

## Erstellen einer GIS-gestützten Gefahrenkarte für die oberflächennahen Hohlräume in Mendig (Vordereifel)

GESA AMSTUTZ & BARBARA BOCK & ANSGAR WEHINGER & MICHAEL ROGALL

**Kurzfassung:** Unter der Stadt Mendig in der Vordereifel (Rheinland-Pfalz) ist in einer Tiefe von lediglich etwa 15 bis 25 m ein ausgedehntes Hohlraumsystem vorhanden. Die Hohlräume entstanden vorwiegend im 19. Jahrhundert und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch die bergmännische Gewinnung von Basalt im Kammer-Pfeiler-Bau. Das Tragwerk wird aus stehen gelassenen Basaltpfeilern und der Firste gebildet. Für die Standsicherheit der Hohlräume sind verschiedene stabilitäts-erhaltende und stabilitätsmindernde Faktoren, wie beispielsweise Pfeiler, Firstsicherungen und natürliche Firststrukturen ausschlaggebend.

Um die Standsicherheit der Hohlräume einheitlich, objektiv, vom Bearbeiter unabhängig und repräsentativ zu bewerten, wurde ein Matrixsystem mit verschiedenen Bewertungskriterien erstellt und in einer GIS-gestützten Gefahrenkarte dargestellt. Der vorliegende Artikel beschreibt die Vorgehensweise mit der Erstellung eines Rasters, Festlegen und Aufsummierung der Bewertungspunkte sowie Darstellung in einer Karte. Am Beispiel eines Ausschnittes der ingenieurgeologischen Karte werden eine manuell und eine über das Matrixsystem erstellte Gefahrenkarte verglichen.

**Abstract:** Under the city of Mendig (Rhineland-Palatinate) extensive underground mines remain from former mining activities of the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century. The cavities have a room-and-pillar structure in a shallow depth of about 15–25 m. There are a lot of different structural elements that have a positive or negative influence on the stability conditions of the mine. These are for example the pillars and the structure and condition of the roof sections.

To evaluate the stability of the cave, an objective and independent matrix including the different structural elements was developed and the so calculated risk map was visualized in a GIS. In this article, the procedure and the development of the matrix and the consequential map are described. In addition a manually drawn map is compared with the matrix-based one.

### 1. Einleitung

Die Stadt Mendig befindet sich im Landkreis Mayen-Koblenz in der Vordereifel etwa 25 km nordwestlich von Koblenz nahe dem Laacher See. Niedermendig ist bekannt für den historischen Abbau des dort anstehenden porösen, quartären Basalts des Oberen Niedermendiger Lavastroms. Die ersten nachgewiesenen Abbauprodukte dieses Lavastroms befinden sich am Gründungsbau der Abteikirche Maria Laach, die von 1093 bis 1100 erbaut wurde (SCHUHMACHER & MEYER 2012). Der Basalt wurde über Jahrhunderte vor allem zur Herstellung von Mühlsteinen abgebaut. Er wurde zum Teil im Tagebau, aber auch im Tiefbau gewonnen, sodass als Folge umfangreiche

Hohlräume in einer Tiefe von lediglich 15 bis 25 m unter der Geländeoberfläche entstanden. Aufgrund von Instabilitäten der Tragwerke der oberflächennahen Abbaue ist mit Tagesbrüchen zu rechnen, die sich in der Vergangenheit bereits ereignet haben. Ein Teil der Hohlräume wurde bereits in den 1980er und 1990er Jahren vom damaligen Geologischen Landesamt Rheinland-Pfalz vermessen und geotechnisch aufgenommen. Diese Ergebnisse sind in Gutachten sowie ingenieurgeologischen Karten dokumentiert (KERZAN et al. 1995, JAHNEL et al. 1996).

Seit dem Sommer 2010 rückte die Standsicherheit der untertägigen Hohlräume aufgrund von Erschütterungen, die durch eine missglückte Sprengung in einem aktiven Basalttagebau entstanden, wieder in den Fokus. In der Folge beauftragte das Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz das Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB) mit der geotechnischen Aufnahme und Gefährdungsbewertung der zugänglichen Hohlräume in Niedermendig. Im Zuge dieser Arbeiten sollten auch neue Methoden entwickelt werden, um das von der Altbergbau-Problematik betroffene Gebiet effizient nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik untersuchen zu können (ROGALL et al. 2011, WEHINGER & ROGALL 2012).

Die Vorgehensweise bei der Kartierung, die Erläuterung der verschiedenen Stabilitätserhaltenden und -mindernden Elemente und Strukturen sowie die Erstellung einer Gefährdungsmatrix für die tragenden **Pfeiler** wurden bereits in AMSTUTZ et al. (2013) beschrieben. Hierauf aufbauend wurde eine Gefährdungsmatrix für sämtliche Standsicherheitsrelevanten Merkmale der **Hohlräume** entwickelt. Die vorliegende Publikation dokumentiert die Erstellung einer GIS-gestützten Gefahrenkarte für die Hohlräume in Niedermendig und stellt somit eine Weiterentwicklung der Gefährdungsmatrix für die Pfeiler dar.

## 2. Geologie und Bergbau

In der Eifel, die Teil des linksrheinischen Schiefergebirges ist, brachen im Tertiär und Quartär mehr als 350 Vulkane aus. Die beiden Vulkangebiete des quartären Vulkanismus lagen in der Osteifel mit dem Zentrum Laacher See und in der Westeifel mit einer Vulkankette von Bad Bertrich bis nach Ormont (ROTHE 2006).

Die beiden Lavaströme im Bereich Niedermendig sind am Wingertsberg-Vulkan ausgeflossen. Das Gestein des Unteren Niedermendiger Lavastrom (Alter: 300 000 Jahre) wird als kompakter und blasenarmer Leuzit-Nephelin-Tephrit eingestuft. Im Hangenden folgt der Obere Niedermendiger Lavastrom mit einem Alter von ca. 150 000 Jahren. Petrographisch wird das Gestein als Nephelin-Leuzit-Tephrit mit Grundgebirgseinschlüssen beschrieben (MEYER 1994, SCHUHMACHER & MEYER 2012). Der Obere Niedermendiger Lavastrom ist etwa zweieinhalb Kilometer lang, bis zu 25 m mächtig und durch seine hohe und gleichmäßige Porosität von 15 bis 29 Vol-% gekennzeichnet (WEHINGER 2004). Wegen dieser Porosität und der dadurch bedingten sehr guten Eignung zur Mühlsteingewinnung und der einfachen Bearbeitungsmöglichkeit wurde der Basalt des Niedermendiger Lavastromes bereits seit dem 18. Jahrhundert bergmännisch in Tage- und Untertagebauen gewonnen. Die Hohlräume mit einer Gesamtfläche von ca. 190 000 m<sup>2</sup> befinden sich zum größten Teil im Bereich der Laacher-See-Straße und der Brauerstraße von Mendig. Die oberflächennahen Hohlräume im Oberen Niedermendiger Lavastrom sind im Kammer-Pfeiler-Bau angelegt. Die Höhe der Abbaukammern ist unterschiedlich ausgeprägt und reicht von wenigen Dezimetern (nach Wiederverfüllung) bis zu mehr als 12 Metern. Die Abstände zwischen den Förderschächten, über die die Werksteine an die Oberfläche befördert wurden, betragen in der Regel 10 bis 50 Meter. Oftmals wurden diese Schächte später durch Basaltabschläge, Bims und/oder Müll verfüllt (ROGALL 2007).

