

Schätzung von Risikozonen in QGIS und R

Felix Günther

Statistisches Beratungslabor StaBLab, LMU München

März 2020

1 Einführung

In diesem Dokument wird die praktische Umsetzung der Schätzung von Risikozonen aus kartierten Bombenrichtern im Open Source Geoinformationssystem QGIS [4] beschrieben. Die intern verwendete Methodik wurde von Frau Dr. Mahling im Rahmen Ihrer Promotion [2] entwickelt und in einer wissenschaftlichen Zeitschrift publiziert [3]. Weitere Informationen können auch in einem einführenden Überblicksdokument [1] gefunden werden. Die Methodik und zusätzliche Funktionalität zur effizienten und komfortablen Auswertung von Daten kartierter Trichter und Blindgängerverdachtspunkte wurde in der statistischen Programmiersprache R [5] durch das Softwarepaket *highriskzone* [6] implementiert.

Um einen direkteren Zugang zu der Schätzung von Risikozonen über eine grafische Benutzeroberfläche zu ermöglichen wurde nun eine breite Grundlage an Methoden durch R-Skripte in das Geoinformationssystem QGIS eingepflegt. Die verschiedenen Schätzalgorithmen können direkt auf einzelne Layer innerhalb von QGIS angewendet werden, wobei notwendige Parameter in einem Menü von Hand eingetragen werden. Die so spezifizierten Risikozonen werden dann intern berechnet und als neues Layer ausgegeben.

Kapitel 2 dieses Dokumentes beschreibt die Installation und notwendige Einrichtungsschritte, welche zur Schätzung von Risikozonen in R, bzw. QGIS notwendig sind. In Kapitel 3 werden die einzelnen, über QGIS berechenbaren Ansätze zur Schätzung von

Risikozonen und zugehörige Parameter kurz beschrieben. In Kapitel 4 werden technische Unterschiede zwischen der Schätzung in R und QGIS angesprochen, sowie anhand eines Beispiels die zusätzliche Funktionalität des *highriskzone* R-Paketes dargestellt.

Ausgangssituation der Schätzung einer Risikozone sind kartierte Trichterdaten, welche als ein Punktlayer in QGIS vorliegen sollten sowie ein Untersuchungsgebiet, für welches die Risikozone geschätzt werden soll. Letzteres sollte als Polygonlayer in QGIS vorliegen. Jede weitere räumliche Flächeninformation (wie beispielsweise Einschränkungsfächen für komplexere Schätzverfahren) muss ebenfalls als einzelnes Polygonlayer in QGIS vorliegen. Die nach der Schätzung resultierende Risikozone wird in einem (neu erzeugten) Polygonlayer ausgegeben und kann dann als Grundlage für weitere Analysen und (visuelle) Inspektion dienen sowie zur Dokumentation gespeichert werden.

2 Installation und Einrichtung

Zur Schätzung von Risikozonen in QGIS ist es notwendig, die Programmiersprache R, einige R Zusatzpakete und das Geoinformationssystem QGIS zu installieren. Zusätzlich müssen einige Konfigurationsschritte durchgeführt werden um die Interaktion von QGIS und R zu ermöglichen. Sollen Risikozonen in R selbst geschätzt oder evaluiert werden ist es zur komfortablen Arbeit zusätzlich ratsam eine integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) wie RStudio (Desktop) zu installieren. Alternativ müssen unten genannten R Befehle direkt in einer Konsole/Kommandozeile durchgeführt werden. Alle zuvor genannten Programme sind Open Source und können gratis von folgenden Internetseiten heruntergeladen werden:

- R: <https://www.r-project.org/>.
- RStudio: <https://www.rstudio.com/products/rstudio/>.
- QGIS: <https://www.qgis.org/de/site/>.

Das hier beschriebene Vorgehen basiert auf der **R Version 3.6.1**. (“Action of the Toes”) und **QGIS 3.10.2**. (“A Coruña”). Es wird die englische Benutzeroberfläche in QGIS verwendet, ein Umstellen der Sprache kann helfen die beschriebenen Menüpunkte einfacher zu finden.

Das empfohlene Vorgehen zur Installation und Einrichtung von QGIS und R ist nun:

1. Download und Installation von QGIS, R und (optional) RStudio.

Speicherorte können beliebig gewählt werden, die Default Einstellungen sind prinzipiell in Ordnung.

