

# Flood Risk Map for the Canton of Zurich

## Hochwasser Risikokarte für den Kanton Zürich

Christian Schuler<sup>1</sup>; Thomas Egli<sup>2</sup>; Mirco Heidemann<sup>3</sup>; Manuela Häni<sup>4</sup>

### ABSTRACT

With the flood risk map, the Office of Waste, Water, Energy and Air (WWEA) and the GVZ (Buildings Insurance of the Canton of Zurich) present a tool which enables the identification and prioritisation of areas for risk-reducing measures. The risk map closes the gap between hazard mapping and the action plan. With increasing risks and ever tighter budgets, it offers a fundamental basis for all players working in the field of natural hazards. The tool combines various risk types and, for the first time, provides an overview of the effective flood risks in the canton of Zurich.

### ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Risikokarte Hochwasser legen das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL und die GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich ein Instrument vor, mit dem sich der Handlungsbedarf zur Reduktion von Risiken erkennen und priorisieren lässt. Die Risikokarte schliesst die Lücke zwischen der Gefahrenkartierung und der Planung möglichst effektiver Schutzmassnahmen – angesichts steigender Risiken und immer knapperer Budgets eine elementare Grundlage für alle Akteure im Naturgefahrenbereich. Das Instrument verknüpft verschiedene Risiko-Arten und verschafft erstmals den Überblick über die Hochwasser-Risiken im Kanton Zürich.

### KEYWORDS

risk analysis; flood risk; Risk Map

### AUSGANGSLAGE

Der Kanton Zürich hat ab 1998 die gemeindeweise Gefahrenkartierung in Angriff genommen, ab 2006 nach einem erweiterten Konzept. Die Gefahrenkarten sind mehr und mehr als wichtige Arbeitsgrundlage für Kantone und Gemeinden etabliert. Sie zeigen auf, wo eine Gefährdung besteht und wo mit welcher Wahrscheinlichkeit und welcher Stärke ein Hochwasser oder eine Massenbewegung (Hangmure, Rutschung, Steinschlag etc.) auftreten kann.

Unmittelbar nach Abschluss der Gefahrenkartierung folgt die Umsetzung durch die Gemeinde. Einer der ersten Umsetzungsschritte ist die Erstellung einer Maßnahmenplanung. Ist das

1 Office of Waste, Water, Energy and Air (WWEA), Zurich, SWITZERLAND, christian.schuler@bd.zh.ch

2 Egli Engineering AG, St. Gallen, SWITZERLAND

3 GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich, Zürich, SWITZERLAND

4 AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich, SWITZERLAND

Risiko für eine Gemeinde nicht tragbar, müssen Maßnahmen getroffen werden. Die Gefahrenkarten liefern keinen Hinweis, wo mit welchen Schäden zu rechnen ist. Daher werden für die Maßnahmenplanung und die damit verbundene Priorisierung der Maßnahmen als ergänzende Beurteilungsgrundlage Risikoanalysen benötigt.

Bislang fehlte eine systematische Grundlage für die Beurteilung des Handlungsbedarfs für den Hochwasserschutz bei den zuständigen Behörden (Kanton für kantonale und Gemeinden für kommunale öffentliche Gewässer).

## **METHODIK**

Für die Erarbeitung einer umfassenden Risikoübersicht haben das AWEL und die GVZ zusammen mit Experten aus verschiedenen Fachbereichen georeferenzierte Parameter resp. Themen nach ihrer vermuteten Auswirkung im Schadenfall eingeordnet. Auf diese Weise entstand eine quantitative nicht monetäre Risikoanalyse für den Kanton Zürich, die konkrete Hinweise für die Priorisierung und die Maßnahmenplanung liefert. Der Risikoanalyse zu Grunde gelegt sind die erarbeiteten Gefahren- und Intensitätskarten für die Hochwassergefährdung im Kanton Zürich.

