = 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48$ oder 72 Stunden)

NSW: Niederschlagsschwellenwert, bei dessen Überschreitung mit einer Häufung von Alarmen/Einsätzen gerechnet werden muss

Potentiell relevantes Niederschlagsereignis: Niederschlagsereignis, bei dem der Niederschlagsschwellenwert aus der kantonalen Studie überschritten wird

Relevantes Niederschlagsereignis: Niederschlagsereignis bei dem der Niederschlagsschwellenwert aus der kantonalen Studie überschritten wird und auf Gemeindeebene Einsätze ausgelöst werden

SRZ: Schutz & Rettung Zürich / Stadt Zürich, Rettungsorganisation der Stadt Zürich

top-down Ansatz: Anwendung der Ergebnisse der kantonalen Studie, um z.B. die Anzahl wasserbezogener Einsätze pro Gemeinde zu erhalten und damit möglicherweise auf einen lokalen ESW schliessen zu können

II. Zusammenfassung

Starkniederschläge verursachen jedes Jahr grosse Schäden in der Schweiz. Für die Einsatzkräfte von Feuerwehren sind diese Ereignisse eine Herausforderung. Für eine Optimierung der Einsatzplanung im Kanton Zürich erarbeitete geo7 im Auftrag des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz (BABS) und im Rahmen des National Center for Climate Services (NCCS) 2019 eine kantonale Studie [1]. Darin wurden quantitative Schwellenwerte für den Niederschlag abgeleitet, bei deren Überschreitung mit einer Häufung von Einsätzen im Kanton Zürich zu rechnen ist.

Ziel der vorliegenden Studie war es, Niederschlagsschwellenwerte für einzelne Gemeinden oder Regionen innerhalb des Kantons Zürich zu ermitteln, um auch für lokale Einsatzkräfte einen Mehrwert zu schaffen (Abbildung 1). Dafür wurde

- die Gültigkeit der kantonalen Niederschlagsschwellenwerte auf lokaler Ebene überprüft;
- versucht, mit einer ähnlichen Methodik wie in [1] vergleichbare, lokale Niederschlagsschwellenwerte für einzelne Gemeinden und/oder Regionen innerhalb des Kantons Zürich zu bestimmen.

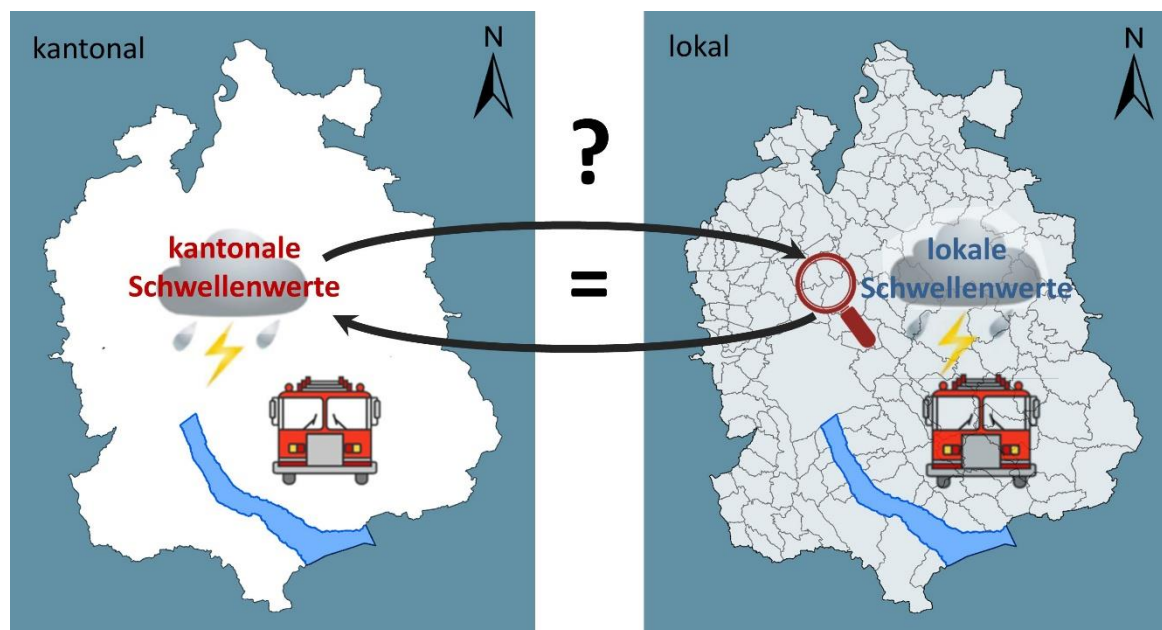


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Grundidee der vorliegenden Studie: Die Methodik der kantonalen Studie [1] soll für Ortsfeuerwehren nutzbar gemacht werden.

Als Grundlage für die Auswertungen dienten Interviews mit Vertretern ausgewählter Ortsfeuerwehren sowie der Datensatz aus der kantonalen Studie [1] mit Niederschlags- und Einsatzdaten im Kanton Zürich im Zeitraum 11/2012 bis 01/2018 [2].

Anhand der Interviews wurde untersucht, ob und ab wann bei Ortsfeuerwehren kritische Einsatzhäufungen auftreten, welche Faktoren (Ausrüstung, Mannschaft etc.) diese beeinflussen und ob quantitative Schwellenwerte (lokale Einsatzschwellenwerte, ESW) festgelegt werden können. Auf Basis der festgelegten Einsatzschwellenwerte sollten die lokalen bzw. regionalen Niederschlagsschwellenwerte (NSW) hergeleitet werden. Zusätzlich wurde die Anzahl Einsätze pro Gemeinde ausgewertet und untersucht, ob es einen Zusammenhang mit den Niederschlagskennwerten (Stundensummen und -intensitäten für vordefinierte Zeiten) gibt.

Die Interviews mit Vertretern der Ortsfeuerwehren (A. Schnyder und A. Würmli, Bäretswil; A. Frei, Stammheim; M. Gantner, Wädenswil; J. Bühlmann, R. Sommer, T. Minger und J. Bösch,

Winterthur) machten deutlich, dass Engpässe beim Material im Bedarfsfall pragmatisch durch zusätzliche, private/informelle Quellen überbrückt werden können und dass aufgrund von Abwesenheiten, die Grösse der Mannschaft nur schwer zu definieren ist. Weiter zeigte sich, dass bei einer Häufung von Einsätzen eine Priorisierung und sequentielle Abarbeitung der Einsätze vorgenommen wird und damit im Zeitraum 11/2012 bis 01/2018 selten Engpässe bei der Bewältigung von Einsätzen auftraten. Die Festlegung allgemein gültiger Einsatzschwellenwerte auf lokaler Ebene war daher nicht eindeutig möglich.

Die Ableitung der lokalen Niederschlagsschwellenwerte erfolgte deshalb mit Hilfe von drei unterschiedlichen Einsatzschwellenwerten (hoch, mittel, tief; 50, 25, 10 Einsätze; wobei 50 dem Einsatzschwellenwert der kantonalen Studie entspricht). Im Vergleich zur kantonalen Studie [1] sind pro Gemeinde und Einsatzschwellenwert weniger relevante Niederschlagsereignisse aufgetreten. Die relevanten Ereignisse konnten ausserdem nicht immer mit «aussergewöhnlichen» Niederschlagsereignissen in Verbindung gebracht werden. Die Festlegung allgemein gültiger, eindeutiger Niederschlagsschwellenwerte auf lokaler Ebene war daher nicht möglich.

Für einzelne Gemeinden mit mehreren Ereignissen (z.B. Winterthur oder Zürich) und für Regionen (z.B. Zürcher Oberland) konnten regionale Niederschlagsschwellenwerte abgeleitet werden, vergleichbar zu denjenigen der kantonalen Studie.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstreichen die Bedeutung der Dokumentation von Einsätzen für eine langfristige Optimierung der Abläufe im Bevölkerungsschutz. Sie zeigen auch, dass Niederschlagsschwellenwerte vor allem auf regionaler und kantonomer Ebene Aussagekraft haben und einen Mehrwert bieten können. Hingegen sind auf lokaler Ebene die Unsicherheiten zu gross um quantitative Schwellenwerte herleiten zu können.

III. Résumé

Les fortes précipitations causent chaque année d'importants dégâts en Suisse et constituent un défi pour les pompiers. Afin d'optimiser la planification d'intervention dans le canton de Zurich, geo7 a réalisé en 2019 une étude cantonale [1] sur mandat de l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) et dans le cadre du National Centre for Climate Services (NCCS). Cette étude a permis d'établir des seuils quantitatifs pour les précipitations, au-delà desquelles il faut s'attendre à une augmentation des interventions dans le canton de Zurich.

L'objectif de la présente étude était de déterminer les seuils de précipitations valables pour les différentes communes ou régions du canton de Zurich afin de fournir des données utilisables aussi par les forces d'intervention locales (figure 2). À cette fin,

- la validité des seuils de précipitations cantonaux a été vérifiée au niveau local;
- on a tenté de déterminer des seuils de précipitations locaux comparables pour les différentes communes et/ou régions du canton de Zurich en utilisant une méthodologie similaire à celle de l'étude cantonale [1].

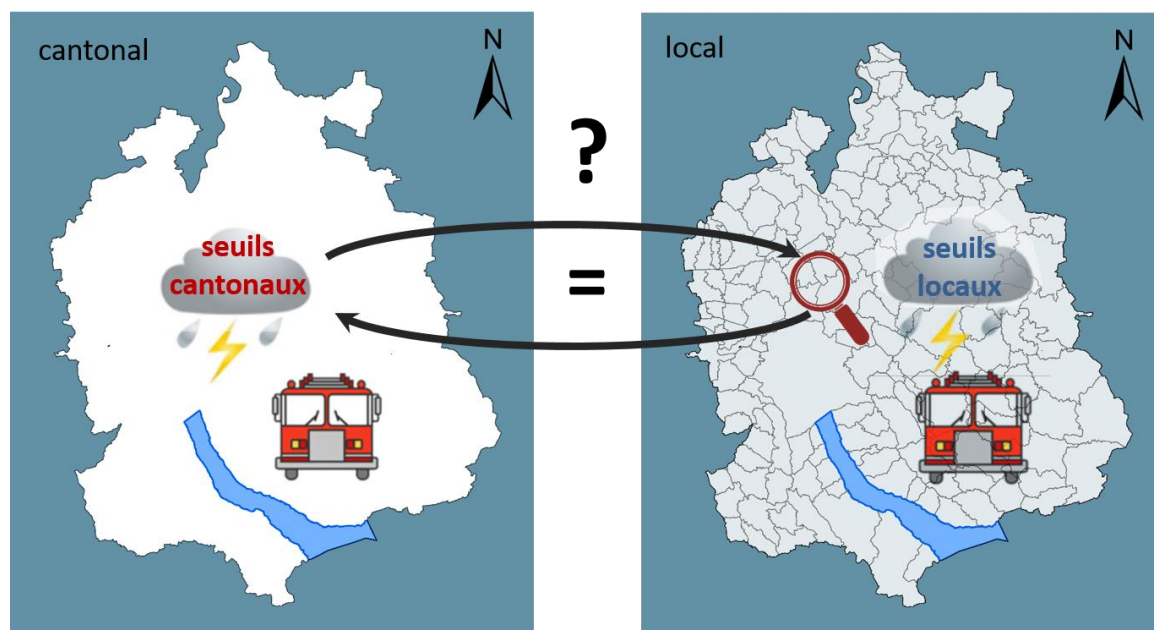


Figure 2 : Représentation schématique de l'idée de base de la présente étude: la méthodologie de l'étude cantonale [1] doit pouvoir être utilisée par les sapeurs-pompiers locaux.

Les entretiens avec des représentants de certains corps de sapeurs-pompiers locaux et le recueil de données de l'étude cantonale [1] comprenant des données sur les précipitations et les interventions dans le canton de Zurich entre novembre 2012 et janvier 2018 [2] ont servi de base pour la définition des seuils.

À travers les entretiens, on a cherché à savoir si et à partir de quand les corps de sapeurs-pompiers locaux sont confrontés à des augmentations critiques du nombre d'interventions, quels sont les facteurs (équipement, équipe, etc.) susceptibles de les influencer et si des seuils quantitatifs (les seuils d'interventions locaux) peuvent être définis. Les seuils d'interventions fixés dans le cadre de l'étude cantonale devaient permettre de déterminer les seuils de précipitations valables sur le plan local ou régional. On a en outre analysé le nombre d'interventions par commune et cherché à savoir s'il existe une corrélation avec les paramètres de précipitations (somme et intensité des précipitations par heure pour des périodes prédéfinies).

Les entretiens avec les représentants des corps de sapeurs-pompiers locaux (A. Schnyder et A. Würmli, Bäretswil ; A. Frei, Stammheim ; M. Gantner, Wädenswil ; J. Bühlmann, R. Sommer, T. Minger et J. Bösch, Winterthur) ont montré que les pénuries de matériel peuvent être comblées de manière pragmatique par des sources d'approvisionnement supplémentaires, privées ou informelles si nécessaire, et que la taille de l'équipe d'intervention est difficile à définir en raison des absences. Il est apparu aussi qu'en cas d'augmentation du nombre d'interventions, on établit un ordre de priorité et on procède de manière séquentielle, si bien que les forces d'intervention ont rarement été confrontées à des pénuries au cours des opérations effectuées entre novembre 2012 et janvier 2018. Au niveau local, il n'a donc pas été possible de définir clairement des seuils d'interventions valables de manière générale.

Les seuils de précipitations locaux ont par conséquent été définis en utilisant trois seuils d'interventions différents (élevé, moyen, faible ; 50, 25, 10 interventions ; 50 correspondant au seuil d'interventions de l'étude cantonale). Par rapport à l'étude cantonale [1], on enregistre moins d'événements importants causés par de fortes précipitations par commune et par seuil d'interventions. En outre, il n'a pas toujours été possible d'associer les événements importants à des précipitations « exceptionnelles ». À l'échelon local, il s'est avéré impossible d'établir des seuils de précipitations précis et valables de manière générale.

Pour certaines communes frappées par plusieurs événements (p. ex. Winterthur ou Zurich) ou certaines régions (p. ex. l'Oberland zurichois), on a pu définir des seuils de précipitations régionaux, comparables à ceux de l'étude cantonale.

Les résultats de la présente étude soulignent l'importance de documenter les interventions en vue d'une optimisation à long terme des procédures appliquées dans le cadre de la protection de la population. Ils montrent également que les seuils de précipitations livrent des informations pertinentes et exploitables principalement au niveau régional et cantonal. À l'échelon local, par contre, les incertitudes sont trop importantes pour définir des seuils quantitatifs.

1 Einleitung und Motivation

1.1 Ausgangslage

Für den Bevölkerungsschutz, seine Partner und Führungsstäbe stellen Gefährdungen durch Elementarereignisse wie z.B. Starkniederschlag, Sturm und Hagel eine Herausforderung dar. Es wird erwartet, dass die Häufigkeit und Intensität von Wetterextremen durch den anthropogen verursachten Klimawandel in Zukunft zunehmen. Für den Bevölkerungsschutz sind damit grössere Herausforderungen hinsichtlich des Ausmasses der Schäden als auch der Häufigkeit von Einsätzen wahrscheinlich.

Im Auftrag des Bundesamts für Bevölkerungsschutz (BABS) und im Rahmen des National Center for Climate Services (NCCS) wurde die Studie «Starkniederschläge und Einsatzplanung von Schutz & Rettung Zürich» verfasst [1] (im Folgenden als kantonale Studie bezeichnet). Die Studie zeigt den Zusammenhang zwischen Starkniederschlägen und der Anzahl wasserbezogener Einsätze von Schutz & Rettung Zürich (SRZ) auf. Seit 2012 ist die Einsatzleitzentrale (ELZ) am Flughafen Zürich für die Koordination aller Einsätze aller Feuerwehren im Kanton Zürich zuständig.

Im Rahmen der kantonalen Studie wurde im Austausch mit SRZ eine gleichzeitige Disposition von 50 und mehr Einsätzen im gesamten Zuständigkeitsgebiet als Einsatzschwellenwert (ESW) definiert. Darauf aufbauend wurden für kurze Starkniederschläge und langandauernde Niederschläge Niederschlagsschwellenwerte (NSW) bestimmt, bei deren Überschreitung SRZ von einer Überschreitung des Einsatzschwellenwertes ausgehen kann. Die Bestimmung der Niederschlagsschwellenwerte liefert einen wichtigen Beitrag für die bessere Planbarkeit von Situationen mit einer Häufung von Einsätzen auf kantonaler Ebene. Die Ergebnisse der kantonalen Studie trafen auf reges Interesse beim Auftraggeber, Projektpartnern und im Rahmen öffentlicher Vorstellungen. Die Ergebnisse wurden in Deutsch und Französisch in Form eines Berichts und einer Zusammenfassung veröffentlicht.

1.2 Fragestellung, Zielsetzung und Vorgehen

Der Erfolg der kantonalen Studie mit der Festlegung der Niederschlagsschwellenwerte motivierte, diesen Ansatz auf Gemeinden und Regionen innerhalb des Kantons Zürich anzuwenden (Abbildung 1 und Abbildung 3). Damit sollen die Ortsfeuerwehren mit ihren unterschiedlichen Gegebenheiten (Grösse, verfügbare Ressourcen, Grösse des Einsatzgebiets, Bevölkerungsdichte, Lage im Kanton, klimatische Verhältnisse, städtisch/ländlich etc.) bei der Vorbereitung auf grosse Niederschlagsereignisse und der damit verbundenen Häufung von Einsätzen unterstützt werden.

In diesem Zusammenhang wurde angenommen, dass auch für Ortsfeuerwehren ein kritischer Einsatzschwellenwert existiert, ab dem die Anzahl der zu leistenden Einsätze eine Herausforderung darstellt. Ausserdem wurde angenommen, dass dieser Wert von Eigenschaften der lokalen Ortsfeuerwehren abhängt. Daraus sollten sich lokale Niederschlagsschwellenwerte für die vorausschauende Einsatzplanung der lokalen Einsatzkräfte ergeben.

Die Fragestellungen waren

- Ab wie vielen gleichzeitigen Einsätzen wird die Situation bei einer Ortsfeuerwehr kritisch (Einsatzschwellenwert, ESW)?
- Sind die Niederschlagsschwellenwerte der kantonalen Studie auch für lokale Ortsfeuerwehren gültig?
- Wenn nicht, sind dann ähnliche Zusammenhänge zwischen Niederschlagsschwellenwerten und Einsatzschwellenwerten auf Ebene der Ortsfeuerwehren ableitbar?
- Welche zusätzlichen Parameter müssen ggf. in das Erklärungsmodell der kantonalen Studie integriert werden?

Ziel der Studie war

- die Gültigkeit des Niederschlagsschwellenwertes der kantonalen Studie auch auf lokaler Ebene zu überprüfen und
- falls nötig vergleichbare, lokale Niederschlagsschwellenwerte für einzelne Gemeinden und/oder Regionen innerhalb des Kantons Zürich zu bestimmen.