2. Download und Installation der aktuellen Version des R-Zusatzpaketes *highriskzone* von *CRAN* und notwendiger zusätzlicher Pakete (*Dependencies*), durch folgende Vorgehensweise:

- Starten von R durch Öffnen von RStudio oder der Eingabe von “R” in die Kommandozeile.
- Download und Installation des Paketes *highriskzone* durch Eingabe des Befehles `install.packages("highriskzone", dependencies = TRUE)` in die Konsole von RStudio beziehungsweise die Kommandozeile.
Zusätzliche Pakete werden an einen bestimmten Ort gespeichert. Dieser wird bei Installation von R/RStudio automatisch gewählt und wird “library path” genannt. Er kann durch Eingabe des Befehls `.libPaths()` abgefragt werden. Falls mehrere Pfade eingetragen werden wird per default an den Ort des ersten Pfades gespeichert. Es ist möglich den library path zu ändern allerdings grundsätzlich nicht notwendig.
- Beenden von R durch Schließen von RStudio, bzw. Eingabe des Befehles `q()` in die Kommandozeile.

3. Einrichtung/Aktivierung von R-Skripten in QGIS.

Um die bereitgestellten R-Skripte zur Schätzung von Risikozonen in QGIS zu verwenden muss in einem ersten Schritt die Ausführung von R-Skripten in QGIS aktiviert werden:

- Starten von QGIS (Desktop)
- Öffnen des Menüs *Plugins* → *Manage and Install Plugins ...*
- Installieren des Plugins *Processing R Provider* durch Suche des entsprechenden Plugins und Klicken auf *Install Plugin* (Aktuelle Version in Februar 2020: 2.0.0)
- Um R in QGIS einzubinden müssen nun eventuell die Optionen der QGIS *Processing Toolbox* angepasst werden. Das entsprechende Menü kann aufgerufen werden indem im Menü *Processing* die *Processing Toolbox* aktiviert wird und dort die Optionen durch Klick auf das Schraubenschlüssel-Icon geöffnet werden (alternativ: *Settings* → *Options ...* → *Processing*)

- Unter *Providers* → *R* können nun die Verzeichnisse der R-Installation (*R folder*) und der Ordner in dem die QGIS-R Skripte hinterlegt werden (*R scripts folder*) spezifiziert werden. Dieser ist per Default ein Unterordner des *AppData* Ordners, welcher unter Windows im Explorer eventuell verborgen ist. Er kann im Explorer manuell eingeblendet werden (*Ansicht* → *Ausgeblendete Elemente*). Ebenfalls kann ein Ordner spezifiziert werden in dem QGIS R-Zusatzpakete (wie z.B. das *highriskzone* Paket) aus der spezifizierten *Package repository* installiert. Alternativ kann hier der oben beschriebene *library path* eingesetzt werden.
4. Verschieben der übergebenen QGIS R Skripte (Dateien der Form **.rsx*) in den Ordner, welcher im vorherigen Schritt als R-Skriptverzeichnis (*R scripts folder*) festgelegt wurde.
 5. Über *Processing* → *Toolbox* lässt sich nun ein Fenster in QGIS einblenden in dem alle verfügbaren R-Skripte angezeigt werden. Zur Schätzung von Risikozonen sollten nun die im nächsten Kapitel beschriebenen 11 Skripte verfügbar sein.
 6. Es existieren verschiedene Einstellungsmöglichkeiten in QGIS zur Handhabung der Verarbeitungs-/Werkzeugdialoge welche unter *Settings* → *Options ...* → *Processing* → *General* betrachtet und angepasst werden können. Hilfreich ist z.B. die Aktivierung der Option “Keep dialog open after running an algorithm”, da im Falle des Auftretens von Fehlern die von R ausgegebenen Fehlermeldungen betrachtet werden können und dies Hinweise bezüglich möglicher Ursachen liefern kann.

3 Implementierte Methoden in QGIS

Es wurden 11 verschiedene Ansätze zur Schätzung von Risikozonen in QGIS implementiert. Diese unterscheiden sich bezüglich ihrem jeweiligen Vorgehen in der Konstruktion der Risikozonen und sind teilweise für besondere Anwendungssituationen ausgelegt: In Abschnitt 3.1 werden 6 Konstruktionsmethoden beschrieben, welche für die Standardsituation, in der das Auswertungsgebiet (Gebiet mit beobachteten, kartierten Trichtern) und das Untersuchungsgebiet (Gebiet auf dem die Risikozonen konstruiert werden soll) übereinstimmen. In Abschnitt 3.2 werden Konstruktionsansätze für Spezialsituationen beschrieben. Zuerst wird der Fall betrachtet in dem Einschränkungsfächen im Untersuchungsgebiet existieren (also Teilflächen in denen existierende Bombentrichter nicht oder nur unvollständig erhoben werden konnten). Danach wird die Situation beschrieben

in der das Auswertebereich, also das Gebiet mit beobachteten Trichtern größer ist als das eigentlich relevante Untersuchungsgebiet.