Fünf übergeordnete Risiko-Arten wurden betrachtet: Versorgungsrisiko, Personenrisiko, Kulturgutrisiko, Umweltrisiko und Sachrisiko. Untergeordnet wurden 56 Themenbereiche (Schutzgüter) erfasst und bewertet. Dazu gehören Denkmalschutz, Energie, Verkehr, Versorgung (Spitäler, Werkhöfe usw.), Kommunikationsinfrastruktur, Bevölkerungsdichte, Fruchtfolgeflächen, Schulhäuser, Gebäudeversicherungswert und weitere. Berücksichtigt wurden Themen, für welche georeferenzierte Daten vorliegen. 14 Themen konnten aufgrund ungenügender Datenqualität nicht berücksichtigt werden.

Um die Vergleichbarkeit der verschiedenen Risiko-Arten zu gewährleisten, wurden die Themenbereiche nach ihrer Bedeutung klassiert. Damit wird das Risiko nicht direkt in Franken ausgedrückt. Dieser Ansatz ermöglicht es, alle einbezogenen Risiken miteinander zu verknüpfen. Das Berechnungsmodell wurde modulartig aufgebaut. Es kann flexibel erweitert und angepasst werden.

Die Risikokarte zeigt als Resultat pro Hektar, wie groß das Hochwasserrisiko über alle einbezogenen Themen ist: groß, mittel, klein oder vernachlässigbar. Wo viele Rasterzellen mit mittlerem und großem Risiko beieinander sind, liegt ein so genannter Hotspot vor. Hier besteht Handlungsbedarf.

## **GEFAHRENGRUNDLAGEN**

Die Gefährdung durch Hochwasser wurde anhand der Daten der Gefahrenkartierung im Kanton Zürich (Intensitätskarten  $HQ_{30}$ ,  $HQ_{100}$ ,  $HQ_{300}$ ) sowie der Flächen der Restgefährdung (EHQ) gemäß Gefahrenkartierung, Datenstand 31. Juli 2015 ermittelt.

## Risiko-Arten

Den Risikoarten untergeordnet sind folgende Parameter (Auszug):

Tabelle 1: Zuordnung einiger Parameter zu den übergeordneten Risiko-Arten.

Risiko-Art	Parameter
Versorgungsrisiko	Leitungen und Netze (Strom, Gas, Kommunikation etc.)
	Wasserfassungen, Gewässerschutzbereiche
	Infrastruktur der Feuerwehr, Polizei, Zivilschutz
	Spitäler, Gefängnisse
	Straßen, Bahnen, Flughafen
	Sendeanlagen
Personenrisiko	Schulgebäude, Universitäten
	Campingplätze, Familiengärten
	Sportanlagen, Freizeitanlagen
	Einkaufszentren, Multifunktionskomplexe
	Beschäftigte und Bevölkerungsdichte
Kulturgutrisiko	Denkmalschutz
Umweltrisiko	Chemie- und biologische Risiken
	Tankanlagen
Sachrisiko	Gebäudewerte
	Fruchtfolgeflächen

Für eine synoptische Risikokarte müssen die verschiedenen georeferenzierten Daten vergleichbar gemacht werden. Die Einordnung der Parameter erfolgte auf einer linearen, 10-stufigen Skala, die je nach Thema eine unterschiedliche Bedeutung hat. Die zugeordnete Klassierung ersetzt in der Risikoberechnung den monetären Wert des Schutzgutes.

## Verletzlichkeit

Nicht alle Themen weisen bezüglich Hochwasser die gleiche Verletzlichkeit auf. Während zum Beispiel bei einer schwachen Intensität Gasleitungen nicht beeinträchtigt werden, ist beim Verkehr bereits mit erheblichen Versorgungsengpässen zu rechnen. Den Themen wurden je nach Hochwasser-Intensitätsstufe (gering, mittel, stark) Verletzlichkeiten mit einem Wert von 0 – 1 zugeordnet. Dabei bedeutet 1, dass Hochwasser das Thema komplett beeinträchtigt und 0, dass für dieses Thema Hochwasser keine Wirkung hat. Wo keine Information zur Hochwasserintensität vorhanden war (EHQ), wurde eine pauschale Verletzlichkeit gewählt, welche normalerweise derjenigen der mittleren Intensität entspricht. Wo vorhanden, wurden die Werte für die Verletzlichkeit aus dem Risikotool des Bundes "EconoMe" verwendet (Quelle: BAFU 2013: EconoMe 1.0 Objektparameter, Stand 1.10.2013)