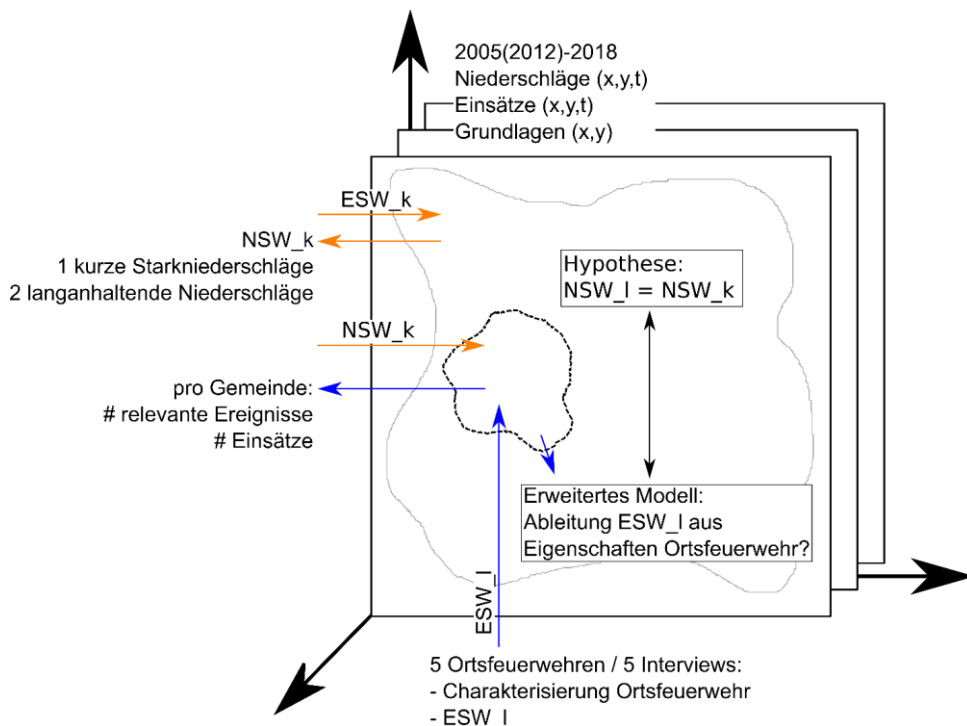


Abbildung 3: Beschreibung der Datengrundlage und des Vorgehens in der kantonalen [1] und der lokalen Studie. Für eine weitergehende Erklärung der Abbildung siehe Text.

Daten und Ergebnisse der kantonalen Studie bildeten die Grundlage für die lokale Studie (Abbildung 3). Dazu gehören u.a. Einsatzdaten von Schutz & Rettung Zürich (SRZ) [2], Niederschlagsdaten von MeteoSchweiz [3], die Naturgefahrenkarten Wasser [4] und die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss [5]. Aus der kantonalen Studie wurde auch der von SRZ definierte kantonale Einsatzschwellenwert (ESW_k) und kantonale Niederschlagsschwellenwerte (NSW_k) für kurze Starkniederschläge und langanhaltende Niederschläge übernommen.

Die NSW_k wurden in der vorliegenden Studie auf die lokale Ebene übertragen, um für jede Gemeinde die Anzahl relevanter Ereignisse und die Anzahl der damit verbundenen Einsätze zu ermitteln (top-down Ansatz). Gleichzeitig wurden die vorhandenen Daten auf lokaler Ebene ausgewertet um lokale Niederschlagsschwellenwert (NSW_I) zu ermitteln (bottom-up Ansatz).

Für den bottom-up Ansatz wurden zunächst, basierend auf Interviews mit Vertretern fünf ausgewählter Ortsfeuerwehren versucht, lokale Einsatzschwellenwerte (ESW_I) zu bestimmen. Dann wurde das Erklärungsmodell aus [1] verwendet und erweitert um, basierend auf Eigenschaften der Ortsfeuerwehren, lokale ESW_I abzuleiten (top-down-Ansatz). Diese ESW_I beschreiben also jene Anzahl an gleichzeitigen Einsätzen, die eine Herausforderung für die lokalen Ortsfeuerwehren darstellen. Basierend auf diesen Ereignissen wurde dann für jede Gemeinde ein lokaler Niederschlagsschwellenwert (NSW_I) ermittelt, ab dem es zu einer Häufung von Einsätzen in der Gemeinde gekommen ist. Es wurde ausserdem überprüft, ob diese lokalen Niederschlagsschwellenwerte (NSW_I) dem kantonalen Niederschlagsschwellenwert (NSW_k) entsprechen. Zusätzlich wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Anzahl Einsätze pro Gemeinde und den Niederschlägen gibt.

In Kapitel 2 werden Grundlagen vorgestellt, das methodische Vorgehen wird in Kapitel 3 erläutert. Ergebnisse der Studie werden in Kapitel 4 präsentiert und diskutiert, ein Fazit und Ausblick folgen in Kapitel 5.

1.3 Zielgruppen

Im vorliegenden Bericht werden sowohl die inhaltlichen Resultate als auch die Methoden, die entwickelt und eingesetzt wurden, beschrieben. Dementsprechend richtet sich der Bericht an Fachämter und Organisationen auf Bundesebene (z.B. BABS, MeteoSchweiz oder das NCCS) sowie an Akteure auf kantonaler und regionaler Ebene, insbesondere im Zusammenhang mit impact-based warning.

2 Grundlagen

2.1 Daten und Datenaufbereitung

Für die lokale Studie wurde der von Schutz & Rettung Zürich bereitgestellte Datensatz von dokumentierten, wasserbezogenen Einsätzen zwischen 07/2005 und 01/2018, herangezogen [2]. Da allerdings von 07/2005 bis 11/2012 nur für den südlichen Teil des Kantons Einsatzdaten verfügbar sind, wurden die Untersuchungen in der vorliegenden lokalen Studie auf den Zeitraum 11/2012 bis 01/2018 beschränkt. Weitere Details zu den Einsatzdaten und deren Verarbeitung sind in [1] aufgeführt.

Zwischen 11/2012 und 01/2018 wurden bei SRZ 7'474 wasserbezogene Einsätze ausgelöst [2]. Jedem Einsatz wurde von SRZ eine Einsatzkategorie zugeordnet, die Hinweise auf den Grund der Auslösung gibt. Die vorliegende wie auch die kantonale Studie [1] fokussieren auf Einsätze, die durch Niederschläge ausgelöst wurden. Einsätze der Kategorien «Baum/Ast (Unwetter)» sowie «nicht definiert» wurden in den Auswertungen nicht berücksichtigt. Die Kategorisierung ist jedoch mit Unsicherheiten verbunden, da die Kategorie zum Zeitpunkt des Alarmeingangs zum Teil noch nicht sicher bestimmbar war. Zum Beispiel kann sich die erfasste Einsatzart im Verlauf eines Ereignisses mit zunehmender Anzahl Alarmeingänge von der allgemeinen Kategorie «Wasser im Gebäude» zu «Hochwasser» ändern.

Niederschlagsdaten von MeteoSchweiz [3], basierend auf Messstationen und Radardaten, sind verfügbar für den gesamten betrachteten Zeitraum (stündliche Auflösung) und den gesamten Kanton (1x1 km Auflösung). Weitere Details zu den Niederschlagsdaten und deren Verarbeitung sind im Kapitel 3.2 des Berichts der kantonalen Studie aufgeführt [1]. Um räumliche Unschärfen in den Niederschlagsdaten zu reduzieren, wurde eine Glättung mit Hilfe eines gleitenden Mittelwertes (3x3 Rasterzellen) vorgenommen. Basierend auf diesen Rasterdaten wurden für jeden Einsatz die vorhergehenden stündlichen Niederschlagsdaten über x Stunden zu Niederschlagskennwerten aggregiert (Stundensummen und -intensitäten mit $x = 1, 3, 6, 12, 24, 48, 72$ Stunden).

Niederschlag kann Überschwemmungen durch Gewässer wie z.B. Bäche, Flüsse, Seen und Überschwemmungen durch Oberflächenabfluss verursachen. Unter Oberflächenabfluss wird dabei derjenige Niederschlagsanteil verstanden, der unmittelbar an der Geländeoberfläche abfließt. Betreffend diese Naturgefahren konnte auf bestehende Grundlagen (Gefahrenkarte [4] und Gefährdungskarte Oberflächenabfluss [5]) zurückgegriffen werden. Da für jeden Einsatz die Koordinaten bekannt sind, konnte jedem Einsatz auch die jeweilige Gefahrenstufe bzw. potenzielle Betroffenheit durch Oberflächenabfluss zugewiesen werden. Bei entsprechender Lage in einem Gefahrenbereich wurde davon ausgegangen, dass der Einsatz durch den jeweiligen Prozess ausgelöst wurde. Wassereintritt in ein Untergeschoss, verbunden mit einem Gefährdungshinweis durch Oberflächenabfluss, stellte den häufigsten Grund für Wassereinsätze bei SRZ dar. Die Kartierung des Oberflächenabflusses im innerstädtischen bzw. dicht besiedelten Bereich kann jedoch vor allem aufgrund von Kleinstrukturen wie Mauern, Randsteinen etc. an ihre Grenzen stossen.

Lag ein Einsatz ausserhalb der Gefahren- und Gefährdungsbereiche konnten keine weiteren Rückschlüsse auf den möglicherweise auslösenden Prozess gezogen werden. Weitere Details zu den Gefahren- und Gefahrenhinweiskarten und deren Verarbeitung sind im Kapitel 3.3 des Berichts der kantonalen Studie aufgeführt [1]. Ob ein Einsatzort innerhalb oder ausserhalb eines Gebäudes lag («Gebäude Ja oder Nein»), war für die Überlagerung der Einsatzdaten mit den Gefährdungsdaten relevant. Um dies zu bestimmen wurde der Gebäudedatensatz des Kantons Zürich verwendet [6] (Kapitel 3.4 im Bericht der kantonalen Studie [1]).

In der kantonalen Studie wurde die Bevölkerungsdichte als Hinweis auf die Siedlungsdichte und damit das Schadenpotential verwendet (Kapitel 3.5 im Bericht der kantonalen Studie [1]). Daten zur Bevölkerungsdichte stammen vom Bundesamt für Statistik (STATPOP, [7]). Weiter wurde angenommen, dass bei Überschwemmungen in Gebieten mit hohem Schadenpotential und hoher Verletzlichkeit der Objekte, wie z.B. in einem Stadtzentrum, Einsatzkräfte schneller aufgeboden werden.

2.2 Einsatzauslösung im Kanton Zürich

Um ein besseres Verständnis für die Abläufe nach einer Einsatzauslösung bei einer Ortsfeuerwehr im Kanton Zürich zu erhalten (Abbildung 4) wurde ein Telefonat mit Peter Wullschleger, Kommandant der Feuerwehr Zürich, geführt.

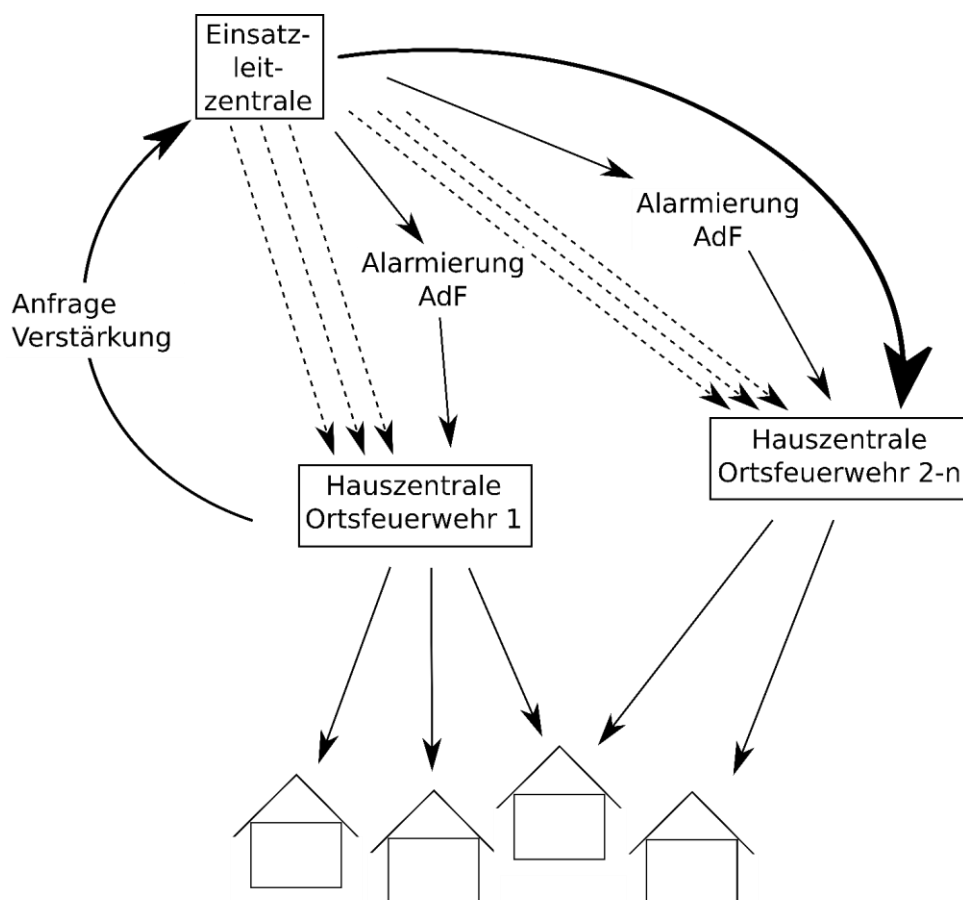


Abbildung 4: Organisation der Alarmierung der Ortsfeuerwehren via Einsatzleitzentrale (ELZ) sowie Anfrage und Organisation der Verstärkung durch Ortsfeuerwehren und ELZ im Kanton Zürich.

Die Alarmierung via 118 erfolgt seit 2012 zentral über die Einsatzleitzentrale (ELZ) am Flughafen Zürich. Die ELZ definiert die Art des Einsatzes (z.B. «Wasser im Gebäude»). Gehen in der ELZ Alarme aus einer Gemeinde ein, alarmiert sie die Angehörigen der Ortsfeuerwehr (AdF) via Pager und schickt Details zu jedem Alarm via Fax/E-Mail an die dortige Hauszentrale. Die AdF rücken daraufhin ein und die Hauszentrale wird besetzt. Aus der Hauszentrale erfolgt die Organisation der Einsätze (z.B. Erstellung einer Lagekarte) und die Bestimmung der Mittel (Anzahl AdF, Fahrzeuge etc.). Weitere eingehende Alarme werden ggf. von der ELZ an die Ortsfeuerwehr weitergeleitet. Die Abarbeitung einer grösseren Anzahl Einsätze erfolgt sequentiell und nach Dringlichkeit. Ist eine Ortsfeuerwehr an der Belastungsgrenze fordert sie via ELZ zusätzliches Material bzw. Verstärkung an. Bei einer regionalen Einsatzhäufung wird an der ELZ ein Einsatzraum besetzt, der für die Region Führungsunterstützung anbietet und sicherstellt, dass Ortsfeuerwehren nicht total ausgelastet und ohne Reserve sind.

3 Methodisches Vorgehen

3.1 Auswahl der Ortsfeuerwehren für Interviews

Um ein Verständnis für die Abläufe sowie die besonderen Rahmenbedingungen bei den lokalen Organisationen zu erhalten, wurden mit Zuständigen ausgewählter Ortsfeuerwehren Interviews durchgeführt. In den Interviews sollte ein Schwellenwert für die Anzahl gleichzeitiger Einsätze erfragt werden, ab welchem die Lage für die Ortsfeuerwehr kritisch wird (lokaler Einsatzschwellenwert, ESW) und welche Ressourcen limitierend sind (z.B. Verfügbarkeit Mannschaft oder Anzahl Pumpen). Als Indiz für die Belastungsgrenze sollte zudem die Art der Zusammenarbeit (Zweckverband, Zusammenarbeits- oder Anschlussvertrag [8]) bzw. weiterer Vereinbarungen mit anderen Einsatzorganisationen berücksichtigt werden. In den ausgewählten Gemeinden sollte eine möglichst grosse Anzahl wasserbezogener Einsätze verbunden mit kurzen Starkniederschlägen und langanhaltenden Niederschlägen aufgetreten sein. Weiterhin sollten sie ein möglichst breites Spektrum hinsichtlich Grösse, verfügbare Ressourcen, Grösse des Einsatzgebiets, Bevölkerungsdichte, Lage im Kanton, klimatische Verhältnisse, städtisch/ländlich, etc. abdecken.

Als Grundlage zur Auswahl der fünf Ortsfeuerwehren wurden die angereicherten Einsatzdaten aus der kantonalen Studie mit den Gemeindegrenzen, verschnitten. Informationen wie Bevölkerungsdichte (Abbildung 5), die Anzahl wasserbezogenen Einsätze pro Gemeinde (Abbildung 6) im Zeitraum von 11/2012 bis 01/2018 sowie die Verteilung der 1-Tages Niederschlagssummen für ein 100-jährliches Ereignis (Abbildung 7) wurden ergänzend verwendet. Ausserdem wurde für jede Gemeinde die Anzahl Einsatztage der Kategorien «kurzer Starkniederschlag» und «langanhaltender Niederschlag», entsprechend den Niederschlagsschwellenwerten der kantonalen Studie, ermittelt (beispielhafte Darstellung in Abbildung 8, sowie Ergebnisse in Abbildung 9 und Abbildung 10).

Gemeinsam mit dem Projektteam und Vertretern der Gebäudeversicherung Zürich (GVZ) wurden aus einer Vorauswahl von 12 Gemeinden (siehe Abbildung 9) fünf exemplarische Ortsfeuerwehren aus den folgenden Gemeinden des Kanton Zürich bestimmt:

- Bäretswil
- Wädenswil
- Winterthur
- Stammheim
- Zürich

Eine wichtige Voraussetzung für die Verwendung der Daten und Ergebnisse der kantonalen Studie war die Vollständigkeit der Liste der Alarme, die bei SRZ eingegangen sind. Es sollten lokal keine zusätzlichen Alarme informell aufgenommen und bearbeitet werden. Im Rahmen der Gespräche mit Vertretern der Ortsfeuerwehren wurde dies sichergestellt: Lokal benachrichtigte Einsätze wurden nachgemeldet oder waren die absolute Ausnahme und damit vernachlässigbar.

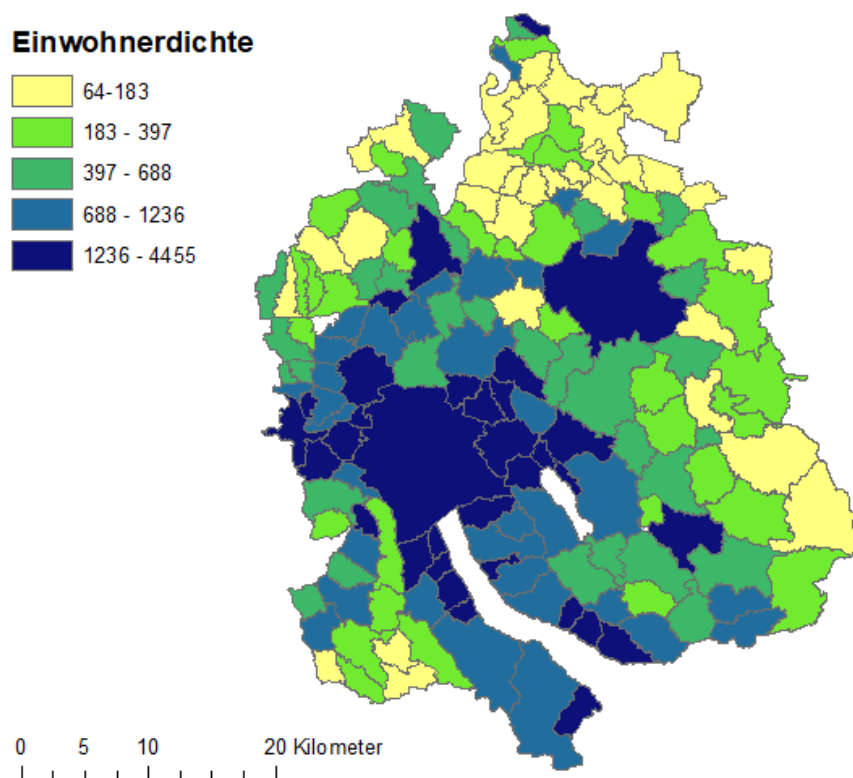


Abbildung 5: Einwohnerdichte (Einwohner pro km²) pro Gemeinde, Kanton Zürich (Datensatz swissBOUNDARIES^{3D}, Swisstopo, Stand 1.1.2018).