3.1 Risikozonen für Standardsituationen

Die folgenden Verfahren sind geeignet um Risikozonen in einem festgelegten Untersuchungsgebiet zu schätzen für welches alle Bombentrichter erhoben und kartiert wurden. Die ersten 3 Ansätze sind einfache Verfahren welche Risikozonen durch Vereinigung von Kreisflächen um beobachtete Trichterlokationen konstruieren. Die folgenden 3 Ansätze können als *modellbasierte* Ansätze aufgefasst werden. In diesen wird angenommen, dass die Lokationen aller Bomben einem inhomogenen Poissonprozess folgen. Dieser wurde allerdings nur teilweise über die erhobenen Trichter der explodierten Bomben beobachtet, die Lokationen der Blindgänger sind unbekannt. Die Wahrscheinlichkeit einer Explosion, bzw. die Wahrscheinlichkeit eines Blindgängers wird für das gesamte Untersuchungsgebiet als konstant angenommen. Die Lokationen der beiden Teilprozesse der beobachteten Trichter und der Blindgänger folgen dann ebenfalls einem Poissonprozess und aus den beobachteten Trichterlokationen kann die Intensität des Gesamtprozesses, bzw. des Blindgängerprozesses geschätzt werden. Diese Intensität kann intuitiv als Risiko einer Bombenlokation an einer Stelle interpretiert werden und darauf basierend können Risikozonen ausgewiesen werden. Für eine etwas ausführlichere Beschreibung des Ansatzes siehe [1].

3.1.1 Risikozone basierend auf festem Radius

Um jeden im Untersuchungsgebiet beobachteten Trichter wird eine Kreisfläche mit festem, zu spezifizierendem Radius gelegt. Die Vereinigung dieser Flächen repräsentiert die Risikozone. Um eine solche Risikozone in QGIS zu berechnen kann das R-Skript *highriskzone_fixed_radius* verwendet werden. Als Grundlage der Berechnung muss ein Polygonlayer welches das Untersuchungsgebiet repräsentiert sowie ein Punktlayer, in dem alle erhobenen Trichter enthalten sind, übergeben werden. Außerdem muss ein Radius in Metern spezifiziert werden, der die Größe der Kreisflächen um die Trichter bestimmt. Default Einstellung ist hier der häufig verwendete Radius von 150m, die Maske zur Spezifikation der Parameter ist in Abbildung 1a dargestellt. Die Konstruktion der Risikozone erfolgt intern in R und sie wird anschließend als neuer Polygonlayer in QGIS ausgegeben.

3.1.2 Risikozone mit festgelegter Fläche

Eine Risikozone mit a priori festgelegter Fläche wird konstruiert. Dazu wird um jeden beobachteten Trichter im Untersuchungsgebiet eine Kreisfläche gelegt. Die konstante Größe der Trichter wird dabei so bestimmt, dass die Vereinigung aller Kreisflächen insgesamt der vorgeschriebenen Fläche der Risikozone entspricht. Dieses Vorgehen kann durch das R-Skript *highriskzone_fixed_area* berechnet werden. Festzulegende Größen sind in Abbildung 1b dargestellt: Neben den Trichtern (Punktlayer) und dem Untersuchungsgebiet (Polygonlayer) muss ausschließlich die *area*, die erwünschte Fläche der Risikozone in Hektar festgelegt werden.

3.1.3 Quantil-basierte Methode

Dieser Ansatz entspricht einer Erweiterung der oben genannten Konstruktionsmechanismen, in dem die Radien der Kreisflächen um die Trichter datengesteuert gewählt werden. Er kann durch das R-Skript *highriskzone_quantile* ausgeführt werden. Statt den Radius a priori zu spezifizieren wird hier die Verteilung der Abstände der Trichter zu ihrem jeweils *nächsten Nachbarn* betrachtet. Als ersten Schritt in diesem Ansatz wird für jeden Trichter die euklidische Distanz zum jeweils am nächsten liegenden Trichter ermittelt. Der Radius der Kreisflächen wird dann durch ein bestimmtes Quantil dieser Distanzen festgelegt. Default Einstellung ist das 95%-Quantil der Verteilung der kleinsten Distanzen. Benötigte Größen zur Konstruktion sind also die Trichter (Punktlayer), das Untersuchungsgebiet (Polygonlayer) sowie das gewünschte Quantil (siehe Abbildung 1c). Für mehr Infos zu diesem Ansatz, siehe [2, Kapitel 4.2].