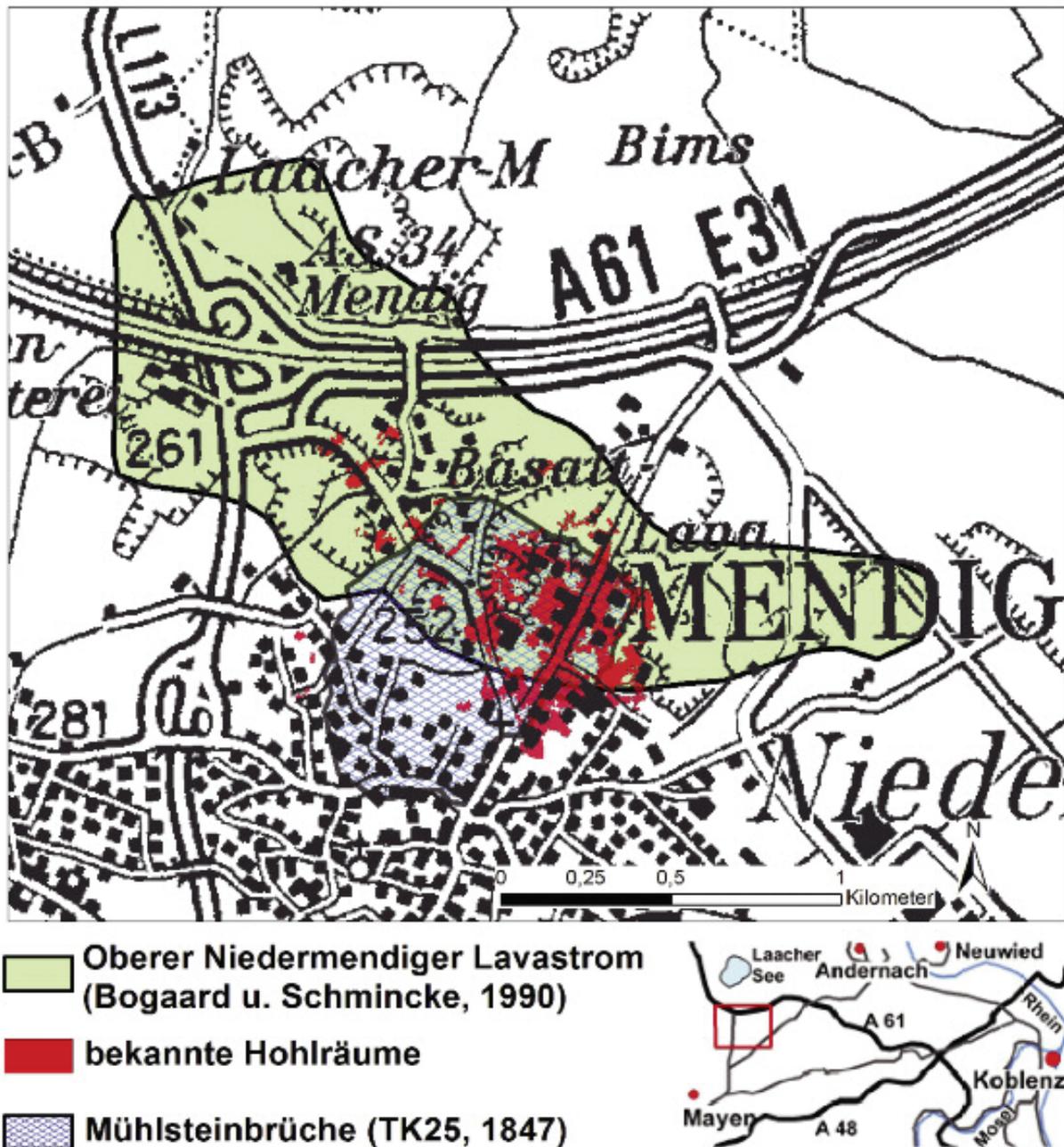


Abb. 1: Lage des Oberen Niedermendiger Lavastroms sowie der bekannten Hohlräume und der Verbreitung der Mühlsteinbrüche gemäß der preußischen Uraufnahme des Jahres 1847.

### 3. Pfeilerbewertung

#### 3.1. Einführung

Zur Beurteilung der Standsicherheit der oberflächennahen Abbaugelände in Niedermendig wird in den zugänglichen Hohlräumen eine neue und vollständige ingenieurgeologische Kartierung durchgeführt. Diese ingenieurgeologische Aufnahme geschieht im Rahmen des Projektes Mendig des LGB seit dem Jahr 2011 (ROGALL et al. 2011, WEHINGER & ROGALL 2012, MASSENKEIL 2012, ROTHE 2013). Insgesamt wurden in



Abb. 2: Beispiele für standsicherheitsrelevante Hohlräumelemente in Niedermendig. Diese und andere Merkmale werden lagegenau bei der ingenieurgeologischen Kartierung durch das LGB erfasst. Das Foto oben links zeigt einen Ausbruch aus der Firste, das Foto oben rechts nachgesackte Glocken. Unten links ist ein „Red Crack“ zu sehen, der eine natürliche Schwächezone darstellt. Unten rechts ist ein natürlicher Restpfeiler mit den umliegenden Firstbereichen dargestellt. An der Firste befinden sich Klemmkeile aus Holz und Metall (Fotos: Wehinger).



Abb. 3: Weitere Beispiele für standsicherheitsrelevante Hohlräumelemente in Niedermendig. Diese und andere Merkmale werden lagegenau bei der ingenieurgeologischen Kartierung durch das LGB erfasst. Das Foto oben zeigt einen übertägigen Aufschluss mit der z. T. rötlich ausgebildeten Schweißschlacke am Top des Lavastroms, die hier eine ungewöhnlich hohe Mächtigkeit von etwa 3 m hat. Das Foto unten zeigt das sogenannte „Rauschpel Säß“, eine unebene, höckrige, meist horizontale Flächenbildung der Glocken (Fotos: Wehinger (oben), Amstutz (unten)).

Niedermendig bisher 83 000 m<sup>2</sup> geotechnisch kartiert und ingenieurgeologisch bewertet (Stand: 31.12.2013).

Die ersten ingenieurgeologischen Karten wurden nach einem Tagesbruch auf dem Gelände des Sportplatzes in Niedermendig im Jahre 1988 vom damaligen Geologischen Landesamt Rheinland-Pfalz erstellt und den Gutachten von KERZAN et al. 1995 und JAHNEL et al. 1996 beigelegt. Anschließend wurden diese ingenieurgeologischen Karten von SCHERSCHEL 1999 und später dem Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz erweitert und durch das geotechnische Erfassen weiterer Hohlräume ergänzt. Zurzeit umfasst die ingenieurgeologische Karte von Niedermendig 23 Kartenblätter mit einer erfassten Gesamtfläche von ca. 190 000 m<sup>2</sup>. Um die Grubenbaue ingenieurgeologisch bezüglich ihrer Standsicherheit bewerten zu können, werden bei der Kartierung die dafür notwendigen Elemente und Strukturen als Sachdaten mittels eigens vom Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz erstellter Formblätter erhoben. Dabei spielen die Geometrie und die Abmessungen der Abbaukammern sowie die Tragwerke eine entscheidende Rolle. Bei der Datenaufnahme und den anschließenden Auswertungen werden die Pfeiler des Hohlraumes gesondert betrachtet und bewertet (AMSTUTZ et al. 2013).

### 3.2. Pfeilerformblatt

Jeder Pfeiler erhält eine eindeutige Nummer, die sich aus dem Kartenblatt, dem Hohlraumbereich sowie der Pfeilernummer zusammensetzt. Demnach erhalten Pfeiler Bezeichnungen wie zum Beispiel P220501, wobei P für Pfeiler, 22 für das Kartenblatt und 05 für den Hohlraumbereich steht. Die letzten beiden Ziffern (01) beschreiben die Nummer des Pfeilers im definierten Hohlraum.

Die Formblätter sowie die matrixgestützte, ingenieurgeologische Bewertung mit der Datenspeicherung in einer Pfeilerdatenbank für die Restpfeiler der untertägigen Hohlräume in Niedermendig wurden von AMSTUTZ et al., 2013, vorgestellt und diskutiert.

In der Folge hierzu ist, im Zuge der Einführung des matrixgestützten Bewertungsprogrammes, das Formblatt für die Pfeiler der oberflächennahen Grubenbaue weiterhin angepasst worden. Hierbei wurde besonders auf die Vermeidung von Fehlern während der Datenerhebung und der Datenübertragung Wert gelegt, sodass die Abfragefelder des Formblattes denen des Bewertungsprogrammes für die natürlichen Restpfeiler entsprechen. Ergänzend kann der Bearbeiter Zusatzinformationen in mehreren Freitextfeldern aufnehmen, die dann auch in die Datenbank der Restpfeiler eingepflegt werden. Das aktualisierte Pfeilerformblatt ist in Abb. 4 dargestellt.

Die zur Bewertung der Standsicherheit der untertägigen Restpfeiler in Niedermendig entwickelten Strukturelemente wurden in den ingenieurgeologischen Gutachten von KERZAN et al. 1995 sowie JAHNEL et al. 1996 bereits vorgestellt und in den nachfolgenden Jahren verfeinert. Das im Jahr 2013 ausgearbeitete, vom Bearbeiter unabhängige Bewertungsprogramm für die natürlichen Restpfeiler basiert auf der Aufsummierung von Bewertungspunkten (AMSTUTZ et al. 2013).

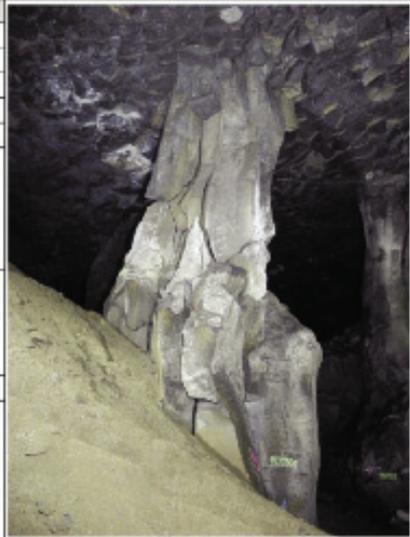
---

Abb. 4: Pfeilerformblatt des LGB zur Aufnahme der untertägigen Tragwerke aus natürlichen oder künstlichen Pfeilern (Stand: 31.03.2014).