## Schadengrenze

Durch die Einteilung in die Wiederkehrperioden 30, 100 und 300 Jahre entstehen große Sprünge. Ist bekannt, dass ein Fluss bereits bei einem 15-jährlichen Ereignis über seine Ufer tritt, erscheint diese Überflutungsfläche trotzdem erst in der Intensitätskarte der Wiederkehrperiode ‚30 Jahre‘. Mittels einer manuell definierten Schadengrenze wird präzisiert, wann der erste Schaden auftritt, also beispielsweise bei 15 Jahren. Somit können für einzelne geografi-

sche Gebiete unterschiedliche Schädengrenzen definiert werden. Die einheitlichen Schädengrenzen wurden wie folgt definiert:

Tabelle 2: Definition der einheitlichen Schädengrenzen.

Wiederkehrperiode	Schädengrenze
30 Jahre	15 Jahre
100 Jahre	30 Jahre
300 Jahre	100 Jahre
EHQ (500 Jahre)	300 Jahre

Damit wird gegenüber dem Risikokzept der PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren der Schweiz) berücksichtigt, dass Schäden ab einer sogenannten Schädengrenze bis zum ersten in der Intensitätskarte dargestellten Ereignis ansteigen.

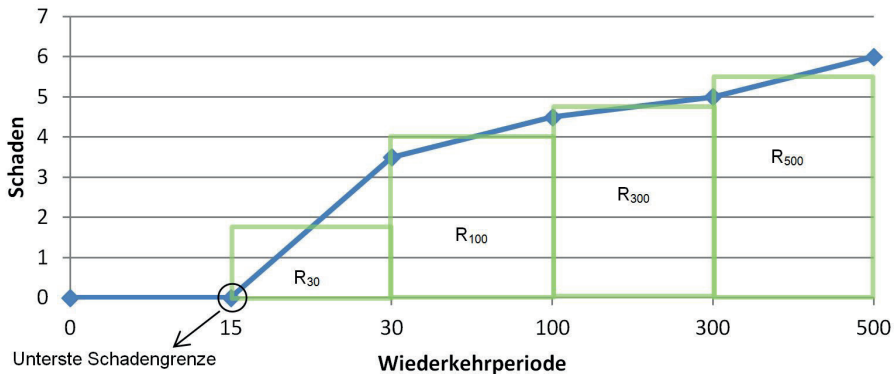


Abbildung 1: Schadenkurve (blau) als Funktion der Schadensumme und der Wiederkehrperiode sowie Definition der unteren Schädengrenze.

Die blaue Kurve ist die angenommene natürliche Schadenkurve. Das Risiko entspricht dem Integral unter der blauen Kurve. In der Berechnung wird diese Fläche mit der Treppenfunktion angenähert (grüne Balken). Jede Treppenstufenfläche entspricht dabei einem Risikobeitrag und berechnet sich aus dem gemittelten Schaden und der Differenz der Überschreitungswahrscheinlichkeiten.

### Mobiler Hochwasserschutz

Es gibt Gebiete mit ortsfesten, mobilen Hochwasserschutzmaßnahmen (z.B. Dammerhöhungen mit Dammbalken). Gemäß Bundesempfehlung werden mobile Schutzmaßnahmen in der Gefahrenkartierung nicht berücksichtigt. Es macht aber Sinn, diese Schutzmaßnahmen bei einer Risikoanalyse zu berücksichtigen. Ähnlich wie bei der Schädengrenze wird der Einflussbereich dieser Schutzmaßnahmen geografisch definiert. Dazu wird die Wahrscheinlichkeit pro Wiederkehrperiode festgehalten, bei welcher das System korrekt funktioniert. Bei

Faktor 0 resultiert dasselbe Risiko, wie wenn keine Maßnahme eingesetzt würde, bei Faktor 1 wird kein Risiko mehr ausgegeben.