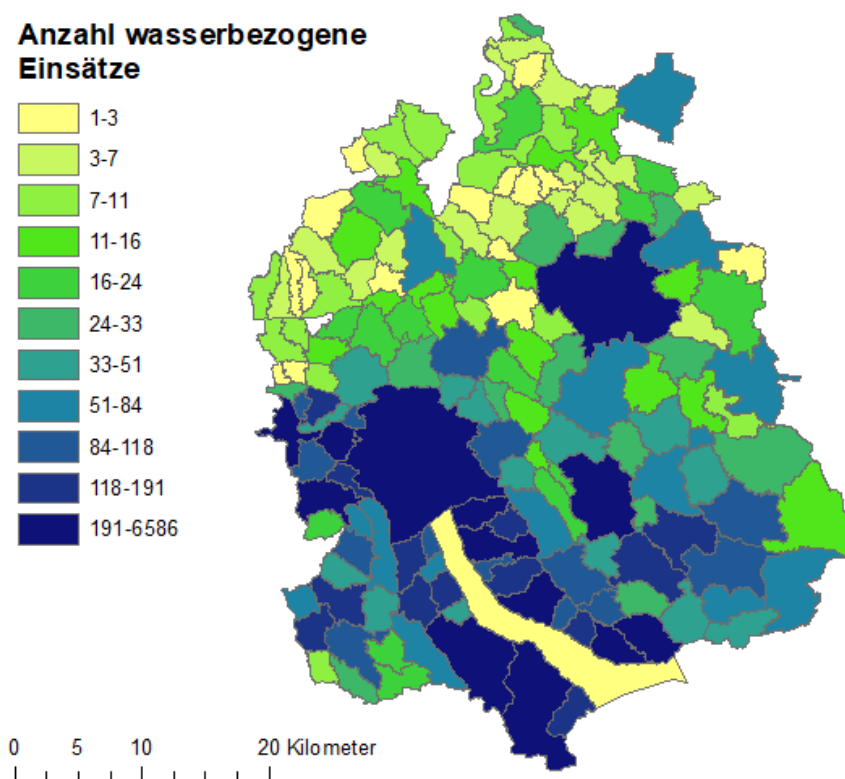


Abbildung 6: Anzahl wasserbezogener Einsätze pro Gemeinde im Kanton Zürich im Zeitraum 11/2012-01/2018 [2].

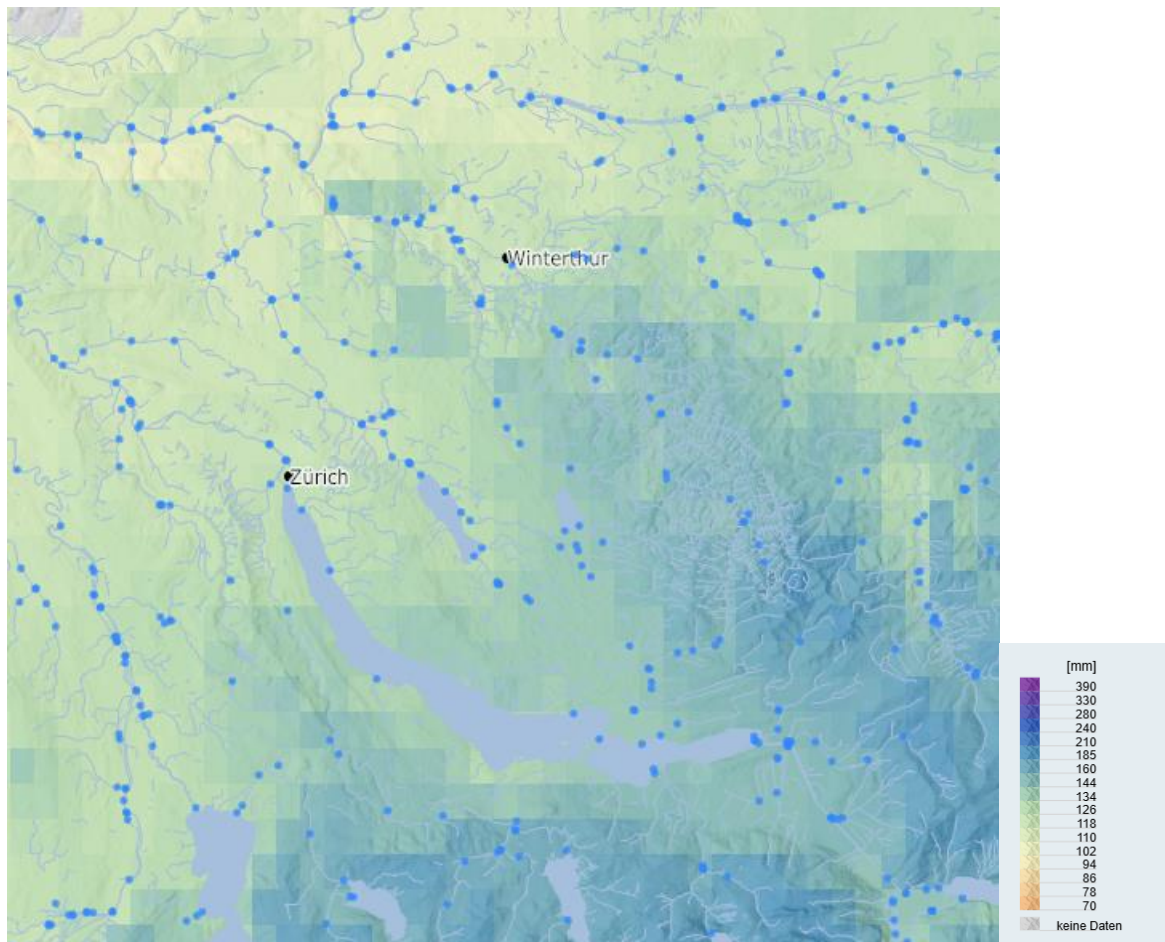


Abbildung 7: 1-Tages Niederschlagssummen (mm) für ein 100-jährliches Ereignis im Raum Kanton Zürich.
Quelle: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Stand: 21.12.2020)

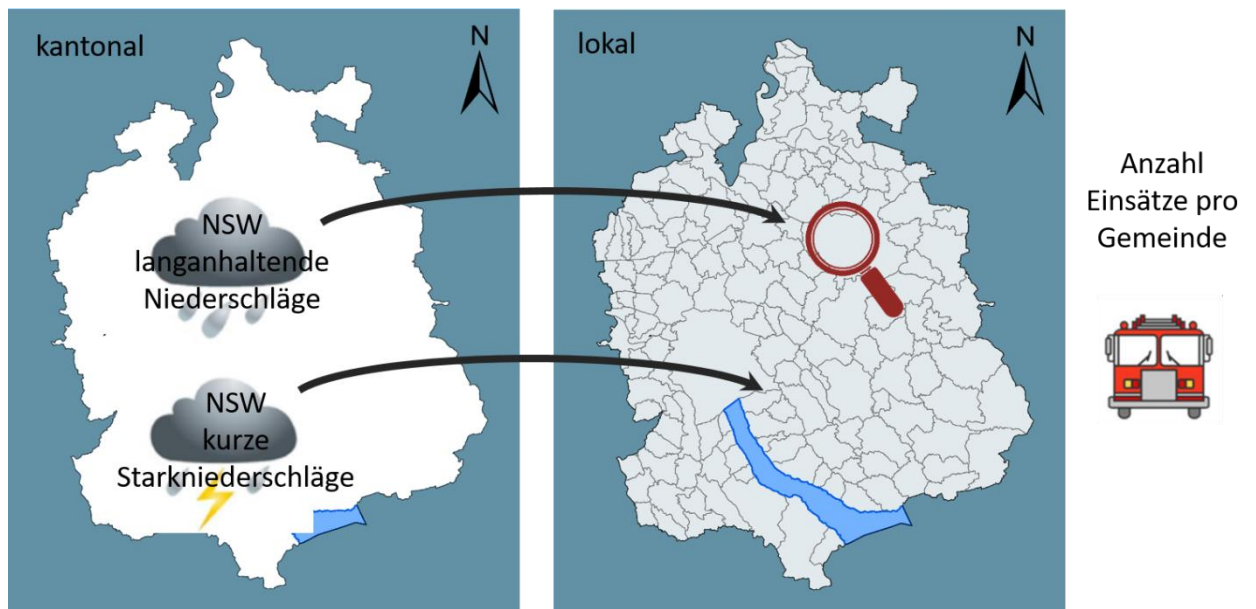


Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der Bestimmung der Anzahl Einsätze pro Gemeinde durch Übertragung der Niederschlagsschwellenwerte der kantonalen Studie für kurze Starkniederschläge und langanhaltende Niederschläge auf die Gemeindeebene.

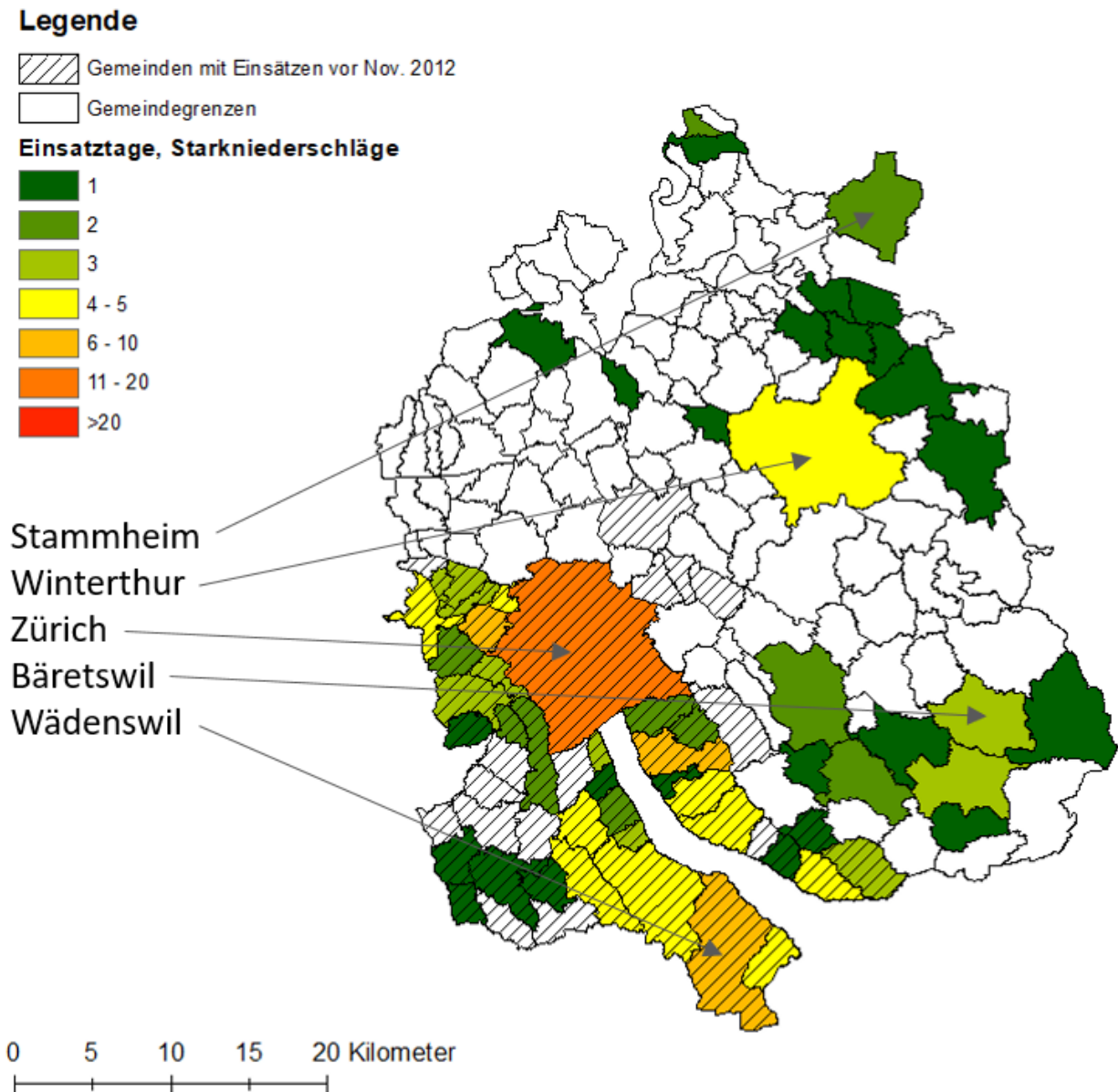


Abbildung 9: Anzahl der Einsatztage pro Gemeinde, an denen die Niederschlagsschwellenwerte der kantonalen Studie für kurze Starkniederschläge überschritten wurden. In der Karte sind die Namen der ausgewählten Gemeinden dargestellt. Gemeinden, in denen Daten vor 11/2012 verfügbar sind, sind schwarz gestreift. Im Gegensatz zur kantonalen Studie beschränkt sich die Auswertung in der lokalen Studie auf den Zeitraum 11/2012 bis 01/2018.

Legende

-  Gemeinden mit Einsätzen vor Nov. 2012
-  Gemeindegrenzen

Einsatztage, langanhaltender Niederschlag

-  1
-  2
-  3
-  4 - 5
-  6 - 10
-  11 - 20
-  >20

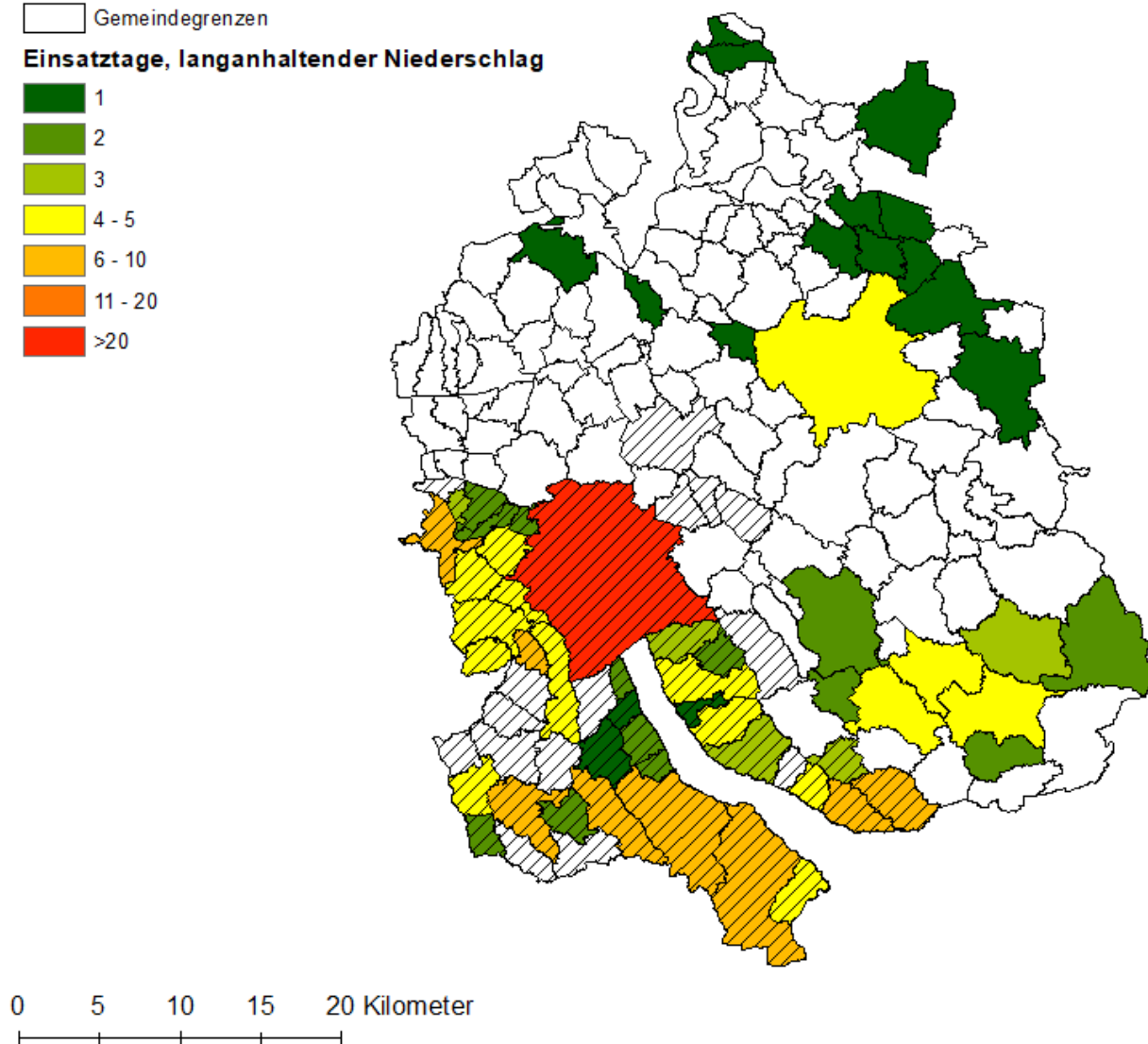


Abbildung 10: Anzahl der Einsatztage pro Gemeinde, an denen die Niederschlagsschwellenwerte der kantonalen Studie für langanhaltende Niederschläge überschritten wurden. Gemeinden, in denen Daten vor 11/2012 verfügbar sind, sind schwarz gestreift. Im Gegensatz zur kantonalen Studie beschränkt sich die Auswertung in der lokalen Studie auf den Zeitraum 11/2012 bis 01/2018.

3.2 Fragenkatalog für die Interviews

Um eine einheitliche Vorgehensweise bei der Befragung der Ortsfeuerwehren zu gewährleisten, wurde ein Fragenkatalog entwickelt (siehe Anhang A.1). Ziel dieser Interviews war es, analog zur kantonalen Studie einen lokalen Einsatzschwellenwert zu bestimmen; also jene Anzahl gleichzeitiger Einsätze, ab der die Auslastung für die Ortsfeuerwehr kritisch wird (bottom-up Ansatz). Ausserdem sollte erfragt werden welche Ressourcen limitierend sind (z.B. Verfügbarkeit Mannschaft, Anzahl Pumpen, Anzahl Fahrzeuge etc.) und ob im Fall des Erreichens der örtlichen Kapazitäten Vereinbarungen zur Zusammenarbeit mit anderen Ortsfeuerwehren oder anderen Einsatzorganisationen bestehen (vergleichbar zu [8]). Zudem sollten die Interviews ein Verständnis

für die Abläufe sowie die besonderen Rahmenbedingungen bei den Ortsfeuerwehren ermöglichen.

Eine Zusammenfassung der Interviews und die Folgerungen daraus werden in Kapitel 4.1 wiedergegeben

3.3 Ereignisdefinition

«Nur bei einer Häufung von Einsätzen von SRZ kann ein Zusammenhang zwischen Niederschlag und den darauffolgenden Einsätzen hergeleitet werden» [1].