Hohraumkartierung		Rheinland-Pfalz LANDSCHAFTS- UND GEOLOGIE			
Hohlraum	H22	Bearbeiter	K. Kurz	Ostwert 32N	Anlage 3.1.11
Pfeiler	P220501	Datum	August 2013	Nordwert 32N	

Pfeilerausbildung	
Art	natürlicher Basaltpfeiler
Pfeilerhöhe [m]	12,8
Durchmesser [m]	(min) 1,50 m (max) 3,60 m
Schlankeitsgrad	(Ø) 5,0 (max) 8,5
Säulenanzahl	(Sohle) 2 (Firste) 5
Feisspion	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Nr.: <input type="text" value="ohne Kernung"/> Bemerkung: <input type="text" value="Pfeiler sollte überwacht werden"/>
Sicherungen	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein Art: <input type="text"/> Zustand der Sicherungen auswählen
Pfeilerform	schwach gekrümmt
Allgemeine Bemerkungen	Pfeiler sollte überwacht werden

Primäre Trennflächen					
Vertikalklüfte (kA)	Gabelungsklüfte (kG)		Horizontalklüfte (kH)		
Öffnungswelle max. <input type="text" value="150"/> mm  Erstreckung <input type="checkbox"/> Klüfte nicht durchgängig <input checked="" type="checkbox"/> Klüfte durchgängig	Anzahl <input type="checkbox"/> keine <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> mehrere <input type="checkbox"/> viele	Öffnungswelle <input type="checkbox"/> keine kG <input checked="" type="checkbox"/> < 1 mm <input type="checkbox"/> 1 bis 3 mm <input checked="" type="checkbox"/> > 3 mm max. <input type="text" value="200"/> mm	Anzahl <input type="checkbox"/> keine <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> mehrere <input type="checkbox"/> viele	Öffnungswelle <input type="checkbox"/> keine kH <input checked="" type="checkbox"/> < 1 mm <input type="checkbox"/> 1 bis 3 mm <input type="checkbox"/> > 3 mm max. <input type="text"/> mm	Anzahl betroffener Säulen <input type="checkbox"/> keine <input checked="" type="checkbox"/> wenige Säulen des Pfeilers betroffen <input type="checkbox"/> viele/alle Säulen betroffen
Bemerkungen: kA und kG durch Verstärkungen erweitert, ebenso kH mit Versatz					

Sekundäre Trennflächen				Pfeilerzustand	
Risse		Brüche (SchBr, SpBr)		Abplatzungen	Bemerkungen
Anzahl <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> mehrere <input type="checkbox"/> viele	Öffnungswelle <input type="checkbox"/> keine Risse <input type="checkbox"/> < 1 mm <input type="checkbox"/> 1 bis 3 mm <input checked="" type="checkbox"/> > 3 mm max. <input type="text" value="10"/> mm	Anzahl <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> mehrere <input type="checkbox"/> viele	Öffnungswelle <input type="checkbox"/> keine Brüche <input type="checkbox"/> < 1 mm <input type="checkbox"/> 1 bis 3 mm <input checked="" type="checkbox"/> > 3 mm max. <input type="text"/> mm	<input type="checkbox"/> keine <input checked="" type="checkbox"/> kleinfächig <input type="checkbox"/> großfächig  <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> schwach <input checked="" type="checkbox"/> stark  <input type="checkbox"/> keine <input checked="" type="checkbox"/> schwach <input type="checkbox"/> stark	Abplz auf einer Teilsäule im Bereich der Rissbildungen. Zerr durch Rissbildungen im Übergangsbereich der Säulenstockwerke. Auflockerungen durch Verstärkung an kA und kG
Anzahl betroffener Säulen <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> wenige Säulen des Pfeilers betroffen <input checked="" type="checkbox"/> viele/alle Säulen des Pfeilers betroffen		Anzahl betroffener Säulen <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> wenige Säulen des Pfeilers betroffen <input checked="" type="checkbox"/> viele/alle Säulen des Pfeilers betroffen			
Bemerkungen: Riss- und Bruchbildungen im Übergangsbereich zum tieferen Säulenstockwerk und darüber					

Gefährdungsgrad	
Visuelle Einschätzung	sehr hoch
Berechnung	Gefährdungsgrad

P220501

## 4. Gefahrenkarte

### 4.1. Erstellen einer Gefahrenkarte

Das Ziel der Erstellung einer automatisierten Gefahrenkarte im Geoinformationssystem (GIS) für das Bergbaugesamt Niedermendig ist es, die Standsicherheit der untertägigen Grubenbaue einheitlich, objektiv, vom Bearbeiter unabhängig und repräsentativ zu bewerten und zu visualisieren.

Die technische und inhaltliche Entwicklung der GIS-Lösung ist in vier Phasen erfolgt (Abb. 5):



Abb. 5: Diagramm zur Erstellung der Gefahrenkarte in vier Phasen: Raster, Bewertungskriterien, Bewertung und Karte.

Die technische Umsetzung der automatisierten Gefahrenkarte zur Bewertung der Standsicherheit der oberflächennahen Hohlräume in Niedermendig geschieht mit Hilfe der ESRI Software ArcGIS 10.0, wobei zum Teil eine ArcInfo Lizenz erforderlich ist. Zunächst muss über das Untersuchungsgebiet ein Raster erstellt werden, welches als Bewertungsmaßstab gilt. Ziel ist es, den Rasterzellen am Ende Farben zuzuweisen, die das jeweilige Gefahrenpotential anzeigen. Die Farbzuzuweisung erfolgt über die Summe der Bewertungspunkte pro Zelle; die Merkmale werden zuvor durch die Zuweisung von Bewertungspunkten gewichtet. Vor der Auswertung wird die Summe aus allen Bewertungspunkten der Merkmale gebildet. Das in Abb. 6 aufgezeigte Flussdiagramm stellt schematisch die Vorgehensweise zum Erstellen der Gefahrenkarte im GIS dar.

#### 4.1.1. Raster

Als Bewertungsmaßstab wird zunächst ein Raster über das Untersuchungsgebiet gelegt. Die Maschenweite des Rasters wurde auf 2 Meter festgelegt, um eine möglichst genaue Bewertung, aber eine noch handhabbare Datenmenge zu erhalten. Die räumliche Ausdehnung des Rasters wird bei der Erstellung auf die Größe des Untersu-

chungsgebiets abgestimmt. Im Anschluss werden die Rasterdaten in Polygondaten umgewandelt, um die Kompatibilität mit der Geodateninfrastruktur des bestehenden GIS-Projektes Niedermendig zu gewährleisten.

### 4.1.2. Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien (siehe Tab. 1) spiegeln die standsicherheitsrelevanten Hohlraumstrukturelemente wider. Bei der Bewertung werden alle **Pfeilerarten** einer Gruppe zugeteilt und die **Firstsicherungen** werden, ebenso wie die **natürlichen Firststrukturen** in einer Gruppe zusammengefasst. Eine weitere Bewertungsgruppe bilden **Verbrüche** und eine letzte Gruppe stellen die **sonstigen Hohlraumelemente** dar. Während der technischen Umsetzung der automatisierten Gefahrenkarte werden diese Gruppierungen beibehalten.

Bei der Entwicklung der automatisierten Gefahrenkarte wurden die bereits nach Gefahren bewerteten Hohlraumbereiche (vgl. ROGALL et al. 2011) als Vorlage genutzt um die Bewertungskriterien festzulegen. Dabei wurde festgestellt, dass Verbruchgefährdungen größtenteils durch die Kombination aus gefährdeten Pfeilern, Verbrüchen in der Firste und Red Cracks resultieren. Zunächst wurde entschieden, ob ein Merkmal keinen, einen geringen, mittleren, hohen oder sehr hohen stabilitätsmindernden Einfluss auf den Hohlraum hat. Dies wurde in der Tabelle der Bewertungsmerkmale in der Spalte „Gewichtung“ mit den Sonderzeichen „+“, „++“, „+++“ und „++++“ abgebildet (vgl. Tab. 1). Merkmale, die die Stabilität eines Hohlraumes erhöhen, wie zum Beispiel Beton- oder Bullflexpfeiler oder professionell verfüllte Hohlraumbereiche, wurden mit den Zeichen „-“ bis „- - -“ gewichtet. Der Grad der stabilitätsmindernden und -erhaltenden Einflüsse wird durch die Höhe der Bewertungspunkte bestimmt (siehe Angaben in Tab. 1). Grundsätzlich gilt, dass Punktzahlen  $> 0$  einen stabilitätsmindernden und Punktzahlen  $< 0$  einen stabilitätserhaltenden Einfluss haben.

Die Merkmalbewertung erfolgt über das Festlegen von Bewertungspunkten. Zunächst muss in der Attributtabelle aller zu bewertenden Ursprungskriterien, wie zum Beispiel der natürlichen Restpfeiler, eine neue Spalte für die Bewertung eingefügt und deklariert werden. Diese Spalte wird mit den festgelegten Bewertungspunkten gefüllt, ein hilfreiches Werkzeug dafür ist die Feldberechnung, die ArcGIS innerhalb der Attributtabelle anbietet. Um den Einflussbereich einiger Bewertungskriterien abzubilden, können Punkt-, Linien- oder Polygonpuffer angewendet werden. Es ist anzunehmen, dass gefährdete Pfeiler nicht nur an ihrem exakten Standort eine Verbruchgefahr darstellen, sondern dass sie auch im angrenzenden Hohlraumbereich die Stabilität des Hohlraumes mindern. Im Untersuchungsgebiet werden beispielsweise die Pfeiler zur räumlichen Erweiterung des Gefahrenpotentials um einen gewissen Wirkradius gepuffert. Bei den natürlichen Tragwerken der Niedermendiger Hohlräume wurde daher ein Polygonpuffer von 2,5 m angewendet. Weitere gepufferte Merkmale sind: künstliche Pfeiler (1,5 m), Tagesbrüche (5 m), Red-Cracks (1,5 m), abgestürzte Glocken (3 m), verfüllte Hohlräume (4 m) und verklebte Firstbereiche (2 m). Während des Puffer-Prozesses entsteht eine neue Feature-Class als Ausgabedatei, welches dann fortan zur weiteren technischen Umsetzung der Gefahrenkarte genutzt wird. Der Puffer-Prozess kann vor oder nach dem Erstellen der Bewertungsspalte erfolgen.