3.1.4 Risikobasierte Zone mit fester Fläche

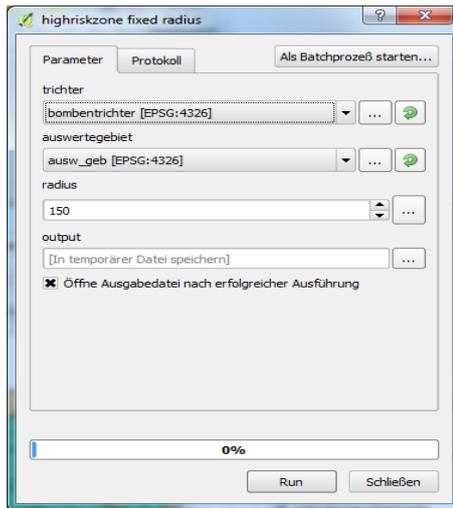
Aus den im Untersuchungsgebiet beobachteten Trichterlokationen wird eine *Risikokarte* (also die Intensität des Blindgängerprozesses) geschätzt (siehe [2, Kapitel 4.3.2]). Da die Risikozone eine festgelegte Größe haben soll werden Bereiche des Untersuchungsgebietes mit dem höchsten Blindgängerrisiko bis zur erwünschten Flächengröße zusammengefasst. Dieser Bereich wird dann als Risikozone ausgegeben. Der Ansatz ist in R-Skript *high-riskzone_intens_area* implementiert. Zur Berechnung benötigte Größen sind die Trichter Lokationen (Punktlayer), das Auswerteggebiet (Polygonlayer) sowie die gewünschte Größe der Fläche in Hektar (Abbildung 1d).

3.1.5 Risikobasierte Zone mit Beschränkung des Risikos pro Flächeneinheit

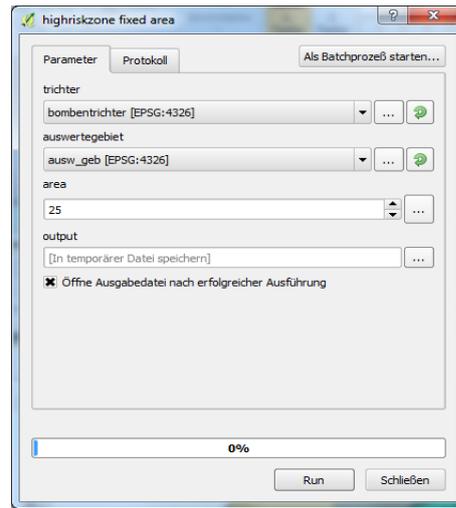
Es wird ein Grenzwert (*threshold*) des Blindgängerrisikos pro Flächeneinheit (pro Hektar) festgelegt, welcher außerhalb der Risikozone nicht überschritten werden darf. Alle Bereiche des Untersuchungsgebietes welche ein höheres Blindgängerrisiko aufweisen werden zur Risikozone zusammengefasst. Intuitiv kann das Blindgängerrisiko als erwartete Anzahl von Blindgängern pro Hektar interpretiert werden. Dieser Ansatz ist in dem R-Skript *highriskzone_intens_threshold* implementiert. Benötigte Inputparameter (siehe Abbildung 1e) sind die Trichterlokationen (Punktlayer), das Untersuchungsgebiet (Polygonlayer), die konstante Blindgängerwahrscheinlichkeit (Default Einstellung *blindgaengerwsk* = 0.15) sowie der gewünschte Threshold an maximal zu erwartenden Blindgänger pro km^2 an einer Stelle außerhalb der Risikozone (Default ist *threshold* = 1).

3.1.6 Risikobasierte Zone mit Beschränkung des Gesamtrisikos

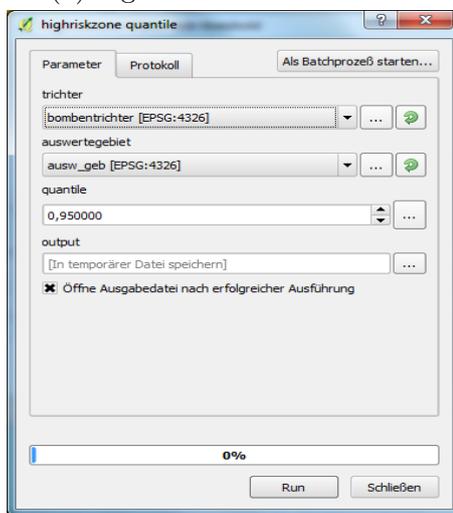
Es wird ein Gesamtrisiko α festgelegt, welches der Wahrscheinlichkeit entspricht, dass mindestens ein Blindgänger im Untersuchungsgebiet außerhalb der konstruierten Risikozone liegt. Es wird nun die kleinste Zone im Untersuchungsgebiet gesucht, welche das Gesamtrisiko eines Blindgängers außerhalb der Risikozone kleiner als α hält. Dieses Vorgehen ist in R-Skript *highriskzone_intens_alpha* implementiert, benötigte Größen zur Berechnung sind: Trichterlokationen im Untersuchungsgebiet (Punktlayer), das Untersuchungsgebiet (Polygonlayer), die Blindgängerwahrscheinlichkeit (Default 0.15) und das erwünschte Gesamtrisiko (Default α = 0.2), siehe Abbildung 1f.