Für die kantonale Studie wurde ein Niederschlagsereignis von SRZ als relevant eingestuft, wenn in diesem Zusammenhang innerhalb von 6 Stunden 50 Alarme eingegangen sind, bzw. 50 Einsätze stattfanden. Dieser Wert 50 entspricht dem Einsatzschwellenwert (ESW) der kantonalen Studie. Die entsprechenden Ereignisse sind in Tabelle 4 in [1] aufgelistet.

Auch für die lokale Studie waren Niederschlagsereignisse von Interesse, die nicht nur einzelne, sondern eine grössere Anzahl Einsätze zur Folge hatten und für eine Organisation eine Herausforderung darstellten. Es ist davon auszugehen, dass die für eine Ortsfeuerwehr kritische Anzahl Einsätze kleiner ist als der von SRZ genannte kantonale Einsatzschwellenwert. Für die lokale Studie wurden daher ein hoher (50 Einsätze in 6 Stunden, ESW50), ein mittlerer (25 Einsätze in 6 Stunden, ESW25) und ein niedriger Einsatzschwellenwert (10 Einsätze in 6 Stunden, ESW10) genauer untersucht. Die Abgrenzung der Ereignisse erfolgt in der lokalen Studie analog zu [1]:

- Beginn: wenn in einer Stunde mehr als 10 Einsätze ausgelöst wurden.
- Ende: wenn nach Beginn eines Ereignisses weniger als 10 Einsätze pro Stunde ausgelöst wurden und die Anzahl innerhalb der nächsten sieben Stunden nicht wieder auf über 10 pro Stunde anstieg.

3.4 Kategorisierung der Einsätze

In der kantonalen Studie wurden Niederschlagsereignisse, basierend auf einer explorativen Analyse, in 3 Kategorien eingeteilt (Kapitel 4.3 in [1]):

Kategorie 0: Einsatz aus unbestimmtem Grund

Kategorie 1: Einsatz auf Grund von langandauerndem Niederschlag

Kategorie 2: Einsatz auf Grund von kurzem Starkniederschlag

Kategorie 1 führt zu grossflächig verteilten Ereignissen, Kategorie 2 führt zu einer räumlichen und zeitlichen Einsatzkonzentration. Die Einteilung basiert auf Niederschlagsindikatoren, ist in einem Entscheidungsbaum dargestellt (Abbildung 11) und wird im Folgenden genauer erläutert.

Erreichte die Niederschlagssumme in den 72 h vor dem Einsatz einen Wert von mindestens 10 mm wird von einem Ereignis der Kategorie «langandauernder Niederschlag» oder «kurzer Starkniederschlag» ausgegangen und eine weitere Unterscheidung ist notwendig (siehe folgenden Absatz). Andernfalls wird dem Einsatz die Kategorie «unbestimmt» zugewiesen. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass der Niederschlag kein plausibler Grund für eine Einsatzauslösung ist und der Einsatz anders begründet werden muss.

Die Kategorien langandauernder Niederschlag und kurzer Starkniederschlag werden folgendermassen unterschieden: Fällt mehr als ein Drittel des Niederschlags der 24 Stunden vor dem Einsatz innerhalb einer Stunde und erreicht das Niederschlagsmaximum der 24 Stunden vor dem Einsatz mindestens 10 mm, so gehört der Einsatz zur Kategorie kurzer Starkniederschlag. Andernfalls wird dem Einsatz die Kategorie langanhaltender Niederschlag zugewiesen.

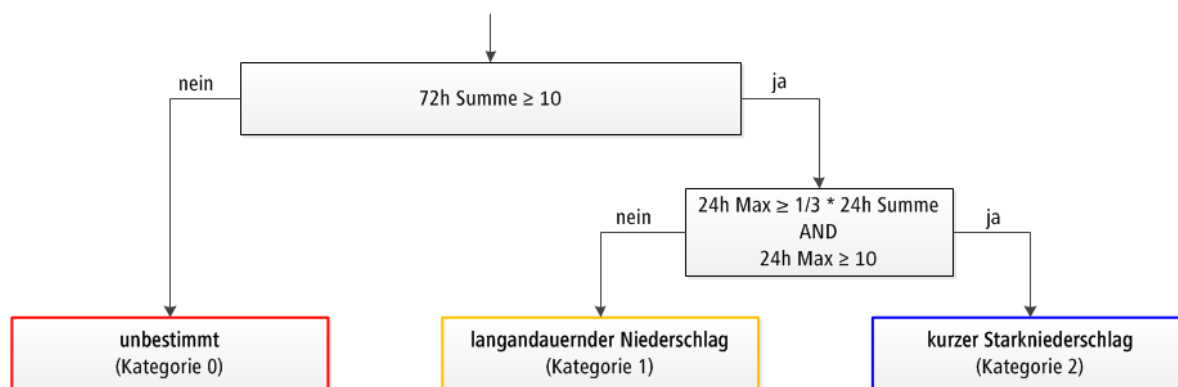


Abbildung 11: Kategorisierung der Einsätze nach dem sie auslösenden Niederschlagstyp. Unterschieden werden die Kategorien 0; «unbestimmt», 1; «langandauernder Niederschlag» sowie 2; «kurzer Starkniederschlag» [1]. Einheiten in [mm].

Da die Kategorisierung auf Kantonsebene erfolgte, war nicht von vorne herein klar, welche Gemeinden tatsächlich betroffen waren. Für die lokale Studie werden Ereignisse, die in die Kategorie langandauernder Niederschlag oder kurzer Starkniederschlag fallen, als für die Gemeinden potentiell relevante Niederschlagsereignisse bezeichnet. Sind im Zusammenhang mit einem potentiell relevanten Niederschlagsereignis auf Gemeindeebene effektiv Einsätze aufgetreten, wird es als für die betreffende Gemeinde relevantes Niederschlagsereignis bezeichnet (Abbildung 12).

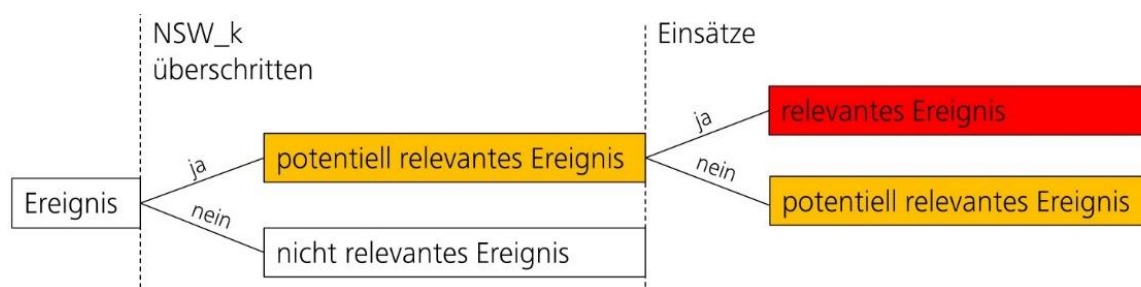


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Kategorisierung der Ereignisse auf Gemeindeebene für die lokale Studie.

3.5 Ableitung Niederschlagsschwellenwerte – kantonale und lokale Ebene

Die Festlegung der Niederschlagsschwellenwerte der kantonalen Studie beruht auf einem Vergleich der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse mit den Niederschlagskennwerten aller Ereignisse. Dies wird im Folgenden kurz erläutert.

Zunächst wurden jene Ereignisse bestimmt, bei denen SRZ mit mehr als 50 Einsätzen innerhalb von 6 Stunden konfrontiert war (Einsatzschwellenwert im Rahmen von [1] mit SRZ festgelegt). Im Zeitraum 07/2005 bis 01/2018 lagen 16 Ereignisse, die diesem Kriterium entsprechen (Tabelle 4 in [1]).

Als Niederschlagskennwerte wurden die Summe und die maximale Stundenintensität der Niederschläge in den 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48 und 72 Stunden vor jedem Einsatz berechnet. Die Niederschlagskennwerte aller Einsätze sind in Form von Boxplots dargestellt (Abbildung 13, links Stundensummen für langanhaltende Niederschläge, rechts Stundenintensitäten für kurze Starkniederschläge). Mediane der Niederschlagskennwerte der Einsätze der relevanten Ereignisse wurden als farbige Linien dargestellt.

Bei den langandauernden Niederschlägen wurde die 12-Stunden-Niederschlagssumme für den Schwellenwert für den langandauernden Niederschlag verwendet und der Schwellenwert auf 30 mm/12h festgelegt (gc_sum_12, Abbildung 13, rechts), was wiederum im Bereich des 90%-Quantils liegt. Bei der Hälfte der relevanten langandauernden Niederschlagsereignisse liegt die

12-Stunden-Summe unterhalb dieses Schwellenwertes. Dies wurde zum Teil mit der nicht eindeutigen Kategorisierung begründet. Weiterhin entspricht das Ereignis mit den niedrigsten Stundensummen dem Wintersturm Burglind, der u.a. in höheren Lagen zu Schneeschmelze führte und damit die Hochwassersituation verstärkte [1]. Als Schwellenwert für die kurzen Starkniederschläge wurde eine maximale 1h-Intensität in den letzten drei Stunden von 15 mm/h verwendet, da für grössere Zeitfenster der Anstieg der maximalen 1h-Intensität nur schwach ausgeprägt ist (gc_max_03, Abbildung 13, links). Der Wert von 15 mm/h liegt im Bereich des 90%-Perzentils. Dass einzelne Ereignisse weniger ausserordentlich sind, wurde mit der nicht eindeutigen Kategorisierung begründet.

Bei einer Überschreitung dieser Niederschlagsschwellenwerte ist mit einer grösseren Anzahl Einsätze zu rechnen. Diese Information erlaubt der Einsatzleitzentrale notwendige Vorbereitung für die Disposition dieser Einsätze zu treffen.

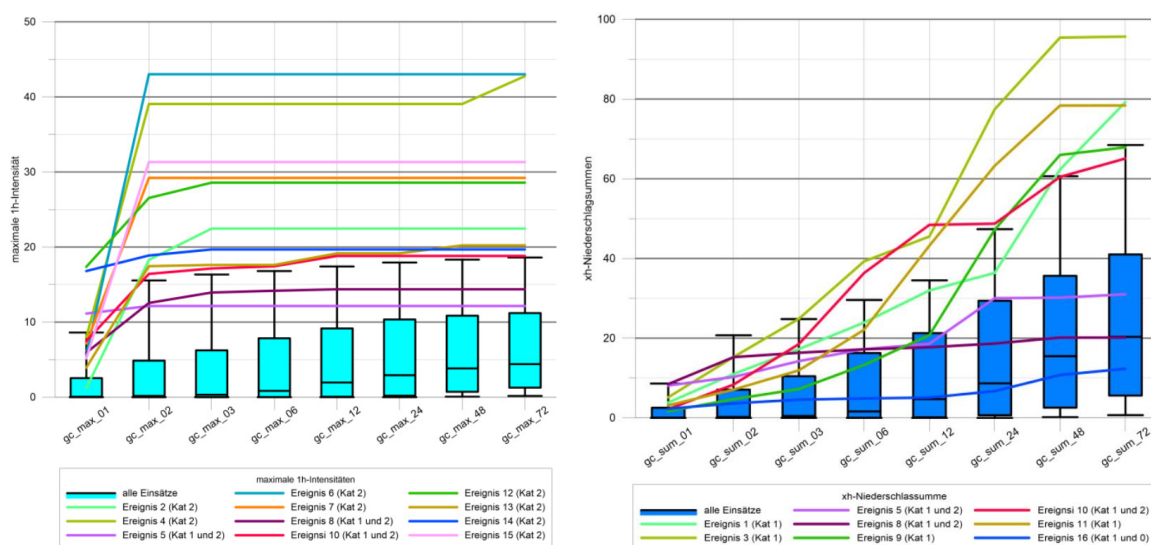


Abbildung 13: Gegenüberstellung der Niederschlagskennwerte der für SRZ relevanten Niederschlagsereignisse zwischen 07/2005 und 01/2018 (farbige Linien) und der Verteilung der Niederschlagskennwerte für alle Einsätze in dieser Zeitperiode (Boxplots) für langandauernde Niederschläge (links) und kurze Starkniederschläge (rechts) in der kantonalen Studie [1]. Auf der x-Achse sind die Niederschlagskennwerte aufgetragen (entsprechend der maximalen Stundenintensität und der Summe der Niederschläge in den x Stunden vor jedem Einsatz (mit $x=1, 2, 3, 6, 12, 24, 48, 72$). Auf der y-Achse sind (links) die Werte der maximalen 1 h-Intensität und (rechts) die Werte der xh-Niederschlagssummen dargestellt.

Für die lokale Studie wurde sinngemäss die gleiche Vorgehensweise gewählt. Allerdings wurden die Auswertungen mit den in der jeweiligen Gemeinde dokumentierten Ereignissen durchgeführt. D.h. wieder wurden die Niederschlagskennwerte aller Einsätze in Form von Boxplots dargestellt. Mediane der Niederschlagskennwerte aller Einsätze während der relevanten Ereignisse (für verschiedene Einsatzschwellenwerte), die zu einer Häufung von Einsätzen geführt haben, wurden als farbige Linien dargestellt. Die gestrichelte schwarze Linie zeigt den Median der Niederschlagskennwerte über die Einsätze aller relevanten Ereignisse. Wie bei der kantonalen Studie wurde versucht, Niederschlagsschwellenwerte für kurze Starkniederschläge und langanhaltende Niederschlagsereignisse abzuleiten (beispielhafte Darstellung in Abbildung 14). Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.3 beschrieben.

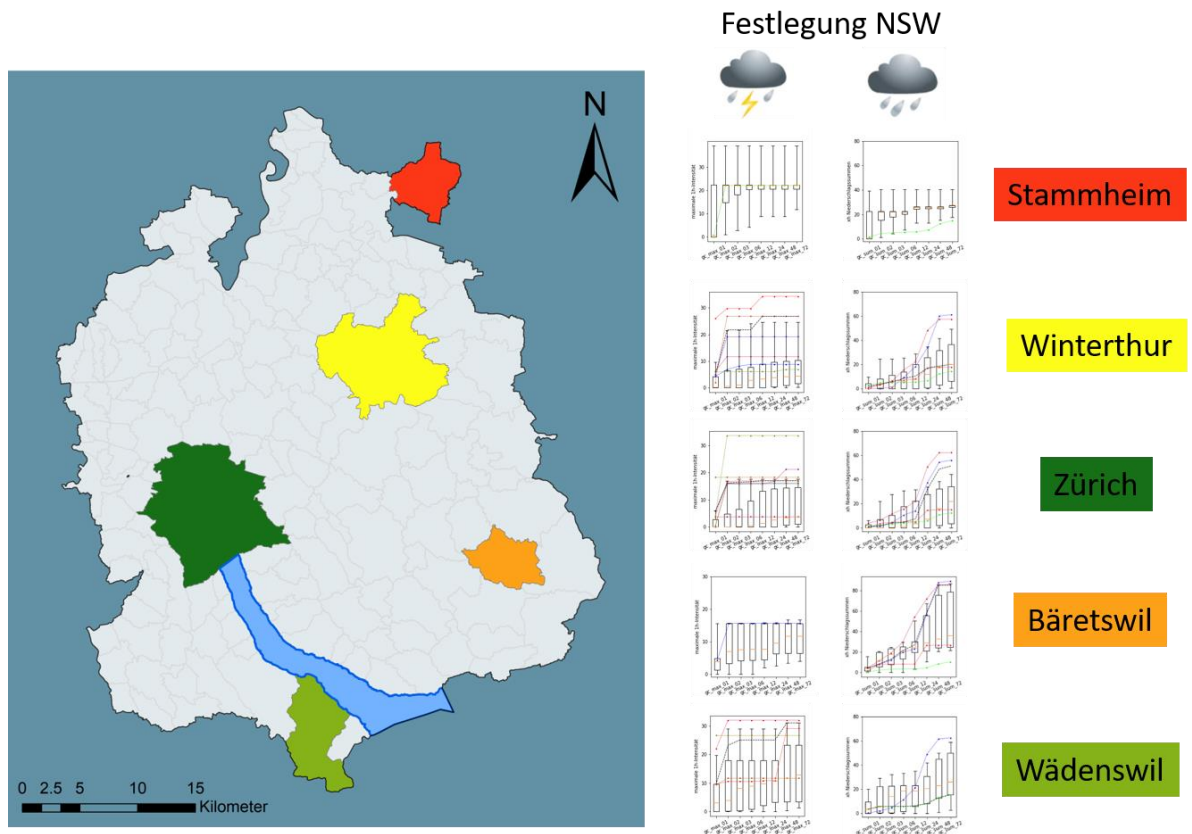


Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung der Bestimmung lokaler Niederschlagsschwellenwerte (NSW).

4 Ergebnisse und Diskussion

In Kapitel 4.1 werden die Resultate und Schlussfolgerungen aus den Interviews präsentiert. Diese dienen als Grundlage für die weiteren Auswertungen. Für hohe, mittlere und tiefe Einsatzschwellenwerte wurden nach der Methodik der kantonalen Studie relevante Ereignisse bestimmt und in Kapitel 4.2 aufgelistet. Für die exemplarischen Gemeinden und für unterschiedlich gruppierte Regionen wurde entsprechend dem Ansatz der kantonalen Studie versucht, Einsatzschwellenwerte abzuleiten. Ergebnisse sind in Kapitel 4.3 und 4.4 dargestellt. Ein alternativer Ansatz zur Bestimmung lokaler Niederschlagsschwellenwerte und entsprechende Ergebnisse werden in Kapitel 4.5 präsentiert.

4.1 Interviews mit Vertretern der Ortsfeuerwehren

Fünf Gemeinden wurden ausgewählt, um in Form von Interviews mit Vertretern der Ortsfeuerwehren die Situation der Ortsfeuerwehren im Detail erfassen und berücksichtigen zu können. Basierend auf den Erfahrungen aus den ersten vier Interviews in Bäretswil, Wädenswil, Winterthur und Stammheim wurde auf ein Interview mit Vertretern der Feuerwehr der Stadt Zürich verzichtet. Die Zusammenfassung der Interviews ist im folgenden Abschnitt wiedergegeben.

4.1.1 Kernaussagen der Interviews

Aus den Interviews mit Vertretern der Ortsfeuerwehren aus Bäretswil, Wädenswil, Winterthur und Stammheim liessen sich folgende Kernaussagen extrahieren:

- Der Anteil wasserbezogener Einsätze reicht von ca. 5% (Wädenswil) bis 25% (Bäretswil, Winterthur), bzw. 20-30% (Stammheim, inkl. Wasserrohrbrüche). Diese Zahlen variieren je nach Witterung von Jahr zu Jahr.
- Der Oberflächenabfluss/Versiegelungsgrad sowie die Jahreszeit sind relevant für die Anzahl wasserbezogener Einsätze. So verstopfen z.B. Hagel oder herabgefallene Blätter im Herbst die Abflüsse
- Die Gefahrenkarte Hochwasser und die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss sind wichtig. Gefahrenschwerpunkte werden nach und nach entfernt (kanalisierte Gewässer in Wädenswil; Thurkorrektur in Winterthur).
- Bei Neubauten in Gefahrenbereichen müssen Schutzmassnahmen ergriffen werden, z.B. Bau von Regenrückhaltebecken (Winterthur).
- Langanhaltende Niederschläge und die damit möglicherweise verbundenen notwendigen Massnahmen sind unter anderem mit Hilfe der verfügbaren Information zu Pegelständen und Abflüssen wichtiger Bäche und Flüsse gut planbar (Winterthur).
- Kurze Starkniederschläge haben ein grosses Schadenpotential in kurzer Zeit (Stammheim, Winterthur). Ihre räumliche Vorhersagbarkeit durch Wettermodelle ist bisher limitiert.
- Anzeichen für eine kritische Häufung bei wasserbezogenen Einsätzen gab es in Bäretswil und Stammheim. Die Anzahl verfügbarer Pumpen (Bäretswil) oder Fahrzeuge (Stammheim) wurde als limitierender Faktor genannt.
- Pumparbeiten sind die häufigsten wasserbezogenen Tätigkeiten.
- Private Fahrzeuge der Feuerwehrleute (z.B. Kleintransporter) kommen bei Bedarf zum Einsatz (Bäretswil, Wädenswil, Stammheim).
- Private Pumpen kommen bei Bedarf zum Einsatz (Bäretswil, Stammheim).
- Im ländlichen Raum ist die Möglichkeit zur Selbsthilfe grösser (Verfügbarkeit privater Pumpen, Fahrzeuge etc.).