Nachstehend werden die einzelnen Bewertungsgruppen beschrieben.

#### 4.1.2.1. Pfeiler

Die Bewertungsklasse der Pfeiler besteht aus den natürlichen Restpfeilern aus Basalt und aus allen künstlich errichteten Pfeilern, wie Mühlstein-, Bullflex- und Beton-

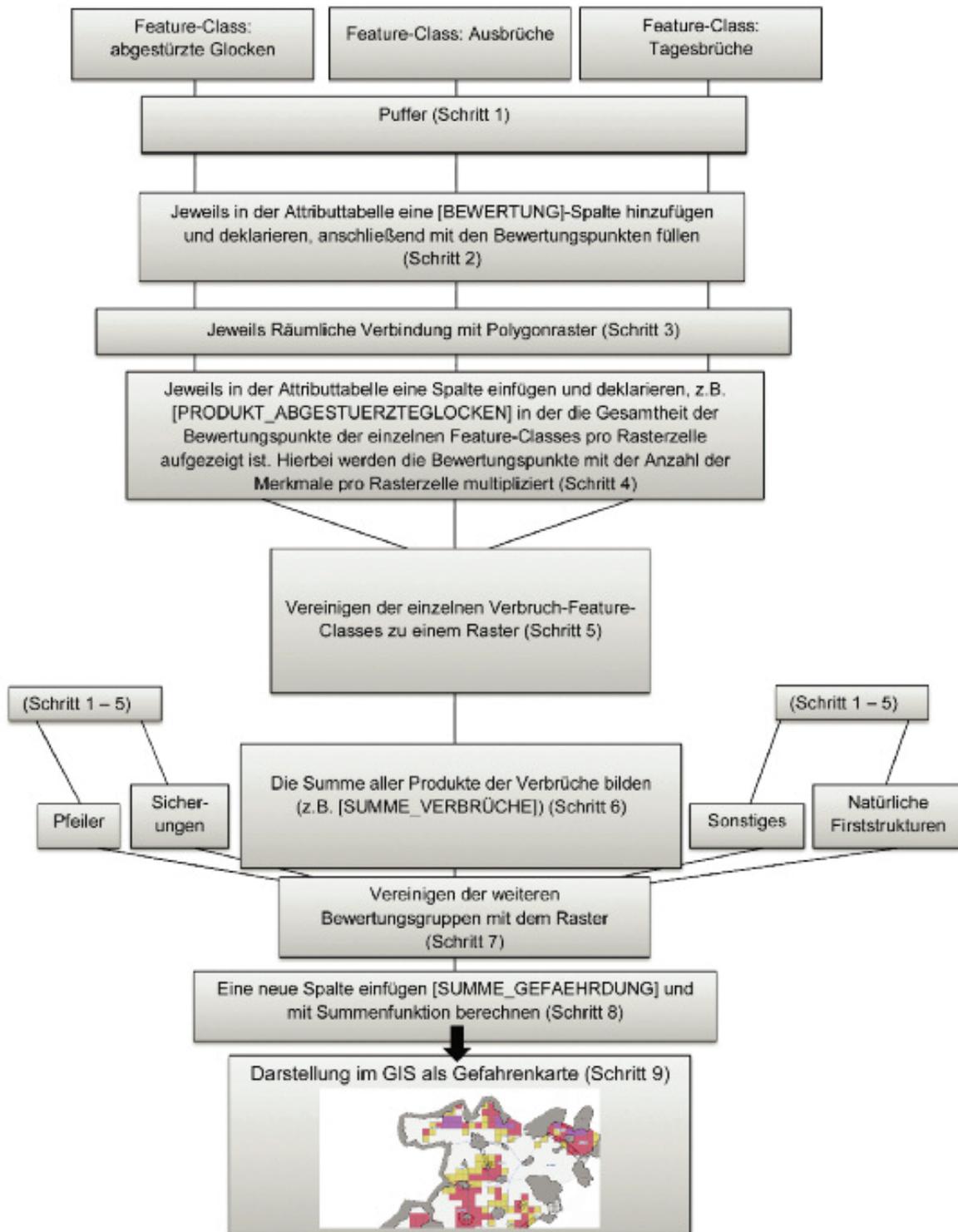


Abb. 6: Flussdiagramm zur Beschreibung der Vorgehensweise bei der Erstellung der Gefahrenkarte für die oberflächennahen Hohlräume in Niedermendig.

pfeilern. Da das Gefahrenpotential, das von den untertägigen Pfeilern ausgeht, sich nicht nur auf seine exakte geographische Lage beschränkt, sondern auch Auswirkungen auf die Standsicherheit in der nahen Umgebung hat, werden für die Pfeiler Pufferbereiche erstellt, die dann in die Erstellung der Gefahrenkarte einfließen. Für die Bewertung der Standsicherheit der Niedermendiger Grubenbaue gehen die bei der geotechnischen Aufnahme festgestellten Elemente und Strukturen ein. Pfeiler, von denen eine geringe Gefährdung ausgeht, wirken sich nicht negativ auf die Standsicherheit aus, so dass sie im Bewertungsschema für die automatisierte Gefahrenkarte mit Null Bewertungspunkten klassifiziert werden. Pfeiler mittlerer, hoher und sehr hoher Gefährdung wirken sich negativ auf die Standsicherheit aus und erhalten daher für die Erstellung der Gefahrenkarte in ihrem gesamten Einflussbereich zwischen 10 und 85 Bewertungspunkten. Künstliche Pfeiler, die sich positiv auf die Standsicherheit der Niedermendiger Grubenbaue auswirken, erhalten je nach Art zwischen -5 und -25 Bewertungspunkten (siehe Tab. 1).

### 4.1.2.2. Firstsicherungen

Die Firstsicherungen bestehen aus den Klemmkeilen aus Holz und Metall, den Holz- und Eisenstreben, den Eisenbolzen, Klammern und Unterzügen. Da einzelne Firstsicherungen die Standsicherheit nur in geringem Maße beeinflussen, erhalten die einzelnen Strukturelemente zwischen 5 und 10 Bewertungspunkte. Befinden sich jedoch viele Einzelsicherungen auf kleinem Raum, bzw. bei der Erstellung der Gefahrenkarte im GIS in einer Rasterzelle, so ist dies ein Zeichen für einen gefährdeten Firstbereich. Das schlägt sich in der Summe der Punkte aller Firstsicherungen nieder. Im Besucherbergwerk des Lava Domes wurde in großen Bereichen die Firste durch eine Verklebung gesichert. Diese Verklebung stabilisiert die Firste erheblich und wird daher mit -50 Punkten bewertet. Der Wirkungsbereich der Firstverklebung wird des Weiteren mit einem Polygonpuffer versehen.

### 4.1.2.3. Natürliche Firststrukturen

Zu den natürlichen Firststrukturen werden unregelmäßig ausgebildete Glocken, „Rauschpel Säß“, Schweißschlacke, deformierte Glocken, aufgelockerte Glocken, „Horizontalklüschpel“, Störungen und Red Cracks gezählt (teilweise dargestellt in Abb. 2 und 3). Red Cracks und Störungen haben, ebenso wie die Pfeiler, einen Wirkungsbereich, in dem sie die Standsicherheit des Hohlraumes reduzieren. Daher erhalten in dieser Feature-Classgruppe die Red Cracks und die Störungen einen Linienpuffer, um den Wirkungsbereich dieser Elemente in der automatisierten Gefahrenkarte erfassen zu können. Insgesamt werden in dieser Gruppe unterschiedlich viele Bewertungspunkte verteilt. Strukturen, durch die die Standsicherheit nur im geringen Maße gefährdet wird, z.B. unregelmäßig ausgebildete Glocken, erhalten 5 Bewertungspunkte, Elemente, die die Standsicherheit im höheren Maße beeinflussen, wie z.B. Red Cracks, erhalten 35 Bewertungspunkte.

### 4.1.2.4. Verbrüche

Die Klasse der Verbrüche setzt sich aus den Ausbrüchen bis in die Glocken, Mucken, Schweißschlacke, Löss und Bims sowie den Tagesbrüchen zusammen. Einzelne abgestürzte Glocken werden in diesem Zuge ebenfalls erfasst. Die Bewertung der Ausbrüche erfolgt gestaffelt nach ihrer Tiefe. Die wenigsten Bewertungspunkte (5) erhalten die Ausbrüche bis in die Glocken, die höchste Punktzahl verzeichnen Ausbrüche bis in den Bims (50). Eine Besonderheit bilden die einzelnen, abgestürzten

Tab. 1: Auflistung der Bewertungskriterien mit ihren Gewichtungen und Bewertungspunkten für die Entwicklung der ingenieurgeologischen Gefahrenkarte Niedermendig. Die Bewertungspunkte fallen in folgende Gewichtungsklassen  $\leq -71 = - - - -$ ,  $-70$  bis  $-31 = - - -$ ,  $-30$  bis  $-11 = - -$ ,  $-10$  bis  $-1 = -$ ,  $0 = 0$ ,  $1$  bis  $10 = +$ ,  $11$  bis  $30 = + +$ ,  $31$  bis  $70 = + + +$  und  $\geq 71 = + + + +$ .