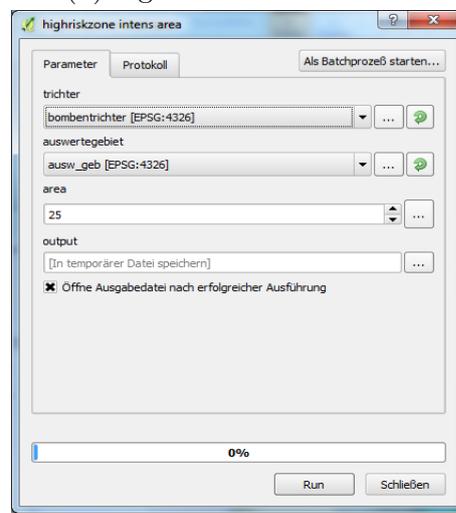
(a) highriskzone_fixed_radius



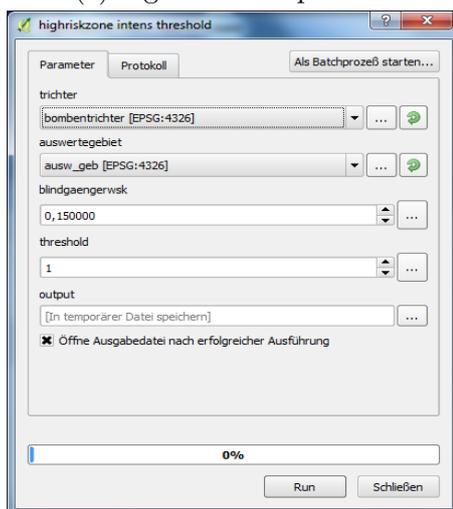
(b) highriskzone_fixed_area



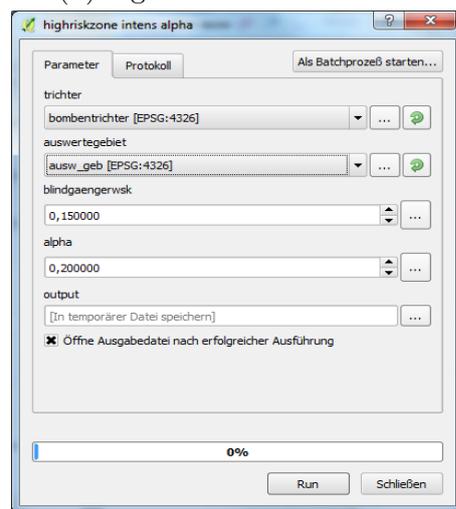
(c) highriskzone_quantile



(d) highriskzone_intens_area



(e) highriskzone_intens_threshold



(f) highriskzone_intens_alpha

Abb. 1: Masken zur Spezifikation der relevanten Layer und Parameter für Berechnung von Risikozonen in QGIS

3.2 Risikozonen für Spezialfälle

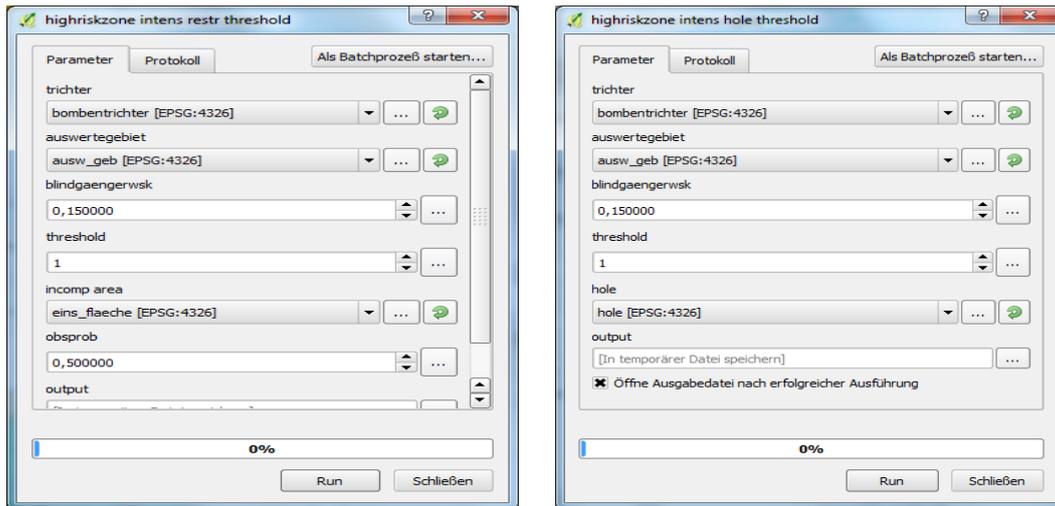
Weitere Ansätze zur Berechnung von Risikozonen sind für Spezialfälle konstruiert. Die ersten beiden können in Situationen benutzt werden, in denen Trichter explodierter Bomben in Teilbereichen des Untersuchungsgebietes nicht oder nur unvollständig erhoben werden konnten. Der dritte Ansatz ermöglicht die Berechnung von Risikozonen, wenn Trichter in einem Auswertungsgebiet kartiert wurden, welches größer als das eigentliche Untersuchungsgebiet ist. Alle Ansätze beruhen auf der risikobasierten Schätzung mit Beschränkung des Gesamtrisikos im Untersuchungsgebiet.