- Zusätzliches Material aus Lagern der GVZ kann via ELZ angefordert werden (Bäretswil; Bachenbülach).
- Die Grundausrüstung durch die GVZ ist gut. Die Möglichkeit zusätzliches Material aus zentralen Lagern zu ordern ist ebenfalls gegeben.
- Die Verfügbarkeit von Material, Fahrzeugen und Mannschaft (hier aufgeführt in der Reihenfolge ihrer Bedeutung), sind relevant für die Bewältigung der Einsätze.
- Privatfirmen werden aufgebeten bei Verklausungen (Bäretswil, Stammheim) oder bei Bedarf an zusätzlichen (Gross-) Pumpen (Bäretswil, Stammheim).
- In keiner Gemeinde gibt es Zusammenarbeitsverträge für wasserbezogene Einsätze. Im Kanton ist die Nachbarschaftshilfe etabliert. Nachbarn sind bei wasserbezogenen Einsätzen allerdings oft selbst beschäftigt. Zudem gibt es Stützpunktfeuerwehren, die zusätzlich Mannschaft und Material zur Verfügung stellen können (siehe auch [Link](#)).
- Das Funktionieren der Zusammenarbeit zwischen Organisationen, Kanton/Gemeinde ist entscheidend bei herausfordernden Ereignissen. Regelmässige gegenseitige Besuche helfen hier (Stammheim).
- Es gibt bereits gute Warn-Apps z.B. von Bund, MeteoSchweiz und es gibt in diesem Zusammenhang keinen Handlungsbedarf (Wädenswil, Winterthur). Ein zeitlich hochaufgelöstes Abflussmonitoring (durch AWEL, BAFU) ist hilfreich bei drohenden Überschwemmungen.
- Die Feuerwehr arbeitet wie gewohnt und ist bei Alarm ohnehin schnell vor Ort. Bei vielen Einsätzen werden diese priorisiert und nacheinander abgearbeitet, ggf. wird ein Erkundungstrupp geschickt (Wädenswil, Winterthur).
- Die Einsatzliste der ELZ sollte mit sehr wenigen Ausnahmen vollständig sein. Lokal benachrichtigte Einsätze werden nachgemeldet (Bäretswil, Stammheim) oder sind die Ausnahme (Wädenswil).
- Das Erstellen von formellen Einsatzplänen wäre sinnvoll (Bäretswil).
- Die Disposition kann ein limitierender Faktor sein (Stammheim), vor allem wenn bei vielen laufenden Einsätzen noch ein Einsatz mit hoher Priorität dazukommt (z.B. mit Personengefährdung).
- Stammheim: Es kann passieren, dass bei einem Starkniederschlag/Gewitter beim Eintreffen in der Hauszentrale bereits eine relativ grosse Anzahl Alarme vorliegt. Deren Disposition unter Zeitdruck kann dann anspruchsvoll sein. Eine Vorwarnung für die Kader wäre in einem solchen Fall sinnvoll. Die Kader könnten sich dann noch vor Eintreffen der Alarme in die Hauszentrale begeben und die Planung vornehmen.

4.1.2 Folgerungen aus den Interviews

Aus den Kernaussagen der Interviews wurden die aufgeführten Folgerungen gezogen:

- Bei den befragten Ortsfeuerwehren sind im Zeitraum 11/2012 bis 01/2018 nur wenige Ereignisse aufgetreten, in deren Zusammenhang es eine kritische Häufung von Einsätzen hätte geben können.
- Zusätzliches Material aus privaten, kommerziellen Quellen hat eine grosse Bedeutung bei der Bewältigung herausfordernder Einsätze.
- Die Quantifizierung der Verfügbarkeit von Material und Mannschaft ist auf Grund der zusätzlichen privaten/informellen Quellen bzw. der starken Variabilität der Mannschaft (Abwesenheiten auf Grund von Berufstätigkeit, Feiertagen, Ferienzeit) schwer möglich.
- In keiner der befragten Gemeinden gibt es Zusammenarbeitsverträge für wasserbezogene Einsätze.

- Die Priorisierung und sequentielle Abarbeitung der Einsätze sind adäquate Mittel bei wasserbezogenen Ereignissen mit grosser Belastung.
- Die Erfahrungen hinsichtlich einer kritischen Häufung von Einsätzen und die damit verbundenen Verbesserungsvorschläge z.B. hinsichtlich Warn-Apps sind von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich.
- Auf lokaler Ebene waren vor allem kurze Starkniederschläge relevant. Deren räumliche Vorhersage durch Wettermodelle ist noch limitiert, da sie häufig sehr kleinräumig auftreten. Auf kantonaler Ebene war diese Limitierung auf Grund der räumlichen Skala weniger bedeutend.
- Die Definition allgemein gültiger Einsatzschwellenwerte auf lokaler Ebene ist nicht eindeutig möglich. Damit fehlt die quantitative Grundlage, um den Ansatz (Modellentwicklung) der kantonalen Studie auch auf lokaler Ebene verlässlich einzusetzen.

Die ausgewählten Gemeinden decken ein breites Spektrum hinsichtlich Einwohnerdichte, Anzahl wasserbezogene Einsätze, Lage im Kanton, Verteilung der 1-Tages Niederschlagssummen ab und können die verschiedenen Gemeinden im Kanton repräsentieren. Aufgrund des kurzen Betrachtungszeitraums, der wenigen darin aufgetretenen Ereignisse, der uneinheitlichen Ergebnisse sowie basierend auf der kleinen Anzahl Interviews ist eine Übertragung der Ergebnisse aus den Interviews auf andere kaum möglich.

4.2 Einsatzschwellenwerte und potentiell relevante Ereignisse

Analog zur kantonalen Studie sollten relevante Ereignisse und Einsatzschwellenwerte auf Gemeindeebene abgeleitet werden. Die Informationen aus den Interviews lassen erkennen, dass eine Quantifizierung der Verfügbarkeit von Material und Mannschaft für die Ortsfeuerwehren nicht möglich ist. Zusätzliches Material wird je nach Bedarf aus privaten und/oder kommerziellen Quellen bei herausfordernden Einsätzen organisiert. Die Verfügbarkeit der Mannschaft ist z.B. wegen Abwesenheit auf Grund von Berufstätigkeit, Feiertagen, Ferienzeit stark variabel. Ausserdem gibt es in keiner der untersuchten Gemeinden Zusammenarbeitsverträge für wasserbezogene Einsätze, die Anhaltspunkte auf eine Auslastung der Feuerwehr geben könnten. Die Definition eindeutiger Einsatzschwellenwerte auf lokaler Ebene ist basierend auf den verfügbaren Informationen kaum möglich.

Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass bestimmte Niederschlagsereignisse bei den lokalen Ortsfeuerwehren eine Häufung von Einsätzen ausgelöst haben. Es kann weiter davon ausgegangen werden, dass die Anzahl Einsätze, ab der die Situation für eine Ortsfeuerwehr herausfordernd werden kann u. a. von der Gemeindegrösse, der Gemeindefläche, der Grösse der Feuerwehr und dem verfügbaren Material abhängt und daher von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich ist.

Im Zeitraum von 11/2012 bis 01/2018 wurden die ESW50, ESW25 und ESW10 auf kantonaler Ebene jeweils in 8, 20, 27 Zeitperioden überschritten. Die ermittelten Ereignisse für ESW10 sind in Tabelle 1 aufgelistet, Ereignisse für ESW50 und ESW25 sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgeführt. Die Kategorisierung der Ereignisse basiert auf dem Modus der einzelnen Einsätze. Eine Zuweisung mehrerer Kategorien wurde im Unterschied zur kantonalen Studie nicht vorgenommen.

Tabelle 1: Ereignisse mit 10 (ESW10) oder mehr Einsätzen innerhalb von sechs Stunden (27 Ereignisse, chronologisch sortiert). Kategorie 1 «langandauernder Niederschlag», Kategorie 2 «kurzer Starkniederschlag». «Anteil» definiert den Anteil der Einsätze an der Gesamtzahl der Einsätze in %.

von	bis	Kategorie	#Einsätze	Anteil
02.05.2013 19:00	03.05.2013 00:00	2	536	8.4
03.05.2013 08:00	03.05.2013 08:00	2	13	0.2
06.05.2013 19:00	06.05.2013 19:00	2	22	0.3
01.06.2013 02:00	01.06.2013 21:00	1	331	5.2
18.06.2013 21:00	18.06.2013 21:00	2	26	0.4
23.07.2013 19:00	23.07.2013 19:00	2	12	0.2
06.08.2013 19:00	06.08.2013 19:00	1	15	0.2
25.04.2014 19:00	25.04.2014 19:00	2	13	0.2
12.06.2014 22:00	12.06.2014 22:00	2	19	0.3
13.06.2014 21:00	13.06.2014 21:00	2	11	0.2
13.07.2014 00:00	13.07.2014 09:00	2	101	1.6
22.07.2014 09:00	22.07.2014 18:00	1	135	2.1
28.07.2014 18:00	28.07.2014 20:00	2	56	0.9
21.10.2014 21:00	21.10.2014 21:00	1	27	0.4
07.06.2015 22:00	08.06.2015 09:00	2	427	6.7
14.08.2015 17:00	14.08.2015 17:00	1	15	0.2
27.05.2016 20:00	27.05.2016 20:00	2	24	0.4
07.06.2016 17:00	07.06.2016 18:00	2	29	0.5
24.06.2016 21:00	24.06.2016 22:00	2	60	0.9
22.07.2016 15:00	22.07.2016 15:00	2	13	0.2
24.07.2016 21:00	24.07.2016 21:00	2	26	0.4
02.06.2017 19:00	02.06.2017 20:00	2	43	0.7
09.07.2017 19:00	09.07.2017 20:00	2	44	0.7
22.07.2017 23:00	22.07.2017 23:00	2	28	0.4
02.08.2017 02:00	02.08.2017 03:00	2	43	0.7
18.08.2017 19:00	18.08.2017 19:00	2	21	0.3
03.01.2018 10:00	03.01.2018 14:00	1	113	1.8

4.3 Niederschlagsschwellenwerte auf lokaler Ebene

Für die Festlegung der Niederschlagsschwellenwerte wurden Eigenschaften der Verteilungen (Quantile 10, 25, 50, 75, 90) der Niederschlagskennwerte der Summen und Maxima in Boxplots und die Mediane der relevanten Ereignisse als farbige Linien dargestellt. In der kantonalen Studie lagen die Mediane der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse (dargestellt durch die Linien in Abbildung 13) in den oberen Quantil-Bereichen aller Ereignisse und ermöglichten damit eine nachvollziehbare und konsistente Ableitung der Einsatzschwellenwerte für die beiden Ereigniskategorien. Dieselbe Herangehensweise wurde auch auf Gemeindeebene verfolgt. Die Ergebnisse für die fünf ausgewählten Gemeinden für ESW10 sind in Abbildung 15 dargestellt. Ergebnisse für ESW50 und ESW25 sind in Abbildung 20 und Abbildung 21 aufgeführt.

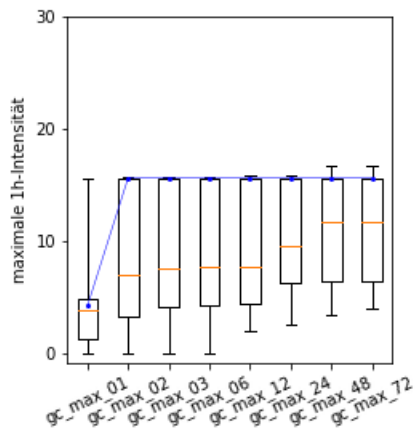
Im Vergleich zur kantonalen Studie sind pro Gemeinde und je nach Einsatzschwellenwert weniger relevante Niederschlagsereignisse aufgetreten. Der Vergleich der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse mit den Niederschlagskennwerten aller Ereignisse zeigt ausserdem, dass Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse insbesondere für langanhaltende Niederschläge nicht im Bereich des 90 % Quantils liegen und somit weniger «aussergewöhnlich» waren (Abbildung 15).

Die Verlässlichkeit eines auf der verfügbaren Datenbasis festgelegten lokalen Niederschlags-schwellenwertes ist kleiner als in [1]. Dies ist v.a. auf den kurzen Untersuchungszeitraum zurück-zuführen. Ausserdem können lokale Gegebenheiten (u.a. Entschärfung von wiederkehrenden Gefahrenstellen durch bauliche Massnahmen, z.B. in Wädenswil) oder Besonderheiten der Ereig-nisse (nicht eindeutige Kategorisierung, Hagel- oder Sturmereignis mit relativ niedrigen Stunde-summen) eine Ursache sein.

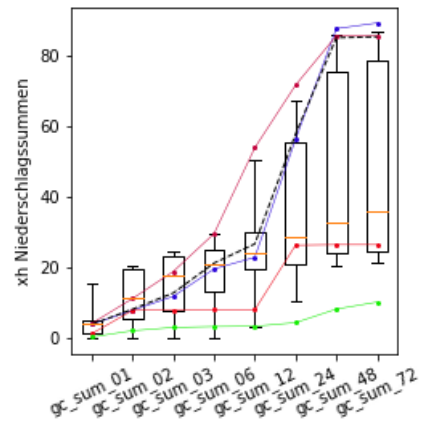
Eine Weiterführung der Dokumentation der Einsätze ist wichtig, um die Datenlage auf Gemein-deebene zu verbessern damit in Zukunft ähnlich gesicherte Aussagen wie auf der kantonalen Ebene getroffen werden können.

Einsatzschwellenwert 10

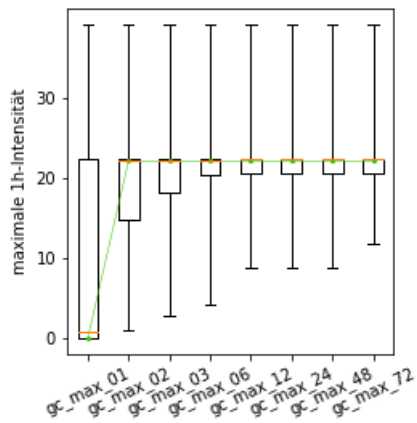
Bäretswil, kurze Starkniederschläge



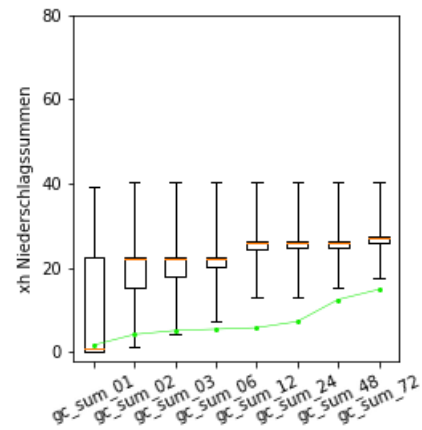
Bäretswil, langandauernde Niederschläge.



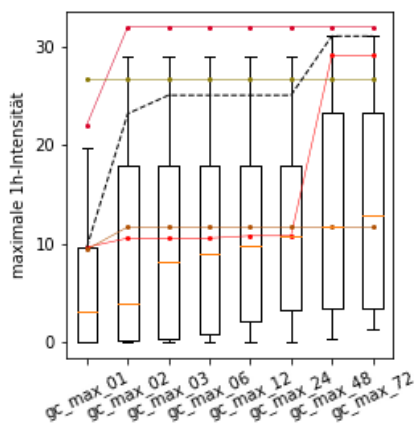
Stammheim, kurze Starkniederschläge



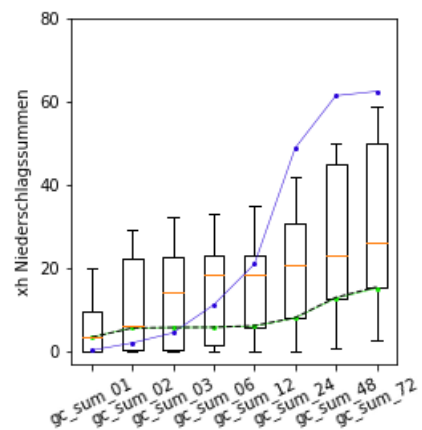
Stammheim, langandauernde Niederschläge.



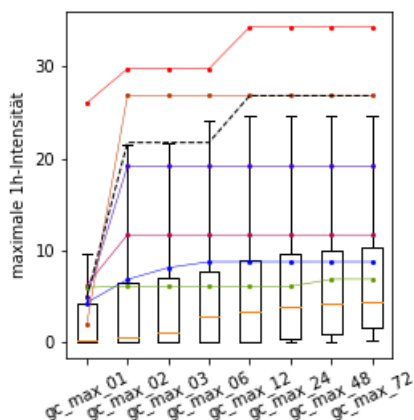
Wädenswil, kurze Starkniederschläge



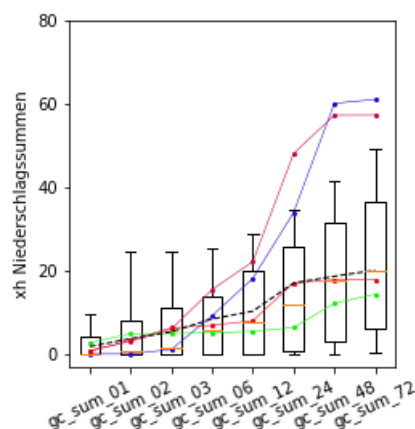
Wädenswil, langandauernde Niederschläge.



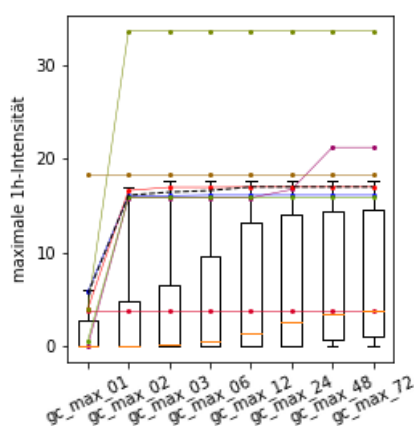
Winterthur, kurze Starkniederschläge



Winterthur, langandauernde Niederschläge.



Zürich, kurze Starkniederschläge



Zürich, langandauernde Niederschläge.