Feature-Class	Bedeutung	Gewichtung	Bewertungs- punkte	Puffer
<b>Pfeiler</b>				
natürliche Pfeiler	geringe Gefährdung	0	0	2,5 m
	mittlere Gefährdung	++	30	2,5 m
	hohe Gefährdung	+++	60	2,5 m
	sehr hohe Gefährdung	++++	85	2,5 m
künstliche Pfeiler	nicht tragend, nicht definiert	0	0	2,5 m
	gemauert, geringe Gefährdung	0	0	1,5 m
	gemauert, mittlere Gefährdung	+	10	1,5 m
	gemauert, hohe Gefährdung	++	20	1,5 m
	gemauert, sehr hohe Gefährdung	++	20	1,5 m
	Betonpfeiler	--	-20	1,5 m
	Mühlsteinpfeiler	-	-5	1,5 m
	Bullflex-Pfeiler (klein)	--	-20	1,5 m
Bullflex-Pfeiler (groß)	---	-25	1,5 m	
<b>Firstsicherungen</b>				
Keile und Klammern	Klemmkeil Holz	+	10	
	Klemmkeil Metall	+	5	
	Strebe Holz	+	10	
	Eisenbolzen	+	5	
	Klammern	+	5	
	Strebe Metall	+	5	
	Unterzug	+	10	
verklebte Firste	verklebte Firste	---	-50	2 m
<b>natürliche Firststrukturen</b>				
Ausbildung	unregelmäßige Glocken	+	5	
	Rauschpel Säß	++	20	
	Schweißschlacke	+	10	
	Glocken deformiert	++	25	
	Glocken aufgelockert	++	30	
	Horizontalklüschpel	++	20	
Red Crack	Red Crack	++	35	1,5 m
Störung	Störung	++	35	1,5 m
<b>Verbrüche</b>				
Ausbrüche	bis in die Glocken	+	5	
	bis in die Mucken	+	10	
	bis in die Schweißschlacke	++	30	
	bis in den Löss	+++	40	
	bis in den Bims	+++	50	
	Tagesbruch	++++	120	5 m
abgestürzte Glocken	abgestürzte Glocken	+++	50	3 m
<b>sonstige Hohraumelemente</b>				
verfüllte Hohlräume	professionell mit Beton	----	-100	4 m
	bergmännisch mit Abraum	0	0	
Schacht	anfällig für Tagesbrüche	++	20	2,5 m

Glocken, sie werden mit 50 Bewertungspunkten verzeichnet. Abgestürzte Glocken sind ein wichtiger Anzeiger für Spannungsänderungen und dadurch auftretende Verbrauchgefährdungen. Aufgrund der möglichen rezenten Spannungsumlagerung im Bereich der abgestürzten Glocken werden sie zusätzlich mit einem weiträumigen Punktpuffer versehen.

### 4.1.2.5. Sonstige Hohlräumelemente

Die Klasse der sonstigen Hohlräumelemente besteht aus den professionell verfüllten Hohlräumen sowie aus den Verfüllungen einiger Bereiche mit Abraum. Weiterhin gehören Schächte zu dieser Klasse. Besonders am Schachtrand besteht eine erhöhte Tagesbruchgefahr.

## 4.2. Bewertung

### **Räumliche Verbindung**

Durch die Bewertung und Pufferung (Schritt 1 und 2, Flussdiagramm der Abb. 6) der Einzelmerkmale sind die Basisdaten vorbereitet, die nun mit dem Bewertungsmaßstab in Verbindung gesetzt werden können. Durch die räumliche Verbindung (Schritt 3, Flussdiagramm) mit dem zuvor angelegten Raster wird jedem Merkmal eine eindeutige Zugehörigkeit zu einer Zelle zugewiesen. Bei diesem Prozess werden die Attribute der Bewertungsmerkmale jeweils in das Raster als Ausgabedatei geschrieben und eine Zählung der Merkmale pro Rasterzelle durchgeführt. In Zellen, in denen Merkmale mehrfach auftreten, wird nun die Zählung mit der Merkmalsbewertung über die Feldberechnung multipliziert (Schritt 4, Flussdiagramm) und in eine neue Spalte der Attributtabelle eingetragen. Diese Spalte ist fortan maßgeblich für die Erstellung der automatisierten Gefahrenkarte.

### **Bewertungssumme bilden**

Wurden bei allen Feature-Classes die Schritte 1 bis 4 des Flussdiagramms der Abb. 6 durchgeführt, werden anschließend alle Feature-Classes zu einer Bewertungsgruppe zusammengefasst (Schritt 5, Flussdiagramm). Hierbei werden die räumlichen Daten als Basis der Vereinigung genutzt. Es entstehen insgesamt fünf Gruppen für die Bewertung der Standsicherheit. Die Attributtabelle der Feature-Classes enthält alle wichtigen, zuvor berechneten Bewertungspunkte jeweils in einzelnen Spalten. Um diese zusammenfassen zu können und schrittweise zu einem Gefährdungsgrad zu gelangen, muss wiederum eine weitere deklarierte Spalte in der Attributtabelle jeder Bewertungsgruppe erstellt werden. Diese wird [SUMME\_VERBRUECHE] genannt, da hier mittels der Feldberechnung innerhalb der Attributtabelle die Summe aller Bewertungspunkte pro Rasterzelle aus allen zugehörigen Feature-Classes der Bewertungsgruppe ermittelt wird (Schritt 6, Flussdiagramm der Abb. 6). Analog wird die Spalte der weiteren vier Bewertungsgruppen benannt.

In den letzten Schritten vor der Fertigstellung der Gefahrenkarte im GIS wird die Summe aller möglichen Gefahrenpunkte pro Rasterzelle errechnet. Hierfür müssen die zuvor errechneten Summen der Gefahrenpunkte aller Bewertungsgruppen (Schritt 6, Flussdiagramm) zu einer Gesamtgefährdung pro Rasterzelle addiert werden (Schritt 8). Dafür müssen die fünf zuvor erstellten Feature-Classes zu einem gesamtheitlichen Bewertungs-Feature-Class vereinigt werden, als Basis wird die räumliche Information genutzt (Schritt 7). Hier sind in der Attributtabelle alle Informationen über die Bewertungspunkte, die bisher vergeben wurden, aufgeführt. Bei dem Vereinigungsprozess kann entschieden werden, welche Spalten erhalten blei-

ben. Hier ist es sinnvoll, als Bewertungsgrundlage für die Gefahrenkarte nur die in Schritt 6 berechneten Bewertungspunkte zu übertragen, um die Datenmenge und die Anzahl der Spalten in der Attributtabelle übersichtlich zu halten. Im nächsten Schritt wird eine neue Spalte, bspw. mit dem Namen [SUMME\_GEFAEHRDUNG], erzeugt.

#### 4.3. Karte

In der Gefahrenkarte werden die gefährdeten Firstbereiche, d. h. ohne Pfeiler dargestellt. Die Bewertung und die Darstellung der Rasterzellen erfolgt über die Gesamtpunktzahl der ausschlaggebenden Merkmale. Diese wurde im Schritt zuvor gebildet.

Farblose Zellen weisen auf eine geringe Verbruchgefährdung des Hohlraumes hin, orange Zellen auf einen Hohlraum mittlerer Verbruchgefährdung, rote Bereiche zeigen eine hohe Hohlraumgesamtgefährdung und violett-gefärbte Zellen bedeuten, dass ein Hohlraum sehr stark in seiner Stabilität gemindert ist. Die Wahrscheinlichkeit eines Verbruchs ist hier am größten (Tab. 2).

Tab. 2: Punktzahlbereiche, Farbgebung und Gefährdungsgrad der Hohlraumbereiche.

Punktzahlbereich	Farbe der Zelle	Gefährdungsgrad
≤ 56	farblos	geringe Gefährdung
57 bis 81	orange	mittlere Gefährdung
82 bis 186	rot	hohe Gefährdung
≥ 187	violett	sehr hohe Gefährdung

Die Bewertungssumme kann sowohl negativ als auch positiv sein:

- Negative Bewertungspunkte (farblose Darstellung der Zelle in der ingenieurgeologischen Gefahrenkarte) bedeuten, dass der Hohlraum bereits durch stark stabilitäts-erhaltende Faktoren gesichert wurde. Dies sind zum Beispiel Bullflex-Pfeiler, Beton-Pfeiler, verklebte Firstbereiche oder professionell verfüllte Hohlräume. Ein Verbruch ist dort äußerst unwahrscheinlich. Zellen, die keine Bewertungspunkte aufweisen, sind größtenteils Hohlraumbereiche ohne Auffälligkeiten, sie werden durch Pfeiler ohne Gefährdung gestützt, die Firste ist zumeist regelmäßig ausgebildet. In seltenen Fällen können auch Hohlraumbereiche mit stabilitätsmindernden Faktoren, die professionell gesichert wurden Negative, Nullwerte oder Werte knapp über 0 aufweisen. Aufgrund der Sicherungen sind diese Bereiche nicht gefährdet und werden in der Karte als farblose Zellen des Rasters dargestellt.
- Zellen, deren Bewertungspunkte zwischen 0 und 56 liegen (farblose Darstellung in der ingenieurgeologischen Gefahrenkarte), weisen wenige stabilitätsmindernde Faktoren auf, die jedoch die Standsicherheit des untertägigen Hohlraumes nicht wesentlich beeinflussen.
- Die Zellen, die eine mittlere Verbruchgefährdung aufweisen (orange Darstellung in der Gefahrenkarte), haben insgesamt zwischen 57 und 81 Bewertungspunkte. Sie sind durch die Kombination mehrerer Merkmale, die die Standsicherheit in geringem Maße mindern oder durch einzelne Faktoren, die die Standsicherheit mittelmäßig mindern, gekennzeichnet.
- Wurden zwischen 82 und 186 Punkten summiert, so handelt es sich um Hohlraumbereiche hoher Gefährdung. Sie sind u. a. gekennzeichnet durch Tragwerke, deren Standsicherheit nicht mehr bzw. kaum noch gewährleistet ist, durch z. B. aufge-

lockerte Firstbereiche und durch durchziehende Störungszonen. Die Standsicherheit des untertägigen Hohlraumes ist aufgrund der Kombination einer Vielzahl von stabilitätsmindernden Faktoren auf geringer Fläche kaum mehr gegeben.