## PROZESSING

Die gesamte Datenverarbeitung wurde in ArcGIS 10.2 for Desktop Basic durchgeführt. Für sämtliche Prozessierungsschritte wurden im ModelBuilder Modelle erstellt, damit die Arbeitsschritte einfach reproduzierbar sind. Für einzelne Verarbeitungsschritte ist die Erweiterung Spatial Analyst notwendig. Ergänzend wurden, insbesondere für die Risikoberechnung, Scripte in Python erstellt. Für die Erstellung und das Debugging wurde PyScripter, Version 2.7 verwendet. Die Aufbereitung von Linien- und Flächengeometrien in Punkteobjekte wurde mittels XTools Pro, Version 10.0 durchgeführt.

### **Aufbereiten der Gefahrengrundlagen**

Dieser Prozessschritt muss nur einmal für alle Themen durchlaufen werden. Hierbei werden die Daten der Intensitätskarten mit der pro Jährlichkeit unteren Schadengrenze ergänzt. Damit wird berücksichtigt, dass ein Prozess häufiger auftreten kann als die entsprechende Intensitätskarte angibt (Beispiel: 150 anstatt 300 Jahre). Weiter kann der Einfluss mobiler Hochwasserschutzmaßnahmen einbezogen werden (siehe Formel 1).

### **Umwandlung der Geodaten in Hektarraster**

Ziel ist es, alle Daten in Punktinformationen zu überführen. Punktdaten (z.B. Sendemasten) können direkt berechnet werden. Linienobjekte (z.B. Versorgungsleistungen) werden in Segmente unterteilt, die durch einen Schwerpunkt repräsentiert werden. Flächendaten (z.B. Flughafen) werden in Hektarflächen zerschnitten, die ebenfalls mit ihrem Schwerpunkt in die Berechnung einfließen können.

### **Risikoberechnung**

Alle Parameter werden mit den aufbereiteten Grundlagendaten verknüpft und erhalten ihre Attribute wie Gefährdung, Auftretenswahrscheinlichkeit und Schadengrenze. Danach werden die Verletzlichkeiten zugeordnet. Diese Schritte werden einzeln pro Thema und Wiederkehrperiode durchlaufen. Die Berechnung des Gesamtrisikos ist die Summe der pro Hektarzelle berechneten Einzelrisiken.

### **Algorithmus**

Ein Risiko berechnet sich aus einem Schaden und der Wahrscheinlichkeit, dass dieser Schaden eintritt. Die Wahrscheinlichkeiten eines (Hochwasser-) Ereignisses ist der Kehrwert der Jährlichkeit und bezeichnet, wie häufig im statistischen Mittel ein Ereignis auftritt. Das gesamte Risiko setzt sich aus den Risikobeiträgen der einzelnen Ereignissen zusammen.

Berechnungsansatz:

$$S_{ij} = W_j * SE$$

$$R_{ij} = \frac{S_{ij} + S_{i-1j}}{2} * (p_i - p_{i-1}) * (1 - Aw_{ij})$$

$$R_j = \sum R_{ij}$$

Formel 1: Ansatz für die Berechnung des Risikos.

wobei:

- SE** Verletzlichkeit
- W** Wert (Klassierung)
- Aw<sub>ij</sub>** Faktor zur Anpassung der Wahrscheinlichkeit
- i** Wiederkehrperiode
- j** Objekt
- p<sub>i</sub>** Überschreitungswahrscheinlichkeit (Häufigkeit)
- S<sub>ij</sub>** Schaden für Objekt j bei Wiederkehrperiode i
- R<sub>ij</sub>** Risiko

### Aufbereitung und Darstellung

Die Datenaufbereitung erfolgt für jede Hektarzelle mit dem Gesamtrisiko. Je nach Höhe des Wertes wird die Hektarzelle einer Farbe zugeordnet (Ziel war es, dass aus der Risikokarte Hochwasser für den gesamten Kanton 10 - 20 Hotspots herausstechen. Daraus folgt, dass die obersten 15 % der Hektarflächen dunkelrot sind).

Tabelle 3: Festgelegte Definition der Risikoklassen (klein, mittel, groß).