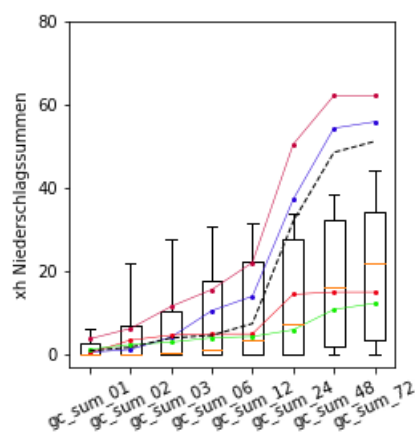


Abbildung 15: Vergleich der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse mit **10 und mehr Einsätzen** innerhalb von 6 Stunden (die Mediane der relevanten Ereignisse sind als gepunktete, farbige Linien dargestellt) mit den Niederschlagskennwerten aller anderen Ereignisse mit wasserbezogenen Einsätzen (Box-Whisker Plots) für die fünf ausgewählten Gemeinden Bärenswil, Stammheim, Wädenswil, Winterthur und Zürich. Abbildungen in der linken Spalte beziehen sich auf kurze Starkniederschläge, Abbildungen in der rechten Spalte auf langandauernde Niederschläge. Sofern die Gemeinde von mehr als einem relevanten Niederschlagsereignis betroffen war, ist ausserdem der Median über alle mit den Ereignissen verbundenen Einsätze dargestellt (schwarze gestrichelte Linie). (gc_max_01 bis gc_max_72 bezeichnen die maximale 1h-Intensität in den 1 bis 72 h vor dem jeweiligen Einsatz; gc_sum_01 bis gc_sum_72 bezeichnet die Niederschlagssumme in den 1 bis 72 h vor jedem Einsatz).

4.4 Niederschlagsschwellenwerte auf regionaler Ebene – Gruppierung der Gemeinden

Ein zusätzlicher Ansatz zur Ermittlung von Niederschlagsschwellenwerten basierend auf einer Gruppierung der Gemeinden wurde verfolgt. Dabei wurden die Daten mehrerer Gemeinden mit ähnlichen Eigenschaften zusammen ausgewertet, um eine grössere Anzahl relevanter Ereignisse betrachten zu können. Für die Gruppierung wurden unterschiedliche Kriterien berücksichtigt:

1. die Raumordnungseinheiten des Kantons (Zürcher Unterland vs. Zürcher Oberland [8])
2. die Anzahl Tage, an denen in der jeweiligen Gemeinde die Niederschlagsschwellenwerte der kantonalen Studie überschritten wurden. Mit dem letztgenannten Kriterium konnte z.B. die Verteilung der Niederschläge im Kanton Zürich berücksichtigt werden.

Für diesen Gruppierungsansatz wurden die Niederschlagsschwellenwerte der kantonalen Studie für kurzen Starkniederschlag und langanhaltenden Niederschlag (03rmax bzw. 12rsum) auf die Zeitreihen der Niederschlagskennwerte jeder Gemeinde angewendet und die Tage gezählt, an denen die Schwellenwerte überschritten wurden (Abbildung 16).

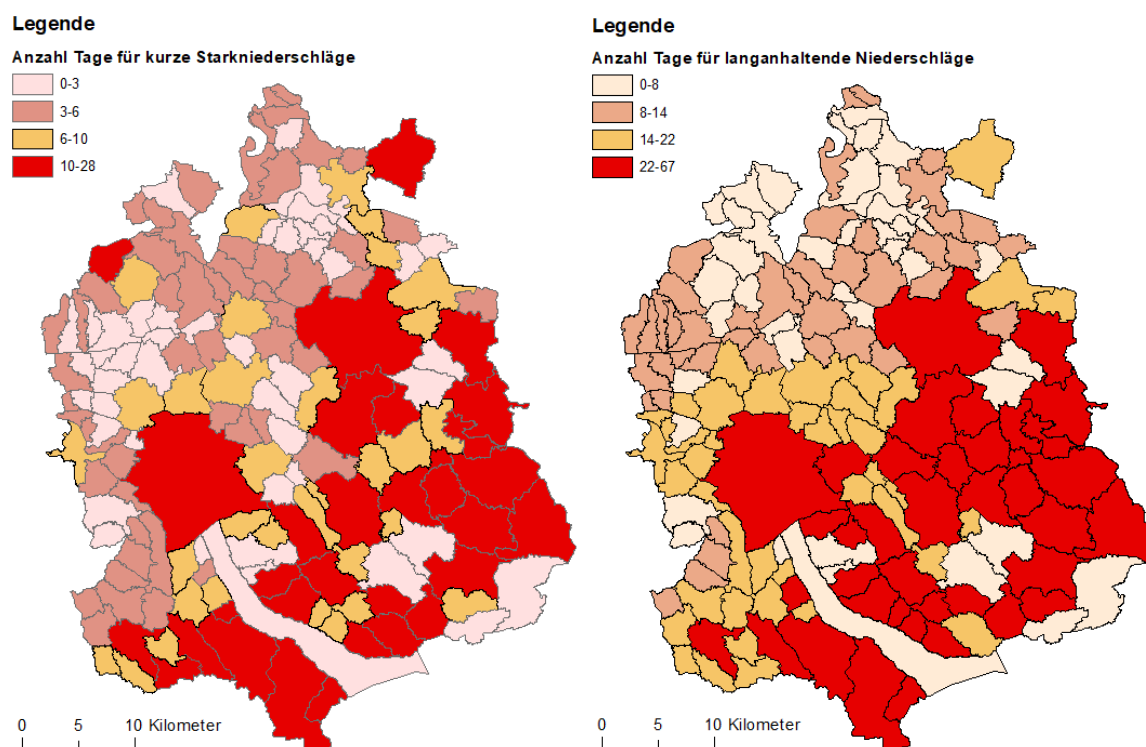


Abbildung 16: Anzahl Tage mit Überschreitung des kantonalen Niederschlagsschwellenwertes für kurze Starkniederschläge (links) und langanhaltende Niederschläge (rechts). Die Gruppierung/Klassierung erfolgt entlang der Quartilsgrenzen.

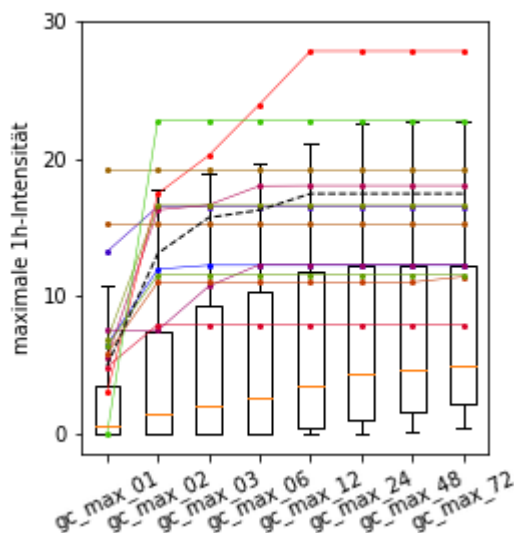
Zu diesem Zweck wurden Niederschlagsdaten für den gesamten Untersuchungszeitraum benötigt. Aus der kantonalen Studie standen jedoch nur Niederschlagskennwerte für die Zeitpunkte der Ereignisse zur Verfügung. Daher wurde für jede Gemeinde aus den räumlich geglätteten Niederschlagsrastern (gewichtetes Mittel über 3x3 Zellen, 1x1 km, stündliche Auflösung) eine Zeitreihe der Kennwerte für kurzen Starkniederschlag (03rmax) und langanhaltenden Niederschlag (12rsum) mit täglicher Auflösung berechnet. Aus den Flächendaten wurden Maxima für die Gemeindeflächen, aus den stündlichen Werten Tagesmaxima ermittelt. Die Anzahl Tage mit Überschreitung wurde dann basierend auf den Quartilsgrenzen gruppiert (siehe Legenden in Abbildung 16). Zusätzlich wurden für spätere Auswertungen (siehe Kapitel 4.4) die Gemeinden in zwei Gruppen eingeteilt (Gruppe 1; <0.5 -Quantil, Gruppe 2; ≥ 0.75 -Quantil, Gemeinden zwischen ≥ 0.5 und < 0.75 -Quantilen wurden nicht berücksichtigt). Generell lässt sich ein von Nordwest nach Südost ausgeprägtes Muster der Häufigkeit der Überschreitung der Niederschlagsschwellenwerte erkennen. Das heisst, die Gemeinden mit den häufigsten Überschreitungen liegen überwiegend im südöstlichen Teil des Kantons. Ein sehr ähnliches Muster ist auch bei den 1-Tages Niederschlagssummen (mm) für ein 100-jährliches Ereignis wiederzuerkennen (Abbildung 7). Dies verdeutlicht die Rolle des räumlichen Musters der Niederschlagsverhältnisse für die Überschreitung der Niederschlagsschwellenwerte der kantonalen Studie auf Gemeindeebene.

Für beide Gruppierungsansätze wurden, der Methodik der kantonalen Studie folgend, die Niederschlagskennwerte ermittelt. (Abbildung 17 für 03rsum und Abbildung 18 für 12rsum). Diese Untersuchung sollte zeigen, ob sich jeweils für die beiden Gruppen Niederschlagsschwellenwerte ableiten lassen und ob sich diese unterscheiden. Letzteres würde z.B. auf den Einfluss der Niederschlagsverteilung auf die Niederschlagsschwellenwerte hindeuten.

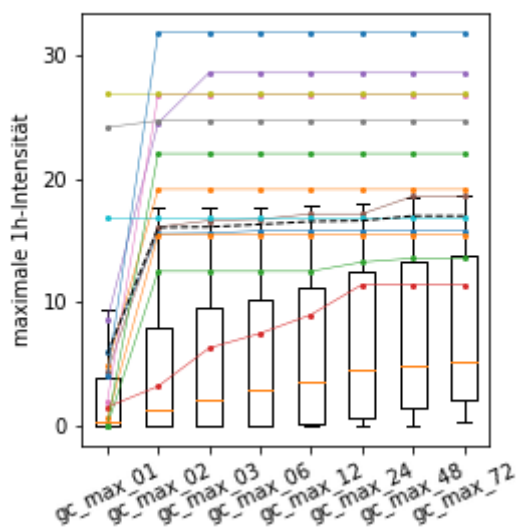
kurze Starkniederschläge

Gemeinden mit Überschreitung des NSW der kantonalen Studie Anzahl Tage ≤ 6 (Gruppierung; siehe Abbildung 16 links)

Gemeinden mit Überschreitung des NSW der kantonalen Studie Anzahl Tage > 10 (Gruppierung; siehe Abbildung 16 links)



Zürcher Unterland



Zürcher Oberland

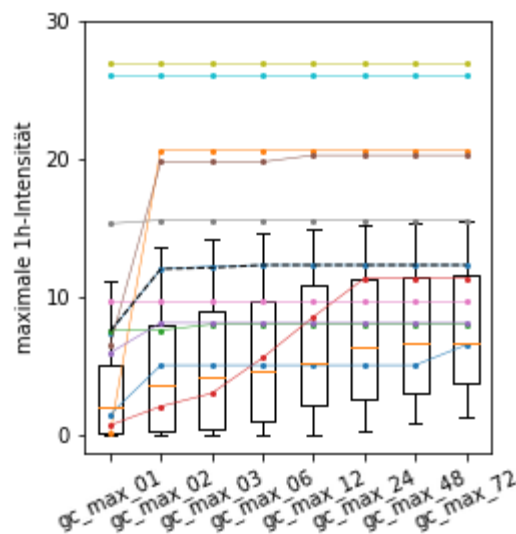
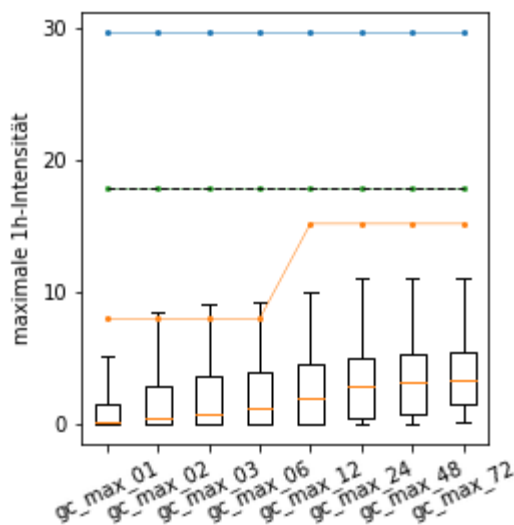


Abbildung 17: Gegenüberstellung der Niederschlagskennwerte der relevanten Niederschlagsereignisse für einen Einsatzschwellenwert 10 (Tabelle 1) zwischen 11/2012 und 01/2018 (farbige Linien) sowie des Medians der Niederschlagskennwerte aller damit verbundenen Einsätze (schwarz gestrichelte Linie) und der Verteilung der Niederschlagskennwerte für alle Niederschlagsereignisse (Boxplots) für **kurze Starkniederschläge** für ausgewählte Gemeinden. Die Auswahl basiert auf der Überschreitung des kantonalen Niederschlagsschwellenwertes für kurze Starkregenfälle (obere Zeile, weitere Details zur Gruppierung im Text und in Abbildung 16 links) und Raumplanungsregionen (untere Zeile, Unter- vs. Oberland, [9]).

Für Gemeinden mit einer Überschreitung des Niederschlagsschwellenwertes der kantonalen Studie an > 10 Tagen (rechte Abbildung in der oberen Zeile in Abbildung 17) liegen viele der relevanten Ereignisse und auch der Median ab gc_max_02 im Bereich des 90% Quantils. Die Festlegung eines regionalen Schwellenwertes von 15-18 mm/h wäre denkbar. Die Ähnlichkeit mit dem Niederschlagsschwellenwert der kantonalen Studie lässt sich wahrscheinlich dadurch erklären, dass

auch die Herleitung des kantonalen Schwellenwertes von den gleichen Ereignissen im südlichen Teil des Kantons geprägt war.

Die Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse im Zürcher Oberland (Abbildung 17, untere Zeile rechts) und in Gemeinden mit einer Überschreitung des Niederschlagsschwellenwertes der kantonalen Studie (Anzahl Tage ≤ 6 , Abbildung 17, obere Zeile links) sind weniger klar von den Niederschlagskennwerten aller anderen Ereignisse (Boxplots) abzugrenzen. Im Zürcher Unterland waren wenig Daten verfügbar (Abbildung 17 untere Zeile links, siehe dazu auch Abbildung 6).

langandauernde Niederschläge

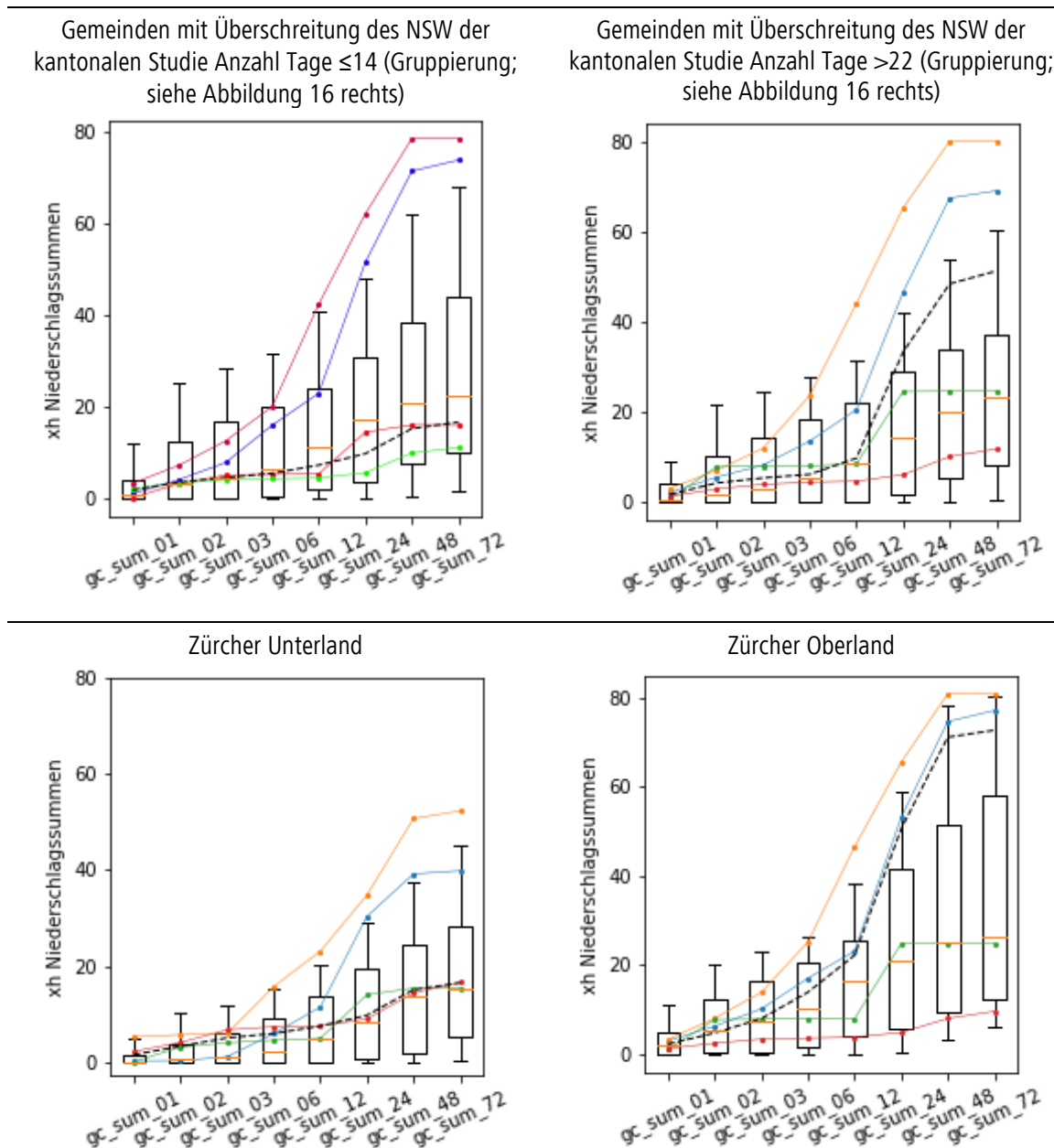


Abbildung 18: Gegenüberstellung der Niederschlagskennwerte der relevanten Niederschlagsereignisse für einen Einsatzschwellenwert 10 (Tabelle 1) zwischen 11/2012 und 01/2018 (farbige Linien) sowie des Medians der Niederschlagskennwerte aller damit verbundenen Einsätze (schwarz gestrichelte Linie) und der Verteilung der Niederschlagskennwerte für alle Niederschlagsereignisse (Boxplots) für **langandauernde Niederschläge** für ausgewählte Gemeinden. Die Auswahl basiert auf der Überschreitung des kantonalen Niederschlagsschwellenwertes für langandauernde Niederschläge (obere Zeile, weitere Details zur Gruppierung im Text und in Abbildung 16 rechts) und Raumplanungsregionen (untere Zeile, Unter- vs. Oberland, [8]).

Sowohl für Gemeinden mit einer Überschreitung des Niederschlagsschwellenwertes der kantonalen Studie an ≤ 14 Tagen als auch für Gemeinden im Zürcher Unterland liegt der Median der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse im Bereich des oder sogar unterhalb des Medians. Ein Schwellenwert lässt sich hier nicht ableiten. Sowohl für Gemeinden mit einer Überschreitung des Niederschlagsschwellenwertes der kantonalen Studie an > 22 Tagen, als auch für Gemeinden im Zürcher Oberland sind die Mediane ab gc_sum_24 im Bereich des 90% Quantils. Allerdings ist die Anzahl der relevanten Ereignisse klein.