- Violett gefärbte Hohlräume weisen auf eine sehr hohe Gefährdung hin (Zellen mit Bewertungspunkten  $\geq 187$ ). Häufig beinhalten diese stark oder sehr stark gefährdete Pfeiler, Einflussbereiche von Tagesbrüchen, aufgelockerte Firstbereiche und Ausbrüche.

Besonders deutlich werden Gefahrenbereiche in der Karte, wenn sich mehrere Zellen gleicher Farbe nebeneinander befinden. Dies wird zum Beispiel im Hohlraum 1703 (Abb. 10) deutlich. Sind nur vereinzelt Zellen eingefärbt, um die rundherum keine weitere Gefährdung ersichtlich ist, sollte dieser Bereich zwar geprüft werden, aber nicht allzu stark gewertet werden. Der Hohlräumebereich (z. B. H1708, Abb. 10) ist intakt und tragfähig, er weist nur sehr wenige stabilitätsmindernde Faktoren auf. Kleinstäumige Bereiche (einzelne Zellen,  $2 \times 2$  m) mittlerer Gefährdung bieten demnach Anlass zur Überprüfung aber in der Regel keinen Handlungsbedarf. Die umliegenden Hohlräumebereiche sind intakt und tragen den gefährdeten Bereich. Eine Glättung solcher Bereiche wurde bewusst nicht vorgenommen, da dies das Ergebnis verfälschen würde. Auf der ingenieurgeologischen Gefahrenkarte von Niedermendig wurden neben den Hohlraum-, Stützpfeiler- und Mauergefährdungen noch die Tagesbrüche abgebildet. In diesen Bereichen weist die Karte eine hohe Verbruchgefährdung auf. Es sind zwar gefährdete Bereiche, jedoch ist dort nicht mehr mit einem Hohlraumverbruch zu rechnen, da der Schaden bereits eingetreten ist. In Randbereichen von Tagesbrüchen ist vermehrt mit weiteren Einbrüchen zu rechnen, da der Hohlraum hier besonders geschwächt ist.

Mit Abbildung der Gebäude und Straßenzüge über der untertägigen Gefahrenkarte kann ein Risiko und der Handlungsbedarf des jeweiligen gefährdeten Bereichs deutlich herausgearbeitet werden. Auf die Darstellung von Flurstücken und Gebäuden wurde in den Abb. 7 bis 10 aus Datenschutzgründen verzichtet.

#### 4.4. Auswertung

Insgesamt umfasst die Fläche der Hohlräume in Niedermendig ca. 190 000 m<sup>2</sup> (Stand: 20.05.2014). Für die Darstellung wurde das Raster, mit den bislang kartierten Bereichen (ca. 56 500 m<sup>2</sup>) (Stand: 30.10.2013) überschritten.

Im Vergleich zu den beiden Gefahrenkarten der Abb. 10 und 11 sind in Abb. 7 und 8 die Hohlraumkarte und die Firstkarte dargestellt, die einen Überblick über die stabilitätserhaltenden und -mindernden Faktoren geben. Die Legenden zu den Karten enthalten die Abb. 9 und 12.

Von den ca. 15 100 berechneten Rasterzellen ( $\approx 50 000$  m<sup>2</sup>) sind etwa 73 % Zellen geringer Gefährdung, 10 % Zellen mit mittlerer Gefährdung und 15 % Zellen hoher Verbruchgefährdung. Lediglich 2 % aller Zellen weisen eine sehr hohe Gefährdung auf (siehe Abb. 13). Die Zellgröße beträgt in der Regel 4 m<sup>2</sup>. Die Zellen in den Randbereichen oder in Pfeilernähe sind allerdings häufig kleiner, da sie an der Hohlraumgrenze bzw. am Pfeiler enden.

Die Anzahl der Zellen pro Kategorie erlauben eine Aussage über die gefährdete Hohlraumfläche in Niedermendig. Es sollte dabei aber berücksichtigt werden, dass durch die Abfrage der Zellenanzahl pro Kategorie nicht beachtet wird, ob sich die Zellen in einem Zellverbund befinden oder nur vereinzelt vorkommen, was jedoch für die Bewertung von Bedeutung ist.

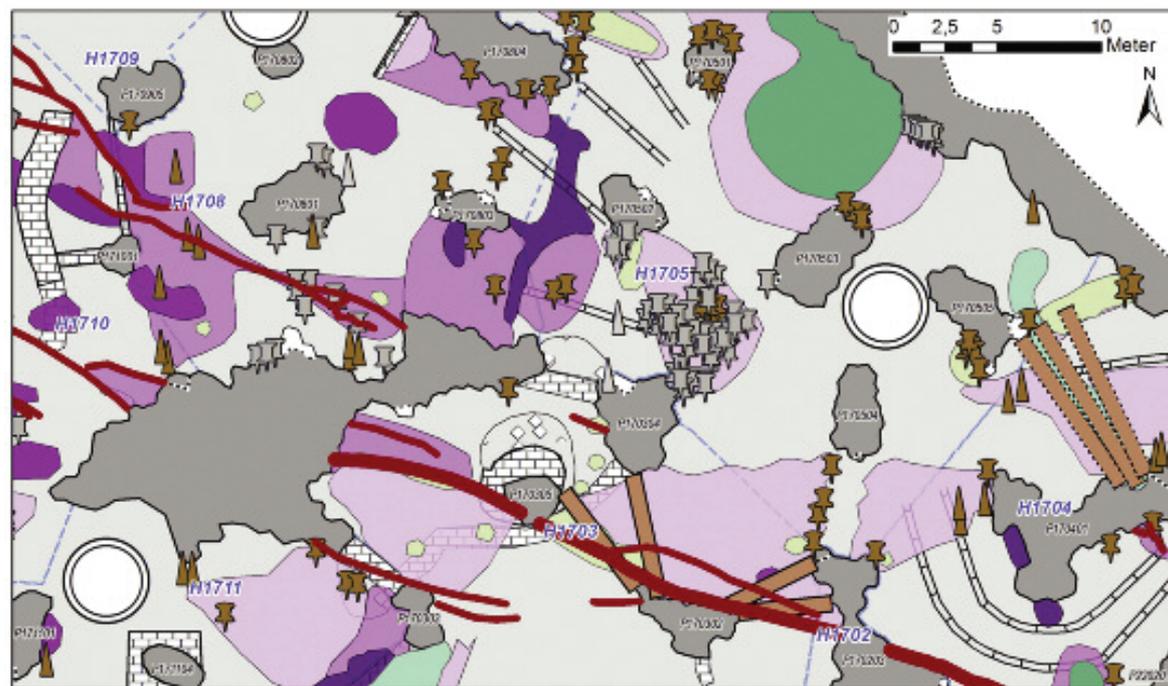
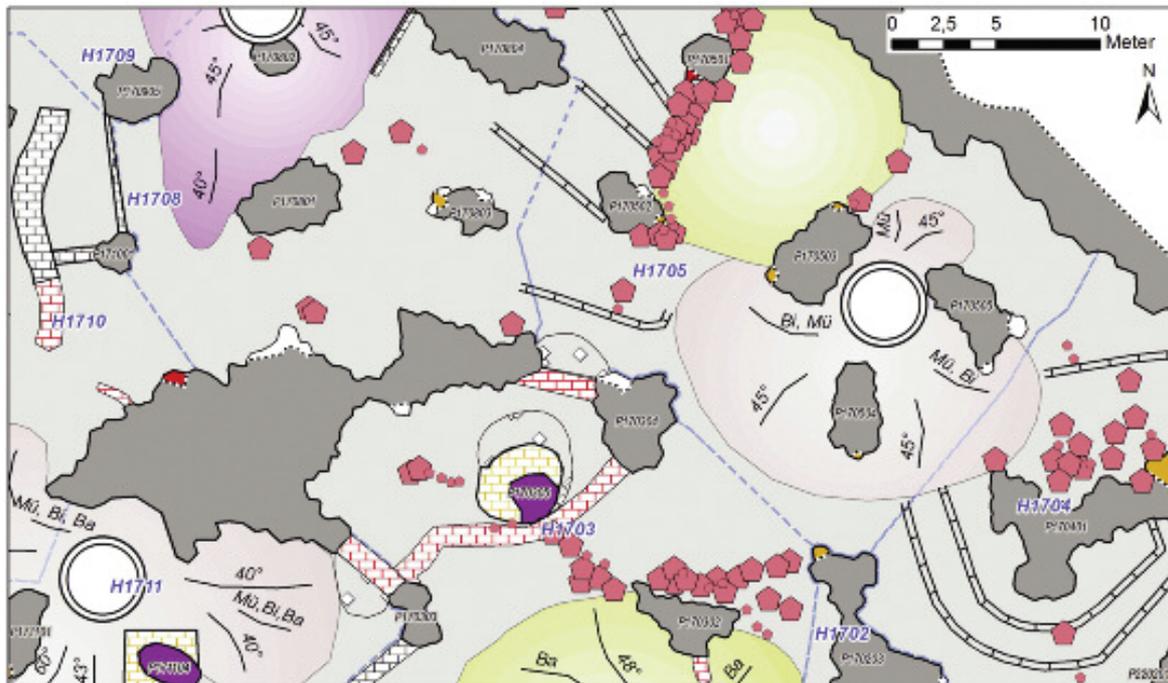


Abb. 7: Ausschnitt der **Hohraumkarte** (oben) von Blatt 17 der ingenieurgeologischen Karte von Niedermeidig. Die Hohraumkarte zeigt die Geometrie der Hohlräume mit Stützpfeilern, Mauern usw.