3.2.1 Risikobasierte Schätzung bei eingeschränkten Trichterbeobachtungen im Untersuchungsgebiet

Über das R-Skript *highriskzone_intens_restr_alpha* (Eingabemaske in Abbildung 2a) kann eine Schätzung mit Beschränkung des Gesamtrisikos durchgeführt werden, wobei bei Schätzung der Intensität (“Risikokarte”) Teilgebiete des Untersuchungsgebietes berücksichtigt werden, in denen Trichter explodierter Bomben nur mit einer Wahrscheinlichkeit < 1 beobachtet werden konnten (beispielsweise in Waldgebieten o.ä.). Zusätzlich zu den Layern der beobachteten Trichter (Punktlayer) sowie dem Untersuchungsgebiet (Polygonlayer), der Blindgängerwahrscheinlichkeit und dem erwünschten Gesamtrisiko eines Blindgängers im Untersuchungsgebiet außerhalb der Risikozone, α , muss der Bereich mit eingeschränkter Beobachtungswahrscheinlichkeit der Trichter (*incomp area*) als Polygonlayer sowie die Beobachtungswahrscheinlichkeit in diesem Bereich (*obsprob*, mit Defaultwert 0.5) spezifiziert werden. In der Schätzung der Risikokarte wird die eingeschränkte Beobachtungswahrscheinlichkeit in diesem Bereich berücksichtigt und die endgültige Berechnung der Risikozone erfolgt analog zur Berechnung im Falle der risikobasierten Zone mit Beschränkung des Gesamtrisikos, allerdings an Hand dieser neu berechneten Risikokarte welche teilweise unbeobachtete Trichter in einem Gebiet berücksichtigt.

Eine solche Berücksichtigung von Einschränkungsf lächen kann auch bei der Berechnung von Risikozonen mit Beschränkung des Risikos pro Flächeneinheit erfolgen. Um dies in QGIS durchzuführen kann das R-Skript *highriskzone_intens_restr_threshold* verwendet werden.

Liegen Bereiche im Untersuchungsgebiet die aufgrund von fehlenden Luftbildern, Wasserfläche im Gebiet o.ä. überhaupt nicht bezüglich möglicher Trichter untersucht werden konnten kann das Skript *highriskzone_intens_hole_alpha*, bzw. *highriskzone_intens_hole_threshold*



(a) highriskzone_intens_restr_alpha

(b) highriskzone_intens_hole

Abb. 2: Risikozonen bei vorhandenen Einschränkungsf lächen

zur Schätzung verwendet werden. Die “Löcher” im Untersuchungsgebiet können über ein Polygonlayer spezifiziert werden und werden bei der Berechnung der Risikokarte berücksichtigt. Die zugehörige QGIS Eingabemaske ist in Abbildung 2b dargestellt.

3.2.2 Risikobasierte Schätzung bei größerem Auswertebiet

Liegen Trichterbeobachtungen außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes vor, ist es notwendig und sinnvoll diese in der Schätzung der Risikozone für das Untersuchungsgebiet zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere dann wenn die zusätzlichen Trichterbeobachtungen direkt am Rand oder nur leicht außerhalb des Untersuchungsgebietes liegen. Prinzipiell könnten natürlich alle Verfahren (insbesondere die *Threshold*-basierten zur Beschränkung des Risikos pro Flächeneinheit) direkt auf das größere Auswertebiet angewandt werden. Besonders bei dem vorgestellten Verfahren der risikobasierten Schätzung mit Beschränkung des Gesamtrisikos ist es allerdings wünschenswert das Gesamtrisiko eines übersehenen Blindgängers auf das Untersuchungsgebiet zu beschränken und nicht die Risikozone basierend auf Abschätzungen über dem gesamten Auswertebiet zu konstruieren. Risikozonen die basierend auf dem gleichen Gesamtrisiko eines Blindgängers außerhalb der Risikozone aber auf unterschiedliche großen Gebieten konstruiert werden sind nicht vergleichbar.