Wert / Quantil	Aussage	Farbe
Zellen ohne berechnetes Risiko	Nach aktuellem Kenntnisstand keine Gefährdung vorhanden oder keine Werte analysiert. Kein oder vernachlässigbares Risiko.	weiß
<= 60 %	Kleines Risiko vorhanden	hellrot
> 60 % - <= 85 %	Mittleres Risiko vorhanden	rot
> 85 %	Großes Risiko vorhanden	dunkelrot

### ERGEBNISSE

Die „Risikokarte Hochwasser Kanton Zürich“ verschafft einen Überblick des Hochwasserrisikos auf kantonaler Ebene. Wo sich von Hochwasser gefährdete Gebiete mit einem untersuchten Schutzgut überschneiden, wird die Rasterzelle in hellrot, rot oder dunkelrot dargestellt. Erkennbar werden neben dem Schadenpotenzial an Sachwerten, wie viele Menschen betroffen sind, ob wichtige Verkehrsverbindungen beeinträchtigt sind, ob und in welchem

Ausmaß mit Versorgungsunterbrechungen zu rechnen ist oder inwiefern wichtige Einrichtungen der öffentlichen Infrastruktur geschädigt werden könnten. Damit zeigt die Risikokarte nebst monetären Risiken auch schwer quantifizierbare Risiken, auch für die Umwelt und Kulturgüter.

Die Berechnungen zur Risikoanalyse sind in einem Modell für ArcGIS von ESRI verfügbar. Ausgegeben werden berechnete Risiko-Werte zwischen 0 und 1.5. Die Resultate können als Datentabelle (Ranking von Themen in den Gemeinden) oder als Karte (strategisches Hilfsmittel) genutzt werden.

Bis zu einem Wert von 0.00081742 (entspricht 60 % der Anzahl Rasterzellen) werden die Rasterzellen hellrot dargestellt.

Tabelle 4: Abgrenzung der Risikoklassen.

Wert	Farbe	Aussage
0	weiß	vernachlässigbares oder kein Risiko
0 - 0.0081742	hellrot	geringes Risiko
0.0081742 - 0.00708	rot	mittleres Risiko
0.00708 - 1.5	dunkelrot	großes Risiko

Die Risikokarte zeigt, dass in einem Großteil der gefährdeten Gebiete gemäß Gefahrenkarte auch ein Schadenpotenzial vorhanden ist und somit ein Risiko resultiert. Die Ausprägung unterscheidet sich jedoch an vielen Stellen von der Gefahrenkarte.

Trotz geringer Auflösung können die Gemeinden von der Risikokarte profitieren. Die Hotspots bilden die Basis um Prioritäten zu setzen und nach einer genaueren Betrachtung resp. detaillierteren Analyse Schutzmaßnahmen zu planen.

Für die Maßnahmenplanung ist es notwendig sich ein genaues Bild der Situation zu machen und folgende Fragen zu klären: Welche Risiken bestehen in diesem Gebiet? Welches sind die Ursachen? Erst die detaillierte Analyse macht deutlich, wo tatsächlich Bedarf für einen besseren Schutz besteht.

Eine wichtige Erkenntnis der Risikokarte ist, dass die Höhe des Risikos vor allem von der Nutzung und weniger von der Gefahr bestimmt wird. Hohe Risiken liegen nicht nur in den Bereichen, die auf der Gefahrenkarte mit einer mittleren oder hohen Gefahrenstufe ausgewiesen werden. Häufig treten hohe Risiken in Gebieten geringer Gefährdung oder sogar in Flächen der Restgefährdung auf.

## Diskussion

Mit der vorliegenden Analyse ist es gelungen, für den Prozess Hochwasser eine Risikoübersicht über den ganzen Kanton Zürich zu erstellen. Sie steht der Allgemeinheit als Layer im Kantonalen Web-GIS und als Webdienst (wfs und wms) zur Verfügung.