Abb. 8: Ausschnitt der **Firstkarte** (unten) von Blatt 17 der ingenieurgeologischen Karte von Niedermeidig. Sie beinhaltet unter anderem stabilitätsmindernde Elemente. Beispiele hierfür sind Red Cracks (rot verfüllte Spalten), „Rauschel Säß“ (subhorizontale Trennflächen im Firstbereich), Auflockerungen und Ausbrüche (bereits eingetretene Verformungen).

## Legende

### Hohlraumkarte

#### Stützpfiler

	geringe Gefährdung
	mittlere Gefährdung
	hohe Gefährdung
	sehr hohe Gefährdung
	nicht tragend

#### Mauern

	bis Firste, standfest
	bis Firste, einsturzgefährdet
	nicht bis Firste, standfest
	nicht bis Firste, einsturzgefährdet
	eingestürzt

#### Sonstiges

	Fassmauern
	Schacht, nachgewiesen
	Verbruchhaufwerk
	Hohlräume

#### Abgestürzte Glocken

-  Glockendurchmesser > 0,5 m
-  Glockendurchmesser < 0,5 m

#### Schüttkegel

	Basalt-, Löss- und Bimsgemisch
	mit Müllanteilen
	vorwiegend Müll

### Firstkarte

#### Sicherungen

	Klemmkeil Holz
	Klemmkeil Metall
	Strebe Holz
	Eisenbolzen
	Klammern
	Strebe Eisen
	Unterzug an Firste
	Unterzug abgestuerzt
	Red Crack cm
	Red Crack dm

#### Ausbrüche

	bis in Glocken
	bis in Schweißschlacke
	bis in Mucken
	bis in Löss
	bis in Bims

#### Ausbildung

	Glocken aufgelockert
	Glocken unregelmässig
	Schweissschlacke
	Rauschpel Saess
	Horizontalklueschpel

#### Sonstiges

	natürliche Pfeiler
	Mauer
	Fassmauer
	Schacht, nachgewiesen
	Verbruchhaufwerk
	Hohlräume

Abb. 9: Legende zu Abb. 7 (Hohlraumkarte) und Abb. 8 (Firstkarte).

Auf den Abb. 10 und 11 ist der Unterschied zwischen vereinzelt Gefahrenzellen und Gefahrenzellen, die sich im Verbund befinden, erkennbar. Am Südostrand von H1708 (Abb. 10 und 11, links der Bildmitte) kann davon ausgegangen werden, dass trotz des mittleren Gefahrenpotentials keine mittlere Verbruchgefährdung besteht, da der Hohlraum um die orange-gefärbte Zelle herum ohne Auffälligkeiten und tragfähig ist. Im Gegensatz dazu ist bei Pfeiler P170305 (Abb. 10 und 11, unterhalb der Bildmitte) eine Ansammlung gefährdeter Hohlraumzellen erkennbar, hier kann von einer hohen Verbruchgefährdung ausgegangen werden.

Im Vergleich der manuell erstellten Gefahrenkarte mit der GIS-gestützten, automatisiert erstellten Gefahrenkarte fallen sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede auf. Es gibt in beiden Karten gering, mittel, hoch und sehr hoch gefährdete Bereiche. Die matrixgestützte Gefahrenkarte ist jedoch stärker differenziert, sodass keine großräumigen Bereiche sehr hoher Gefahr vorhanden sind. In beiden Karten sind ge-

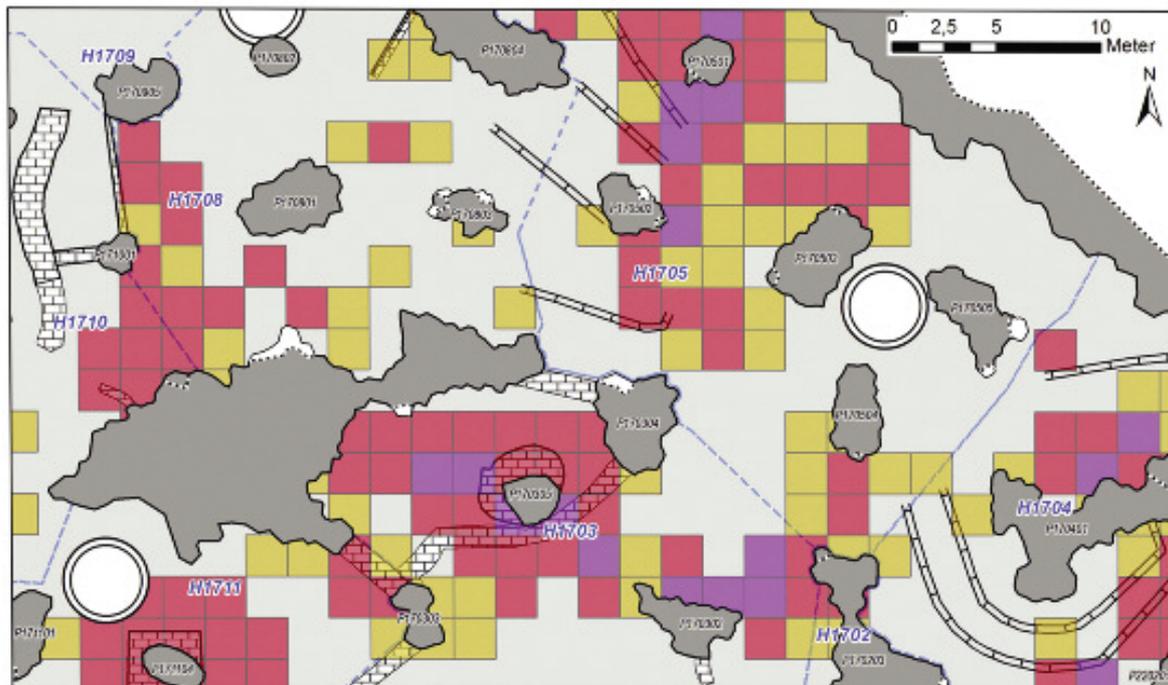
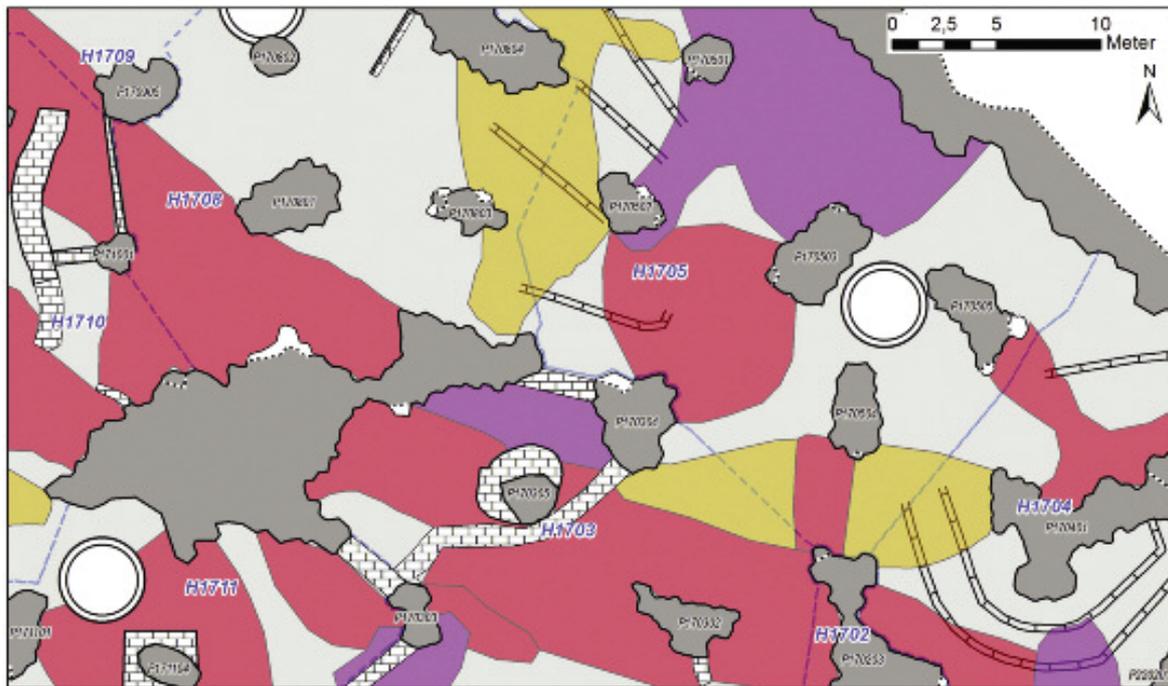


Abb. 10: Ausschnitt der **manuell erstellen Gefahrenkarte** (oben).