Der Ansatz in R-Skript *highriskzone_intens_unders_ausw* schätzt die *Risikokarte*, bzw. Intensität des Blindgängerprozesses auf dem gesamten Auswertebiet, also basierend auf allen beobachteten Trichtern. Basierend auf dieser Risikokarte wird dann auch die

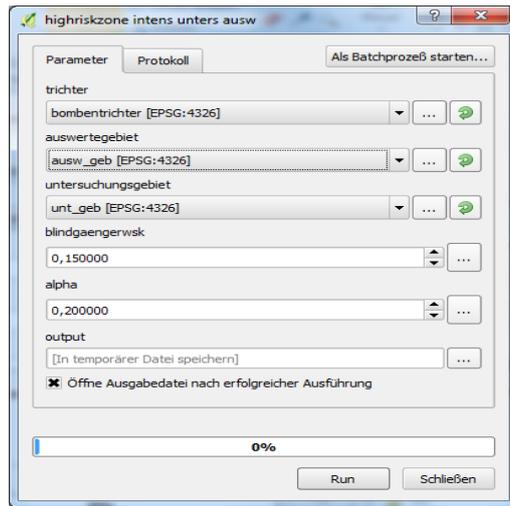


Abb. 3: highriskzone_intens_unters_ausw

Risikozone berechnet. Die Grenze der Zone wird allerdings so gewählt, dass das maximale Gesamtrisiko eines Blindgängers α außerhalb der Risikozone auf der verbleibenden Fläche im Untersuchungsgebiet eingehalten wird und nicht im gesamten Auswertebereich. Abbildung 3 stellt die Eingabemaske zur Berechnung in QGIS dar, benötigte Größen und Parameter sind die beobachteten Trichter im Auswertebereich (Punktlayer), das Auswertebereich sowie das Untersuchungsgebiet (jeweils Polygonlayer), die angenommene Blindgängerwahrscheinlichkeit, sowie das gewünschte maximale Gesamtrisiko eines Blindgängers außerhalb der Risikozone aber im Untersuchungsgebiet α .

Wird statt der Konstruktion der Risikozone über das Gesamtrisiko eines Blindgängers außerhalb der Risikozone im Untersuchungsgebiet eine Konstruktion über Beschränkung des Risikos pro Flächeneinheit durchgeführt, kann der Ansatz aus Abschnitt 3.1.5 auf das gesamte Auswertebereich angewandt werden und produziert valide Ergebnisse im Untersuchungsgebiet. Auch die einfachen Ansätze aus Abschnitt 3.1.1 und 3.1.3 müssen im Falle eines größeren Auswertebereiches nicht weiter angepasst werden.

4 Zusätzliche Funktionalität in R-Paket highriskzone

Die Ausgabe einer berechneten Risikozone erfolgt in QGIS stets über ein Polygonlayer welches dann visuell analysiert und in Relation zu Resultaten anderer Konstruktionsansätze oder geographischen Informationen (Karten, etc.) gesetzt werden, bzw. in QGIS weiterverarbeitet werden kann. Im Gegensatz dazu wird in R das Ergebnis der Konstruktion einer Risikozone (durchführbar über die R Funktionen `det_hrz()`,

`det_hrz_restr()`, bzw. `det_hrz_eval_ar()` aus dem *highriskzone* Paket) in einem *Listen* Objekt der Klasse `highriskzone` gespeichert. Neben der räumlichen Information der geschätzten Risikozone enthält dieses Objekt (je nach Konstruktionsmethode) weitere Angaben, welche zusätzliche Informationen enthalten beziehungsweise Grundlage zu weiteren Berechnungen sein können. Für die intensitätsbasierten Konstruktionsmethoden sind dies u.a.:

- Das gewählte Kriterium zur Konstruktion, also entweder der spezifizierte Threshold, das gewünschte Gesamtrisiko α , oder die erwünschte Fläche der Risikozone.
- Nach Konstruktion der Risikozone lässt sich dann das jeweilige andere Kriterium berechnen. Wurde die Risikozone basierend auf einer Beschränkung des Risikos pro Flächeneinheit außerhalb der Zone konstruiert, lässt sich das Gesamtrisiko der Existenz von Blindgänger außerhalb der Zone nachträglich berechnen und ist in dem Listeneintrag `calccutoff` gespeichert. Wurde die Risikozone hingegen basierend auf einem erwünschten Gesamtrisiko α konstruiert ist der daraus abgeleitete Cutoff der Risikokarte (maximales Risiko pro Flächeneinheit außerhalb der Zone) in dem Listeneintrag `threshold` hinterlegt.
- Ebenfalls in dem `highriskzone` Objekt enthalten sind Informationen bezüglich der Schätzung der Punktprozess-Intensität, bzw. Risikokarte. So ist die Kovarianzmatrix des für die Konstruktion der Intensität geschätzten bivariate Gauss-/Normalverteilungskern unter dem Eintrag `covmatrix` gespeichert.
- Für weitere Informationen bezüglich der Struktur der Objekte und dem Aufbau des R-Paketes insgesamt sei auf [2, Kapitel 8] und insbesondere auf die aktualisierte interne Dokumentation/Hilfe des R-Paketes selbst hingewiesen.