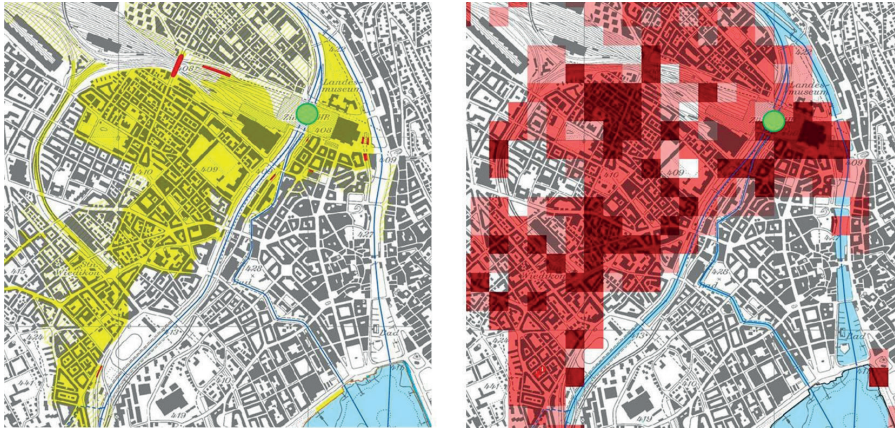


Abbildung 2: Der Hauptbahnhof der Stadt Zürich (grüner Punkt) ist ein bedeutender Verkehrsknotenpunkt. Auf der Gefahrenkarte (Abbildung links) weist er eine geringe Gefährdung auf (gelbe Flächen). Gemäß Risikokarte (Abbildung rechts) besteht hingegen eine Häufung großer Risiken (Quellen: [www.maps.zh.ch/naturgefahren](http://www.maps.zh.ch/naturgefahren); [www.maps.zh.ch/risikokarte](http://www.maps.zh.ch/risikokarte)).

Die Risikokarte Hochwasser schließt für den Kanton Zürich die Lücke zwischen der Gefahrenkarte und der Maßnahmenplanung und verschafft eine systematische Übersicht über die Hotspots.

Die Höhe des Risikos in jeder Rasterzelle ist die Summe von 42 berechneten Einzelrisiken (siehe Themen). Werden die Grenzen der qualitativen Einteilung in der Risikokarte geändert, kann das Gesamtbild stark beeinflusst werden.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Risikokarte zeigt mit den Hotspots auf, wo große Risiken resultieren und somit besonders hoher Handlungsbedarf für den Hochwasserschutz besteht. Eine konkrete Kosten-Nutzen-Analyse kann mit den Daten der Risikoanalyse jedoch nicht durchgeführt werden, weil die Resultate nicht in CHF/Jahr sondern in qualitativer Form vorliegen.

Verantwortungsträger haben konkret folgenden Nutzen:

- Visualisierung, wo der größte Handlungsbedarf besteht
- Möglichkeit zur systematischen Priorisierung über die Ortung von Hotspots
- Transparente, reproduzierbare und objektive Kriterien für Entscheidungen

Um genaue Aussagen machen zu können (z.B. auf Gemeindeebene), muss die Analyse auf lokaler Ebene entsprechend verfeinert werden. Lokale Kenntnisse müssen einfließen und insbesondere die effektive Verletzlichkeit von einzelnen Objekten mit hohem Wert / Bedeutung sollte verifiziert werden. Hinzu kommen eventuell lokal wichtige Risiken, welche in der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt wurden.