Abb. 11: Ausschnitt der **automatisierten, GIS-gestützten Gefahrenkarte** mit Rasterzellen von 2 x 2 m Größe (unten).

## Legende

### Gefahrenkarte

#### Gefährdung

- mittlere Gefährdung
- hohe Gefährdung
- sehr hohe Gefährdung

#### Sonstiges

- natürliche Pfeiler
- Mauer
- Fassmauer
- Schacht, nachgewiesen
- Hohlräume

Abb. 12: Legende zu Abb.10 und Abb.11 (Gefahrenkarten).

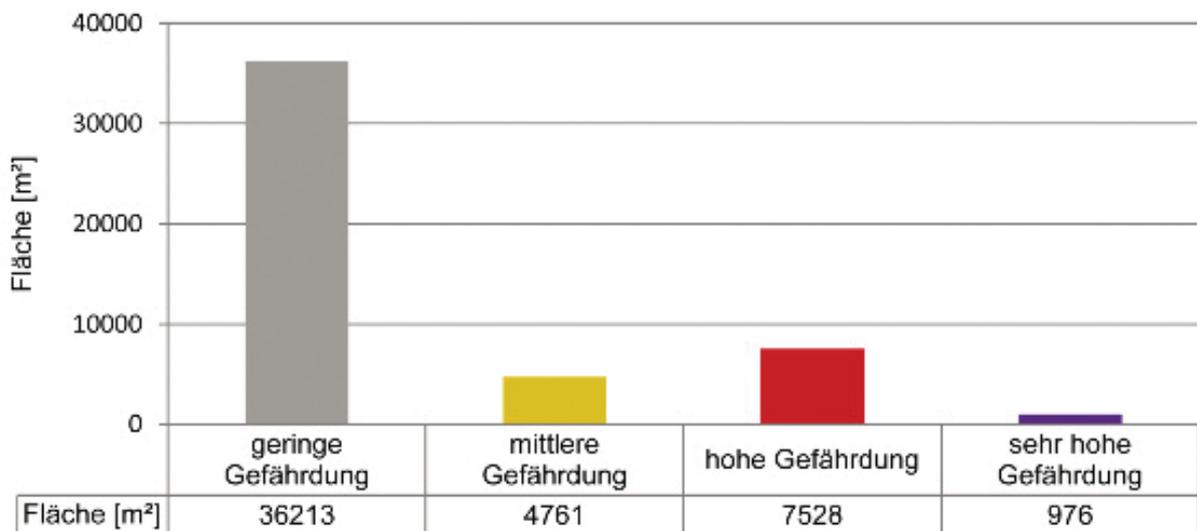


Abb. 13: Mengenmäßige Verteilung der Gefährdungsklassen aller bisher kartierten Flächen (Stand: 30.10.2013). Die Berechnung basiert auf einer Zellgröße von je 4 m<sup>2</sup>.

fährdete Bereiche vorhanden, die in der jeweils anderen nicht vorhanden sind. Dies lässt sich unter anderem damit erklären, dass in der manuell erstellten Karte keine ganzheitliche, objektive Bewertung abgegeben werden konnte. In der neu entwickelten Gefahrenkarten werden als Vorteil alle stabilitätserhaltenden und -mindernden Faktoren berücksichtigt und die Karte wird unabhängig vom jeweiligen Bearbeiter objektiv erstellt.

Die Auswertung bzw. Berechnung der Bewertungspunkte für eine Rasterzelle stellt jeweils den Ist-Zustand zum Zeitpunkt der Berechnung dar. Sofern Änderungen im Hohlraumssystem eintreten, wie z. B. das Abstürzen von Glocken, das Einbringen von Sicherungsmaßnahmen oder Ähnliches, muss die Berechnung neu durchgeführt werden.

## Schriften

- AMSTUTZ, G. & WEHINGER, A., & ROGALL, M. (2013): Entwicklung einer Gefährdungsmatrix für tragende Pfeiler der bergbaulichen Hohlräume in Mendig (Vordereifel). – Mainzer geowiss. Mitt., **41**, S. 213–246, 13 Abb., 19 Tab., Mainz.
- BOOGARD, P. van den, & SCHMINCKE, H.-U. (1990). Vulkanologische Karte der Osteifel 1 : 50 000. Koblenz.
- DIN 4017-1 (03-2006): Baugrund - Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flächengründungen. 23 S., 9 Abb., Anhang, (Beuth) Berlin.
- HÖRTER, F. & MICHELS, F.X. & RÖDER, J. (1955): Die Geschichte der Basaltlava-Industrie von Mayen und Niedermendig und seiner Nachbargebiete. – Jb. Geschichte und Kunst des Mittelrheins und seiner Nachbargebiete, **6./7.** Jahrgang 1954/1955, S.7–32, 14 Abb., 1 Tafel, (Raiffeisendruckerei) Neuwied.
- JAHNEL, CHR. & NORTMEYER, U. & SCHERSCHEL, J. & SCHWAB, L. & WANNER, TH. & KERZAN, K. (1996): Standsicherheit der ehemaligen Grubenbaue unter der L 113 in Niedermendig (Az. 32/895/88). Gutachten des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz Mainz vom 15.03.1996, 92 S., 4. Anl., Mainz. – [unveröff.].
- KERZAN, K. & FEUERBACH, J. & NORTMEYER, U. & SCHERSCHEL, J. (1995): Standsicherheit der ehemaligen Grubenbaue unter der Brauerstraße in Niedermendig (Az. 32/895/88). Gutachten des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz Mainz vom 24.01.1995, 133 S., 5. Anl., Mainz. – [unveröff.].
- MASSENKEIL, G. (2012): Ingenieurgeologische Kartierung und Bewertung der oberflächennahen Grubenbaue im Oberen Niedermendiger Lavastrom (Eifel) einschließlich der Erstellung einer rechnerischen Bewertungsmatrix. Diplomarbeit Institut für Geowiss. Univ. Mainz, 102 S., 31 Abb., 35 Tab., Anhang, Mainz. – [unveröff.].
- MEYER, W. (1994): Geologie der Eifel. 3. Aufl., 618 S., 154 Abb., (Schweizerbart) Stuttgart.
- ROGALL, M. (2007): 500 Jahre untertägiger Basaltabbau in Niedermendig: Ein Überblick zur Abbaugeschichte und heutigen Problematik. – Zeitschrift zur Geschichte des Berg- und Hüttenwesens, **2/2007**, S. 28–45, (Charivari) Idar-Oberstein.
- ROGALL, M. & WEHINGER, A. & KURZ, K. (2011): Kartierung und ingenieurgeologische Standsicherheitsbeurteilung ausgewählter Hohlräumebereiche in Niedermendig (Pilotprojekt) (Az. 3322-1332-10/V6). Geotechnischer Bericht des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz Mainz vom 21.12.2011, 68 S., 7 Anl., Mainz. [unveröff.].
- ROTHER, P. (2006): Die Geologie Deutschlands – 48 Landschaften im Portrait. 2. Aufl., 240 S., (Wissenschaftliche Buchgesellschaft) Darmstadt.
- ROTHER, Y. (2013): Ingenieurgeologische Untersuchungen zur Standsicherheit von Hohlräumen im Oberen Niedermendiger Lavastrom einschließlich einer historischen Recherche von geotechnisch-altbergbaulichen Schadensfällen und Abbauen. Diplomarbeit Institut für Geowissenschaften Univ. Mainz, 78 S., 47 Abb., 7 Tab., Anlagen, Mainz. – [unveröff.].
- SCHERSCHEL, J. (1999). Ingenieurgeologisch-geotechnische Untersuchungen zum Gefährdungspotential oberflächennaher Grubenbaue des ehemaligen Basaltabbaus im oberen Niedermendiger Lavastrom, Niedermendig (Quartär, Eifel). Diplomarbeit Institut für Geowissenschaften Univ. Mainz, 169 S., 50 Abb., 6 Tab., 6 Anlagen, 3 Beilagen, Mainz. – [unveröff.].
- SCHUMACHER, K.-H. & MEYER, W. (2012): Geopark Vulkanland Eifel – Lava-Dome und Lavakeller in Mendig. – Bergbau – Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie, Umwelt, **63**, S. 113–123, Essen.

- WEHINGER, A. (2004): Der Obere Niedermendiger Basaltstrom – Lagerstätte und Bergbau. – Mainzer geowiss. Mitt., **32**, S. 111 – 130, 13 Abb., 4 Tab., Mainz.
- WEHINGER, A. & ROGALL, M. (2012): Erkundung und geotechnische Bewertung von Untertageanlagen ehemaligen Basaltbergbaus in Mendig (Vordereifel). 12. Altbergbau-Kolloquium der TU Clausthal, 8. bis 10. November 2012 in Goslar, S. 257 – 271, 8 Abb., 3. Tab., (VGE) Essen.

Anschriften der Verfasser:

Diplom-Geologin GESA AMSTUTZ,  
Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft LINEG,  
Friedrich-Heinrich-Allee 64, D-47475 Kamp-Lintfort.

Diplom-Geologin BARBARA BOCK,  
Baugrundinstitut Franke-Meißner Rheinland-Pfalz GmbH,  
Am Winterhafen 78, D-55131 Mainz.

Diplom-Geologe ANSGAR WEHINGER,  
Diplom-Geologe Dr. MICHAEL ROGALL,  
Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz,  
Emy-Roeder-Straße 5, D-55129 Mainz.

Manuskript eingegangen am 25.6.2014