Die Auswertung zeigte, dass mit einem grösseren Datensatz eine Ableitung von Niederschlagschwellenwerten grundsätzlich besser möglich ist. Für den südlichen Teil des Kantons Zürich (Zürcher Oberland) ergaben sich ähnliche Niederschlagsschwellenwerte wie auf kantonaler Ebene. Dies liegt vermutlich darin begründet, dass der kantonale Niederschlagsschwellenwert stark durch die in den südlichen Kantonsgemeinden aufgetretenen Ereignisse geprägt ist. Für den Rest der Gemeinden (z.B. Zürcher Unterland) war eine Ableitung eines regionalen Niederschlagsschwellenwertes schwieriger.

4.5 Niederschlagsschwellenwerte auf lokaler Ebene – alternativer Ansatz

Zusätzlich zu den bisherigen Untersuchungen wurde ein alternativer Ansatz zur Abschätzung lokaler Niederschlagsschwellenwerte entwickelt. Dieser Ansatz beruht auf der Überlegung, dass ein lokaler Niederschlagsschwellenwert über jene Niederschlagskennwerte festgelegt werden kann, bei denen ein markanter Anstieg von Einsätzen in der jeweiligen Gemeinde zu verzeichnen ist. Der Vorteil liegt darin, dass vorab kein fixer Einsatzschwellenwert (z.B. ESW50, ESW25, ESW10) definiert werden muss und alle Ereignisse mit wasserbezogenen Einsätzen in der Auswertung berücksichtigt werden.

Wie für den zweiten Gruppierungsansatz in Kapitel 4.4, wurden für jede Gemeinde aus den räumlich geglätteten Niederschlagsrastern eine Zeitreihe der Kennwerte für kurzen Starkniederschlag (O3rmax) und langanhaltenden Niederschlag (12rsum) mit täglicher Auflösung berechnet.

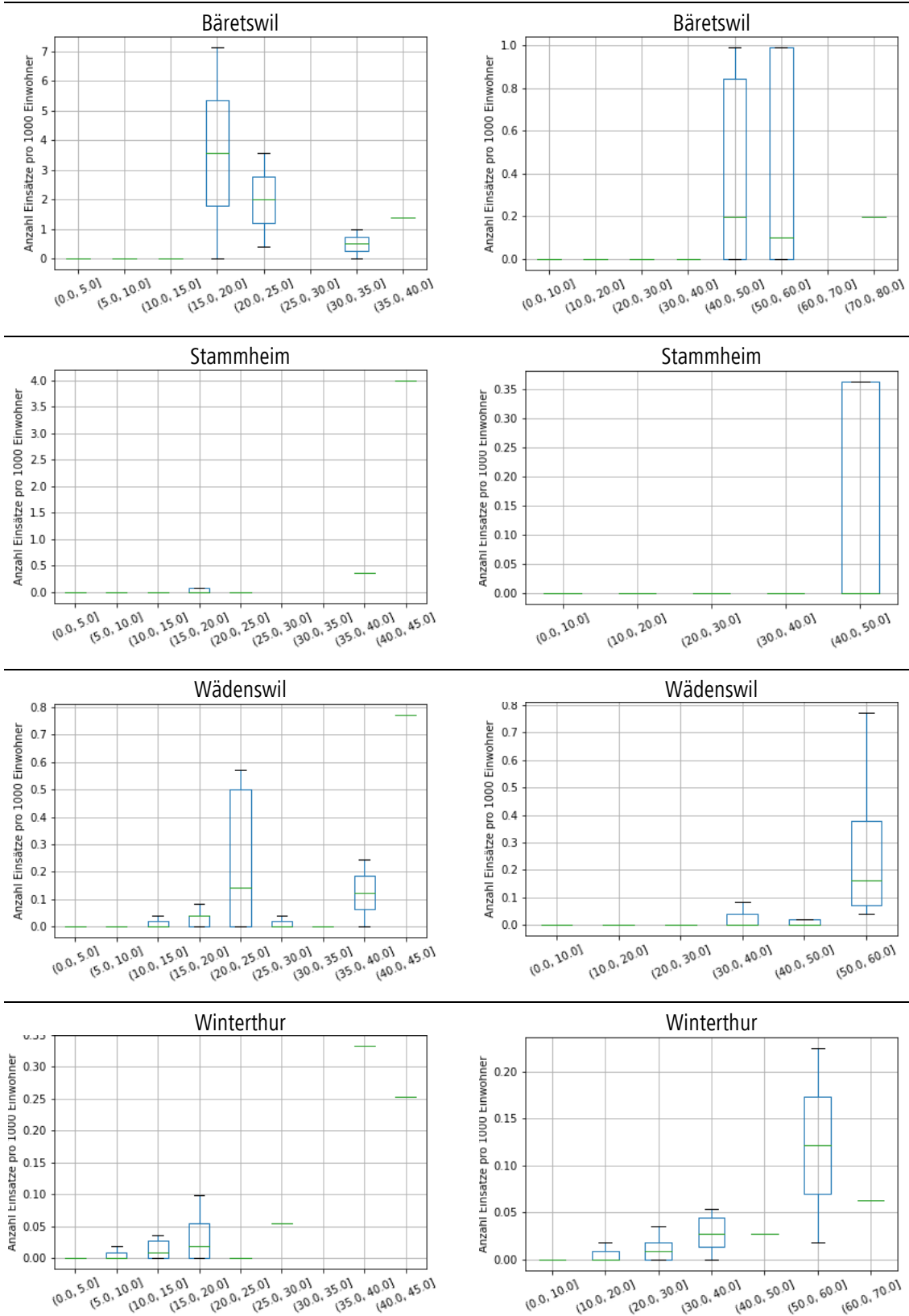
Daraufhin wurden Niederschlagsereignisse abgegrenzt: Dabei wurde definiert, dass niederschlagsfreie Pausen von mindestens 6 Stunden Länge einzelne Niederschlagsereignisse voneinander trennen. Aus der kantonalen Studie ist bekannt, dass Notrufe relativ schnell nach dem Einsetzen von Niederschlägen, teilweise schon in der ersten Stunde, erfolgen. Ausserdem ist bekannt, dass möglicherweise noch Stunden nach dem letzten Niederschlag Notrufe eingehen. Als Ende eines Niederschlagsereignisses wurde für den alternativen Ansatz daher der Zeitpunkt des nächsten Niederschlagsereignisses minus 1 Stunde gewählt.

Für jede Gemeinde wurde für jedes Niederschlagsereignis, auch für jene ohne Einsätze, das Maximum der Niederschlagskennwerte ermittelt. Die resultierenden Werte wurden in Klassen eingeteilt (z.B. 0 bis 5 mm, 5 bis 10 mm etc.). Für alle Ereignisse einer Klasse wurden Quantile der Anzahl der zugehörigen Einsätze berechnet und als Boxplot dargestellt. Die entsprechenden Ergebnisse für die fünf Gemeinden sind in Abbildung 19 dargestellt. Nun wurde geprüft, ob ein markanter Anstieg von Einsätzen in einer Gemeinde festgestellt werden kann und mit welchen Niederschlagskennwerten dieser Anstieg verbunden ist.

Eine Abhängigkeit der Anzahl Einsätze vom Niveau des Niederschlagskennwertes O3rmax (maximale Niederschlagsintensität in den 3 Stunden vor dem Einsatz, linke Spalte in Abbildung 19) ist in Ansätzen für Wädenswil, Winterthur und Zürich erkennbar. Für Wädenswil und Winterthur ist dies auch für den Niederschlagskennwert 12rsum (12 h Niederschlagssumme vor dem Einsatz, rechte Spalte in Abbildung 19) einigermaßen gut möglich. In diesen Gemeinden sind die meisten Einsätze aufgetreten. In den anderen Gemeinden war die Zahl der Einsätze geringer und der Zusammenhang weniger ausgeprägt. Insgesamt scheint eine belastbare Abschätzung eines Niederschlagsschwellenwertes für die einzelnen Gemeinden basierend auf diesem zweiten Ansatz ebenfalls schwierig und wenn, dann nur für einzelne Gemeinden mit sehr guter Datenlage sinnvoll.

Kurze Starkniederschläge

langanhaltende Niederschläge



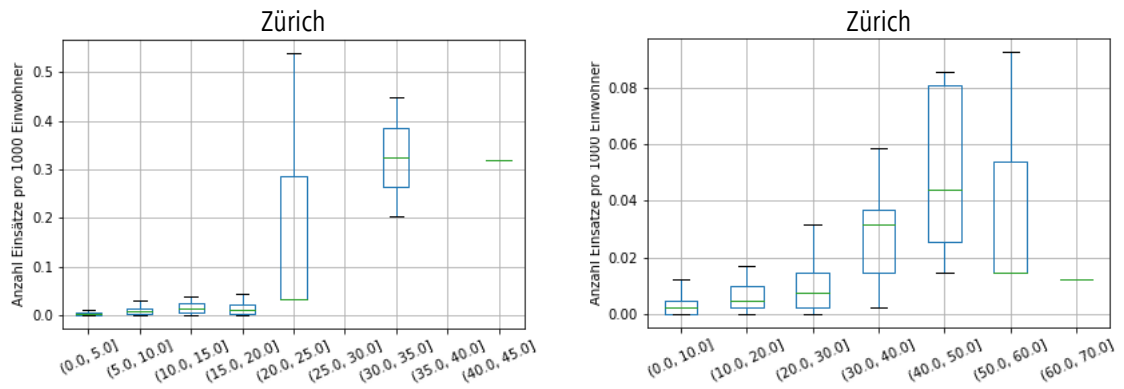


Abbildung 19: Alternativer Ansatz zur Abschätzung der Niederschlagsschwellenwerte. Dargestellt ist die Abhängigkeit der Anzahl Einsätze von den Niederschlagskennwerten 03rmax (links) und 12rsum (rechts) für die ausgewählten Gemeinden (Bäretswil, Stammheim, Wädenswil, Winterthur, Zürich). Berechnet wurden Boxplots aller Einsätze gruppiert nach Wertebereichen der Niederschlagskennwerte (03rmax und 12rsum) für alle Niederschlagsereignisse im ausgewerteten Zeitraum 11/2012 bis 01/2018.

5 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass v.a. die Datenlage zu den dokumentierten Ereignissen darüber entscheidet, ob und wie gut Aussagen zu Niederschlagsschwellenwerten und einer Häufung von Einsätzen auf lokaler Ebene möglich sind. In diesem Zusammenhang ist eine gute Dokumentation entscheidend. Eine Datenreihe muss sowohl die Länge des Betrachtungszeitraums als auch das Auftreten grösserer relevanter Ereignisse im entsprechenden Betrachtungszeitraum und in der entsprechenden Region abdecken.

Da in der kantonalen Studie [1] sehr gute Aussagen getroffen werden konnten, erscheint eine Übertragung des Vorgehens auf ähnlicher Skala, also z.B. auf kantonomer Ebene, sinnvoll und naheliegend. Es ist allerdings davon auszugehen, dass sich Einsatzschwellenwerte und damit verbundene Niederschlagsschwellenwerte nicht ohne weiteres übertragen lassen, sondern sich von Kanton zu Kanton unterscheiden. Massgebende Einflussgrössen sind nicht nur die naturräumlichen Gegebenheiten, sondern auch die Organisationsstruktur der Einsatzkräfte. Vorab wäre zu klären, welche Kantone über ein ähnliches, zentral organisiertes Meldesystem zur Einsatzkoordination verfügen, und wie gut die Einsätze in der Vergangenheit dokumentiert wurden. Weitere wichtige Bedingungen sind die Länge der Zeitreihe sowie das Auftreten grösserer Ereignisse im Betrachtungszeitraum.

Der Mehrwert einer Untersuchung anderer Kantone mit der gleichen Vorgehensweise wie in der kantonalen Studie [1] wäre dahingehend, dass Grundlagen zur besseren Planbarkeit geschaffen würden und die für den Kanton Zürich festgelegten Schwellenwerte weiter geprüft werden könnten. Ein Vergleich mehrerer Kantone basierend auf der gleichen Methodik würde den Mehrwert einer langfristigen Ereignis- und Einsatzdokumentation aufzeigen und ausserdem helfen, die Methodik zu optimieren und weiterzuentwickeln.

Grundsätzlich ist die Methodik aus [1] auch auf andere Organisationen anwendbar, die Einsätze im Zusammenhang mit Bevölkerungsschutz durchführen. Ein Überblick über die Situation auf nationaler Ebene wäre v.a. für die Planung und Koordination der Einsätze und nationaler Ressourcen bei grossflächigen Katastrophensituationen interessant. Weiter könnten auch Betreiber wichtiger Infrastrukturanlagen wie zum Beispiel von Verkehrswegen, oberirdischen Leitungssystemen, Sendeanlagen etc. an individuell ermittelten Einsatzschwellenwerten interessiert sein. So kann zum Beispiel das Personal für den Pikettdienst bedarfsgerechter organisiert und damit Ressourcen eingespart werden.

Einen wichtigen Aspekt für weiterführende Studien im Zusammenhang mit der Optimierung der Einsatzplanung stellen die in Zukunft veränderten klimatischen Rahmenbedingungen dar. Zum Zeitpunkt der kantonalen Studie [1] waren die Informationen über die Entwicklung von Niederschlagsextremen noch mit grossen Unsicherheiten behaftet und Aussagen bezüglich Häufigkeit und Intensität vor allem von kurzen Starkniederschlägen schwer möglich. Für langanhaltende Niederschläge wurde gestützt auf Daten von Scherrer et al. [10] von einer Zunahme um 10% bis 2040 ausgegangen. Die damit verbundene Änderung der Einsatzzahlen wurde als relativ gering eingestuft. Für einen längeren Betrachtungshorizont bis Ende des Jahrhunderts ist jedoch, abhängig vom Emissionsszenario, von einer stärkeren Zunahme der langanhaltenden Niederschläge und damit auch grösseren Auswirkungen auf die Einsatzzahlen auszugehen.

Die Qualität der verfügbaren Informationen zu den zukünftigen klimatischen Bedingungen und besonders zur Entwicklung von Niederschlagsextremen, hat sich mit der Publikation der Klimaszenarien CH2018 [11] allerdings deutlich verbessert. Mit den Klimaszenarien CH2018 und den dafür aufbereiteten Datensätzen stehen flächendifferenzierte Informationen zur zukünftigen Entwicklung von Starkniederschlägen zur Verfügung. Damit sollten verlässliche und regional differenzierte Aussagen über Veränderungen seltener Niederschlagsereignisse hoher Intensität oder Dauer möglich sein. Die kurzfristige Entwicklung ist zwar relativ unsicher und möglicherweise vor allem von der Variabilität des Klimasystems dominiert. Jedoch wird die Intensität 100-jährlicher langanhaltender Niederschläge, abhängig von Emissionsszenario, Jahreszeit und Region, in der Schweiz bis Ende des Jahrhunderts um 10 bis 25% zunehmen [11].

Die Klimaszenarien CH2018 lassen verlässlichere Aussagen über die Verhältnisse in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zu. Diese umfassen eine Zeitperiode, in der Klimaänderungen deutlicher spürbar sein werden. Es ist wahrscheinlich, dass mit diesen Änderungen die Zahl der Ereignisse mit einer Häufung von Einsätzen von Blaulichtorganisationen zunehmen wird. Damit werden nicht nur veränderte Anforderungen für die bereitstehenden Einsatzkräfte, sondern auch steigenden Kosten verbunden sein. Diese Entwicklung frühzeitig zu erkennen und einzuordnen ist ein wesentlicher Bestandteil eines vorrausschauenden Bevölkerungsschutzes.

Referenzierte Dokumente

- [1] BABS Hrsg. / geo7 AG (2019): Starkniederschläge und Einsatzplanung von Schutz & Rettung Zürich – Studie im Rahmen des National Centre for Climate Services NCCS. Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), Bern.
- [2] Einsatzdaten Schutz & Rettung Zürich 06.07.2005–07.01.2018. Unveröffentlichte Daten
- [3] CombiPrecip Niederschlagsdaten MeteoSchweiz. Hourly Precipitation Estimation through Raingauge-Radar: CombiPrecip. https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/produkt/raeumliche-daten-combiprecip/doc/ProdDoc_Combi-Precip.pdf Stand: 20.12.2020
- [4] Naturgefahrenkarte Wasser. Geographisches Informationssystem des Kanton Zürich (GIS-ZH). <http://www.geolion.zh.ch/geodatensatz/784> Stand: 01.01.2017
- [5] geo7 (2018): Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz im Auftrag von BAFU SVV, KGV <https://map.geo.admin.ch> Stand: 01.07.2018
- [6] Amtliche Vermessungsdaten AV DM01-ZH, Grunddatensatz. Geographisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH). <https://geolion.zh.ch/geodatenprodukt/1035> Stand: 26.06.2018
- [7] Bevölkerungsverteilung 2010. Hektardaten aus GEOSTAT (STATPOP 2010).
- [8] Gebäudeversicherung Kanton Zürich GVZ (2019): Zusammenarbeit https://www.gvz.ch/_file/1154/foлие-104-01-01-2019-zusammenarbeit.pdf Stand 2020.12.2020
- [9] Bundesamt für Statistik (2005): Die Raumgliederungen der Schweiz <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/342284/master> Stand 2020.12.2020
- [10] Scherrer, S. C., Fischer, E. M., Posselt, R., Liniger, M. A., Croci-Maspoli, M., Knutti, R. (2016): Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland. Journal of Geophysical Research Atmosphere 121.
- [11] CH2018 (2018), 10 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp.

Anhang A

Anhang A.1 Fragenkatalog Interviews

1. Name der Gemeinde
2. Handelt es sich um eine Berufs- oder eine freiwillige Feuerwehr?
 - a. Berufsfeuerwehr
 - b. Freiwillige Feuerwehr
3. Wie gross ist (ungefähr) der Anteil wasserbezogener Einsätze an der Gesamtzahl der Einsätze?
4. Welches sind die häufigsten wasserbezogenen Einsätze (Nummerierung nach Relevanz)?
 - a. Pumparbeiten/Wasser im Gebäude
 - b. Installation mobiler Schutzbauten
 - c. Entfernen von Verklausungen/Aufräumarbeiten
 - d. Ableitung Hochwasser in Überschwemmungsbereiche
 - e. Wartung/Beaufsichtigung Dämme
 - f. Sicherung von Gefahrenbereichen
 - g. Weitere?
5. Gibt es in der Gemeinde «Hotspots» für wasserbezogene Einsätze (z.B. bestimmte Bachabschnitte)? Falls ja, welcher Art (eine kurze Beschreibung wäre hilfreich)?
6. Kommt es auf Gemeindegebiet bei wasserbezogenen Einsätzen häufiger zu Einschränkungen in der Nutzung von Zufahrtsstrassen, also der Erreichbarkeit bestimmter Gebiete? Falls ja, was ist/sind die Ursache/n (z.B. Überschwemmung der Strasse)?
7. Welche Ressourcen sind relevant für wasserbezogene Einsätze (Wasser im Gebäude, Hochwasser)?
8. Welche Ressourcen sind limitierend bei wasserbezogenen Einsätzen (Wasser im Gebäude, Hochwasser)?
9. Wieviel Fahrzeuge stehen für wasserbezogene Einsätze (Wasser im Gebäude, Hochwasser) zur Verfügung?
10. Wie gross ist die verfügbare Mannschaft?
11. Wieviel Pumpen stehen zur Verfügung?
12. Bei wie vielen gleichzeitigen Einsätzen wird eine Belastungsgrenze erreicht (Einsatzschwellenwert)?
13. Bei welcher Art wasserbezogener Einsätze wird die Belastungsgrenze am ehesten erreicht?
14. Gibt es Zusammenarbeits-/Anschlussverträge? Wenn ja: Wann wurden Zusammenarbeits-/Anschlussverträge in Anspruch genommen (Datum, Anzahl Einsätze im Zeitraum)?
15. Welche Ereignisse waren zum Beispiel eine Herausforderung? Für jedes Ereignisbeispiel:
 - a. Datum?
 - b. Grund der Einsätze?
 - c. Wie viele Pumpen waren im Einsatz?
 - d. Wie viele Angehörige der Feuerwehr waren im Einsatz?