Risikoanalyse Hochwasser  
Kanton Zürich

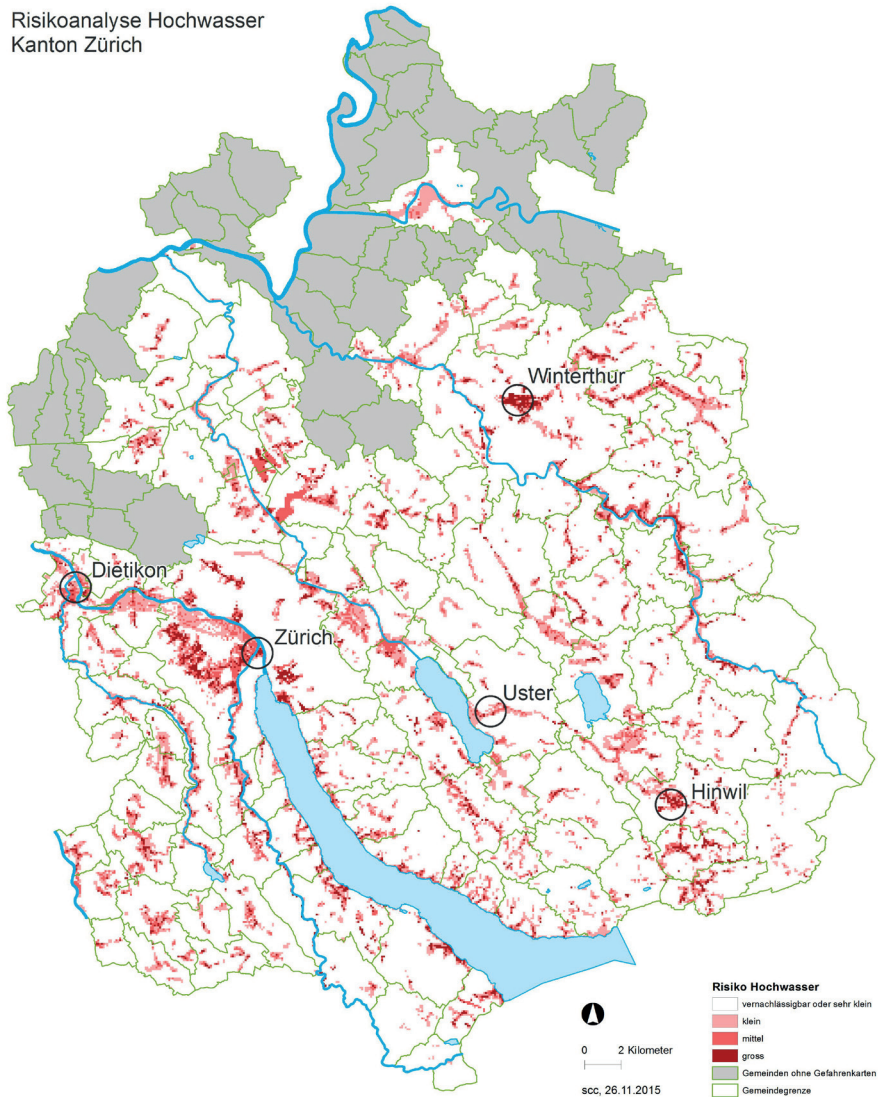


Abbildung 3: Der Hauptbahnhof der Stadt Zürich (grüner Punkt) ist ein bedeutender Verkehrsknotenpunkt. Auf der Gefahrenkarte (Abbildung links) weist er eine geringe Gefährdung auf (gelbe Flächen). Gemäß Risikokarte (Abbildung rechts) besteht hingegen eine Häufung großer Risiken (Quellen: [www.maps.zh.ch/naturgefahren](http://www.maps.zh.ch/naturgefahren); [www.maps.zh.ch/risikokarte](http://www.maps.zh.ch/risikokarte)).

## HERAUSFORDERUNGEN

Um dem Anspruch einer gesamtheitlichen Risikoanalyse gerecht zu werden, wurden verschiedene Risiko-Arten in die Berechnung integriert und auf einer einzigen Karte dargestellt. Da einige Themen nur schwer monetarisierbar sind, wurde zusammen mit den Fachverantwortlichen eine Klassierung der Themen vorgenommen. Diese Einteilung erfolgte nach subjektiven Kriterien, die vermutlich schwer reproduzierbar ist.

Bei der Beschaffung und Sichtung der Daten hat sich gezeigt, dass deren Qualität sehr unterschiedlich ist. 14 interessante Datensätze konnten deswegen nicht berücksichtigt werden (z.B. Bodenbedeckung und Haltestellen).

Die jetzt vorliegende Risikoübersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Weitere Themen können in eine spätere Version der Risikoanalyse integriert werden.

Mit jeder neuen Gefahrenkarte kann auch die Risikokarte nachgeführt werden. Andere Risikoanalysen können mit der Risikokarte Hochwasser Kanton Zürich verglichen werden.

## LITERATUR

- Egli Engineering AG (2014). Risikoanalyse Hochwasser Kanton Zürich, Schlussbericht.
- «Zürcher UmweltPraxis» ZUP (2014): Risikokarte Hochwasser Kanton Zürich, zur Naturgefahrenprävention.
- PLANAT (2009): Risikokonzept für Naturgefahren, Leitfaden, [www.planat.ch](http://www.planat.ch)