Ein Beispiel für die zusätzliche Funktionalität des *highriskzone* R-Pakets ist die Funktion `det_guard_width()` über die für eine intensitätsbasiert geschätzte Risikozone eine Pufferzone abgeschätzt werden kann, das bedeutet eine Zone um das eigentliche Untersuchungsgebiet herum, in der die Existenz von weiteren Bombentrichtern die Risikozone innerhalb des Untersuchungsgebietes verändern könnte. Werden (nachträglich) Trichter in dieser Pufferzone kartiert, kann die Vereinigung von Untersuchungsgebiet und Pufferzone als Auswerteggebiet angesehen werden und eine Risikozone für das Untersuchungsgebiet kann über das Verfahren beschrieben in Absatz 3.2.2 bzw. die R-Funktion `det_hrz_eval_ar()` berechnet werden. Im Anhang dieses Dokumentes ist ein kurzes Beispielskript enthalten wie Risikozonen direkt in R geschätzt werden können und die Breite einer Pufferzone für

das Untersuchungsgebiet geschätzt werden kann. Im *highriskzone* R-Paket ist eine umfangreiche Dokumentation der einzelnen Funktionen enthalten, innerhalb von R können diese *Hilfeseiten* pro Funktion über `?Funktionsname`, also z.B. `?det_hrz`, aufgerufen werden.

Quellen

- [1] H. Küchenhoff and F. Günther. Ein Risiko-basiertes Verfahren zur Berechnung von Sicherheitszonen aus kartierten Bombentrichtern. Technical report, 2017.
- [2] M. Mahling. *Determining high-risk zones by using spatial point process methodology*. Cuvillier Verlag, 2013.
- [3] M. Mahling, M. Hoehle, and H. Küchenhoff. Determining high-risk zones for unexploded World War II bombs by using point process methodology. *Journal of the Royal Statistical Society Series C-Applied Statistics*, 62(2):181–199, 2013.
- [4] QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project., 2016.
- [5] R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing, 2016. URL <https://www.r-project.org/>.
- [6] H. Seibold, M. Mahling, S. Linne, and F. Guenther. highriskzone: Determining and Evaluating High-Risk Zones, 2017. URL <https://cran.r-project.org/package=highriskzone>.

Anhang: Beispielskript R-Auswertung

```
# Lade das Paket highriskzone um Funktionalität zugänglich zu machen
library(highriskzone)
# Daten einlesen
# Daten zu beobachteten Trichtern oder dem Untersuchungsgebiet können
# über die Funktionen readShapePoints() und readShapePoly() aus dem
# "mapproj" Paket aus Shapefiles geladen werden. Dazu muss in die Funktionen
# der Pfad zu den Dateien übergeben werden.
# Durch die Funktion read_pppdata() können diese Dateien dann in ein
# "ppp" Objekt überführt werden, welches Untersuchungsgebiet und beobachtete
# Trichter beinhaltet.
# Hier wird ein Beispieldatensatz im "ppp" Format zur Illustration verwendet, der
# bereits im highriskzone Paket enthalten ist.
data("craterA")
# Schätzung von intensitätsbasierter Risikozone mit direkt spezifizierter
# Grenze des Blindgängerrisikos pro m2 außerhalb der Risikozone  $c=1 \cdot 10^{-6}$ 
hrz <- det_hrz(craterA, type = "intens", criterion = "direct",
              cutoff = 1e-6, nxprob = 0.1)
# Grafische Darstellung der geschätzten Risikozone
plot(hrz, pattern = craterA, plotpattern = TRUE, plotwindow = TRUE,
     main = "Risikozone")
```

Risikozone



```

# Zugang zu Kennzahlen der Risikozone
# Spezifizierter Risikogrenzwert
hrz$threshold

## [1] 1e-06

# Resultierendes Gesamtrisiko alpha
round(hrz$calccutoff, 3)

## [1] 0.27

# Berechnung des maximalen Bereichs (Puffergröße) in dem 4 zusätzliche Trichter
# nahe beieinander Veränderung der Risikozone im Untersuchungsgebiet erzeugen können
# falls Intensität in diesem Bereich vorher 0 betragen hat.
# Konstante Breite der benötigten Pufferzone um Untersuchungsgebiet in m
guard.width <- det_guard_width(hrz, thresh_const = 1/4)
round(guard.width, 0)

## [1] 227

```