- e. Wie viele Fahrzeuge waren im Einsatz?
 - f. Wie viele Einsätze gab es im Verlauf dieser Ereignisse?
 - g. Wurden Zusammenarbeits-/Anschlussverträge in Anspruch genommen?
16. Was ist Ihrer Meinung nach massgeblich für das Erreichen einer Belastungsgrenze (bitte der Relevanz entsprechend nummerieren)?
- a. Material
 - b. Mannschaft
 - c. Disposition durch Hauszentrale
 - d. Entfernungen (Besiedlungsdichte) im Gemeindegebiet
 - e. Zugänglichkeit (Topographie) im Gemeindegebiet
 - f. Versiegelungsgrad
 - g. Oberflächenabfluss
17. Mit welchen Massnahmen könnte Ihrer Meinung nach die grösste Wirkung erzielt werden?

Anhang A.2 Tabellen der Ereignisse für ESW50 und ESW25

Tabelle 2: Ereignisse mit 50 (ESW50) oder mehr Einsätzen innerhalb von sechs Stunden (8 Ereignisse, chronologisch sortiert). Kategorie 1 «langandauernder Niederschlag», Kategorie 2 «kurzer Starkniederschlag». «Anteil» definiert den Anteil der Einsätze pro Ereignis an der Gesamtzahl der Einsätze in %.

von	bis	Kategorie	#Einsätze	Anteil
02.05.2013 19:00	03.05.2013 00:00	2	536	8.4
01.06.2013 02:00	01.06.2013 21:00	1	331	5.2
13.07.2014 00:00	13.07.2014 09:00	2	101	1.6
22.07.2014 09:00	22.07.2014 18:00	1	135	2.1
28.07.2014 18:00	28.07.2014 20:00	2	56	0.9
07.06.2015 22:00	08.06.2015 09:00	2	427	6.7
24.06.2016 21:00	24.06.2016 22:00	2	60	0.9
03.01.2018 10:00	03.01.2018 14:00	1	113	1.8

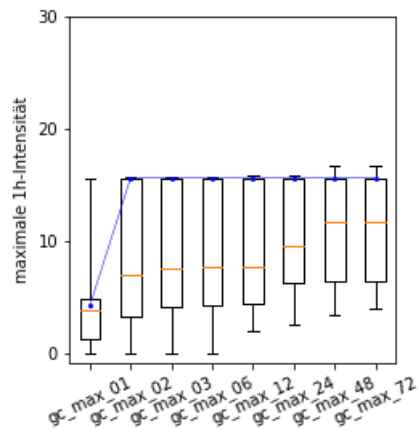
Tabelle 3: Ereignisse mit 25 (ESW25) oder mehr Einsätzen innerhalb von sechs Stunden (20 Ereignisse, chronologisch sortiert). Kategorie 1 «langandauernder Niederschlag», Kategorie 2 «kurzer Starkniederschlag». «Anteil» definiert den Anteil der Einsätze pro Ereignis an der Gesamtzahl der Einsätze in %.

von	bis	Kategorie	#Einsätze	Anteil
02.05.2013 19:00	03.05.2013 00:00	2	536	8.4
03.05.2013 08:00	03.05.2013 08:00	2	13	0.2
06.05.2013 19:00	06.05.2013 19:00	2	22	0.3
01.06.2013 02:00	01.06.2013 21:00	1	331	5.2
18.06.2013 21:00	18.06.2013 21:00	2	26	0.4
13.07.2014 00:00	13.07.2014 09:00	2	101	1.6
22.07.2014 09:00	22.07.2014 18:00	1	135	2.1
28.07.2014 18:00	28.07.2014 20:00	2	56	0.9
21.10.2014 21:00	21.10.2014 21:00	1	27	0.4
07.06.2015 22:00	08.06.2015 09:00	2	427	6.7
27.05.2016 20:00	27.05.2016 20:00	2	24	0.4
07.06.2016 17:00	07.06.2016 18:00	2	29	0.5
24.06.2016 21:00	24.06.2016 22:00	2	60	0.9
22.07.2016 15:00	22.07.2016 15:00	2	13	0.2
24.07.2016 21:00	24.07.2016 21:00	2	26	0.4
02.06.2017 19:00	02.06.2017 20:00	2	43	0.7
09.07.2017 19:00	09.07.2017 20:00	2	44	0.7
22.07.2017 23:00	22.07.2017 23:00	2	28	0.4
02.08.2017 02:00	02.08.2017 03:00	2	43	0.7
03.01.2018 10:00	03.01.2018 14:00	1	113	1.8

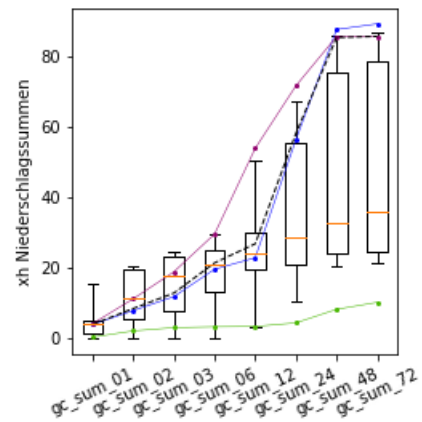
Anhang A.3 Vergleich der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse (ESW25, ESW10)

Einsatzschwellenwert 50

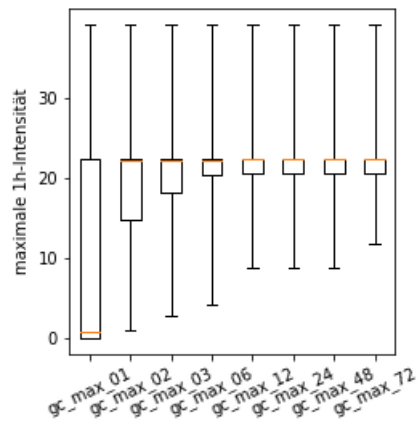
Bäretswil, kurze Starkniederschläge



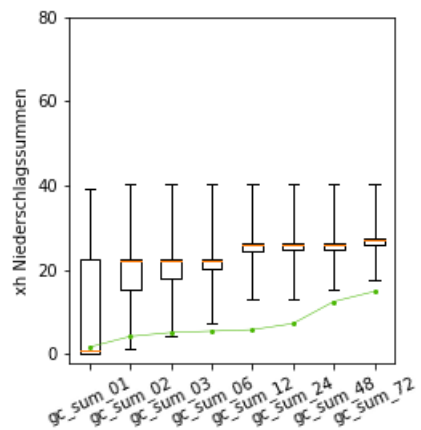
Bäretswil, langandauernde Niederschläge



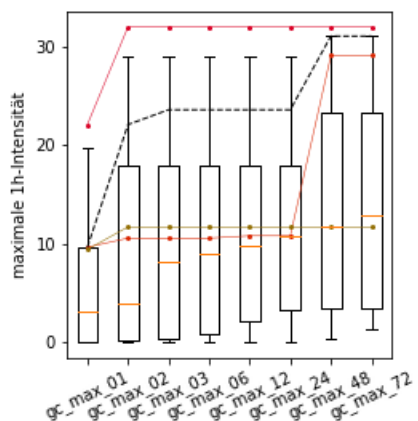
Stammheim, kurze Starkniederschläge



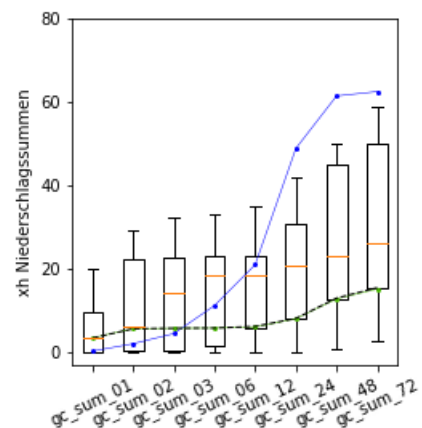
Stammheim, langandauernde Niederschläge



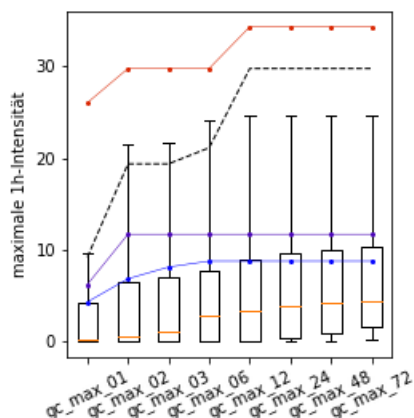
Wädenswil, kurze Starkniederschläge



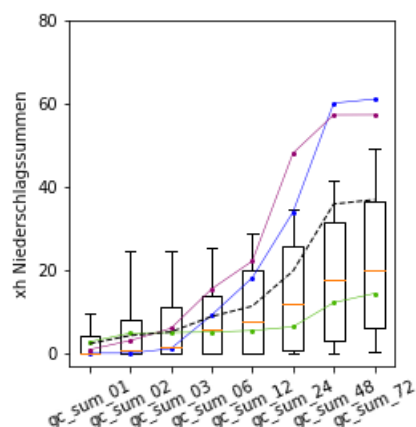
Wädenswil, langandauernde Niederschläge



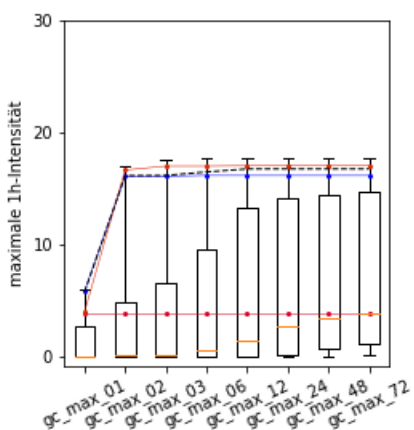
Winterthur, kurze Starkniederschläge



Winterthur, langandauernde Niederschläge



Zürich, kurze Starkniederschläge



Zürich, langandauernde Niederschläge

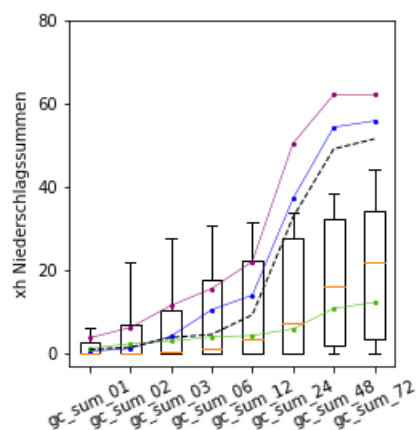
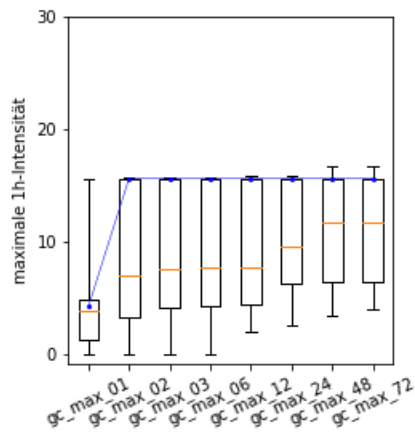


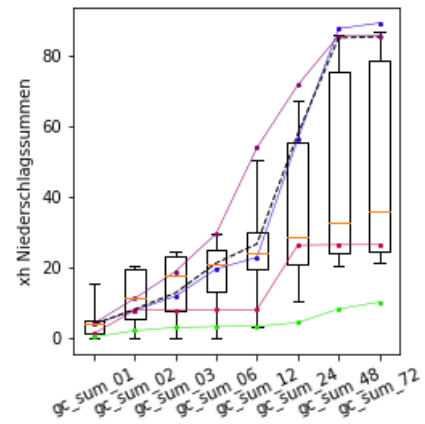
Abbildung 20: Vergleich der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse mit **50 und mehr Einsätzen** (gepunktete, farbige Linien) mit den Niederschlagskennwerten aller anderen Ereignisse mit wasserbezogenen Einsätzen (Box-Whisker Plots) für die fünf ausgewählten Gemeinden Bärenswil, Stammheim, Wädenswil, Winterthur und Zürich. Abbildungen in der linken Spalte beziehen sich auf kurze Starkniederschläge, Abbildungen in der rechten Spalte auf langandauernde Niederschläge. Sofern die Gemeinde von mehr als einem relevanten Niederschlagsereignis betroffen war, ist ausserdem der Median über alle mit den Ereignissen verbundenen Einsätze dargestellt (schwarze gestrichelte Linie). (gc_max_01 bis gc_max_72 bezeichnen die maximale 1h-Intensität in den 1 bis 72 h vor dem jeweiligen Einsatz; gc_sum_01 bis gc_sum_72 bezeichnet die Niederschlagssumme in den 1 bis 72 h vor jedem Einsatz).

Einsatzschwellenwert 25

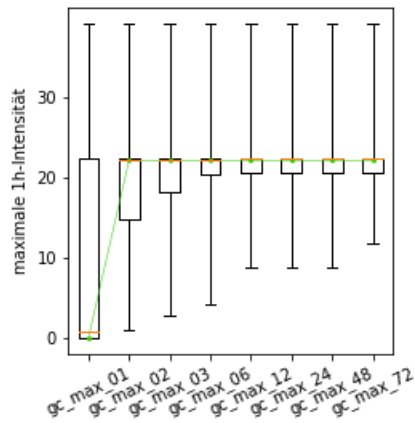
Bäretswil, kurze Starkniederschläge



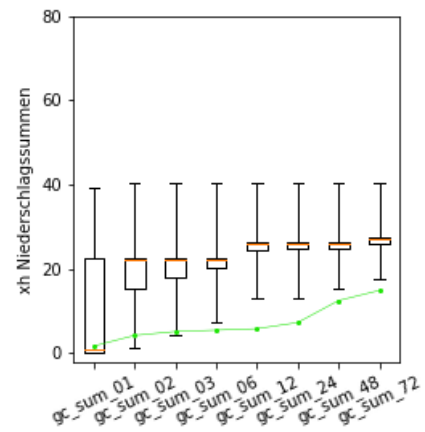
Bäretswil, langandauernde Niederschläge



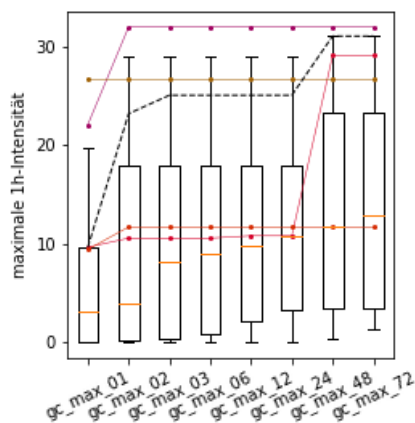
Stammheim, kurze Starkniederschläge



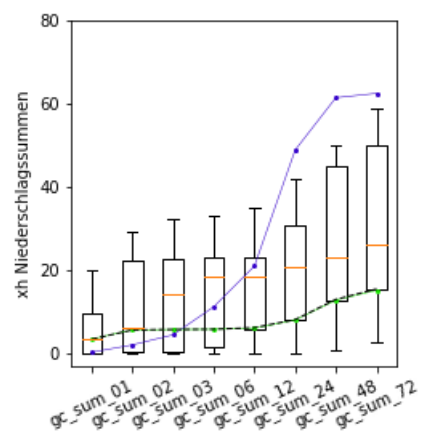
Stammheim, langandauernde Niederschläge



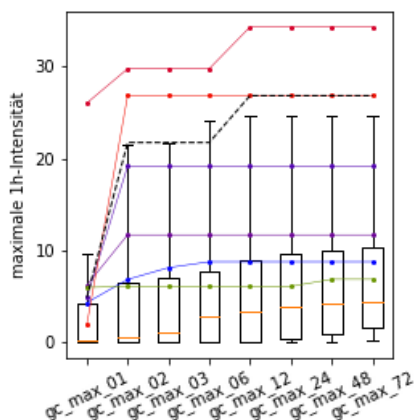
Wädenswil, kurze Starkniederschläge



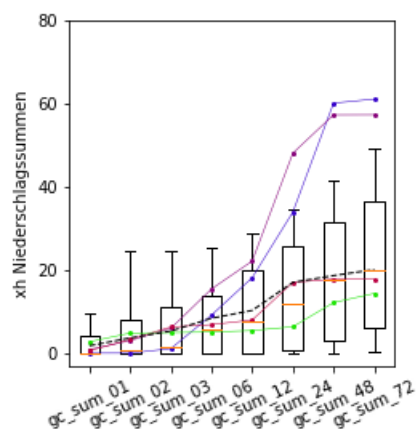
Wädenswil, langandauernde Niederschläge



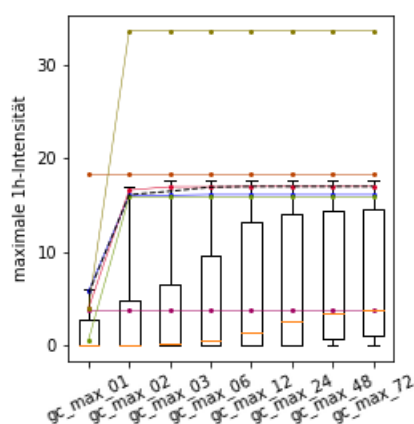
Winterthur, kurze Starkniederschläge



Winterthur, langandauernde Niederschläge



Zürich, kurze Starkniederschläge



Zürich, langandauernde Niederschläge

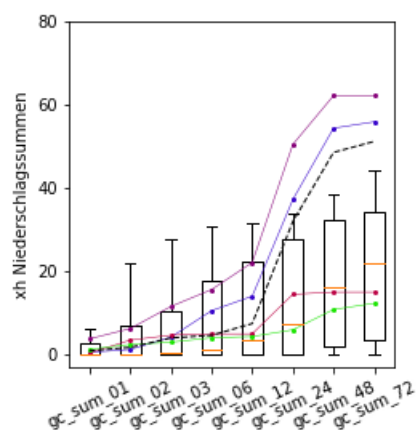


Abbildung 21: Vergleich der Niederschlagskennwerte der relevanten Ereignisse mit **25 und mehr Einsätzen** (gepunktete, farbige Linien) mit den Niederschlagskennwerten aller anderen Ereignisse mit wasserbezogenen Einsätzen (Box-Whisker Plots) für die fünf ausgewählten Gemeinden Bärenswil, Stammheim, Wädenswil, Winterthur und Zürich. Abbildungen in der linken Spalte beziehen sich auf kurze Starkniederschläge, Abbildungen in der rechten Spalte auf langandauernde Niederschläge. Sofern die Gemeinde von mehr als einem relevanten Niederschlagsereignis betroffen war, ist ausserdem der Median über alle mit den Ereignissen verbundenen Einsätze dargestellt (schwarze gestrichelte Linie). (gc_max_01 bis gc_max_72 bezeichnen die maximale 1h-Intensität in den 1 bis 72 h vor dem jeweiligen Einsatz; gc_sum_01 bis gc_sum_72 bezeichnet die Niederschlagssumme in den 1 bis 72 h vor jedem Einsatz).