IVG Caverns GmbH
Kavernenanlage Etzel

Beim Postweg 2 26446 Friedeburg

Ortsbezogene allgemeine Gefährdungsbeurteilung

Januar 2016

Die primäre Analyse der potentiellen Gefahren ausgehend von der IVG Caverns GmbH (weiter IVG) für die umliegenden Wohngebiete und die Natur wird durchgeführt mit dem von Ovridia Research entwickelten System „Ovridia Studio“.

Diese Auswertung beinhaltet Kalkulationen und unterschiedliche Darstellungen der Konsequenzen von „möglichen Schäden“ und deren maximalen Ausmaß. Andererseits sind die erwarteten Schäden und deren Werte nur durch die IVG selbst zu kalkulieren. Alle notwendigen Daten hierfür hat nur die IVG. Es ist hervorzuheben, dass nur durch eine solche Kalkulation möglich ist, das Sicherheitsniveau des Unternehmens nachzuweisen und die Differenz zwischen den möglichen und den erwarteten Schäden (bzw. eine vollständige Risikobeurteilung) entsprechend der Anforderungen der Seveso III Richtlinie darzustellen.

Haupt-Szenarien möglicher Störfälle:

1. Totalabriss des Kavernenkopfes
2. Abriss der seitlichen Armaturen des Kavernenkopfes
3. Gasaustritt aus den unterirdischen Zu-, Förderleitungen oder Armaturen
4. Defekt oder mechanische Beschädigung der unterirdischen Rohrtouren
5. Defekt des Kavernenkopfes, undefinierte Schichtenverschiebung („Kriechen“), interner Teilabsturz der Kavernen

Örtliche Lage und Umgebung

In der unmittelbaren Umgebung befinden sich die Ortschaften:

Ortschaften	Einwohnerzahl, ca.	Kürzester Abstand, m. Himmelsrichtungen E,W,N,S.
Abickhafe	200	3000 NNW
Altgödens	200	2000 ENE
Dose	300	4300 NW
Etzel	800	250 W
Friedeburg	3000	2400 W
Hoheesche	100	3000 NNW
Horsten	2200	740 ESE
Marx	1100	2300 WSW
Repsholt	100	4140 NW

Die für die Berechnung sehr wichtige Abbildung der Windrose zeichnet sich mit den drei Hauptwindrichtungen (die Windrichtung – „von“): Süd-West, West-Nord-West und Ost (siehe Bild 1) ab. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit beträgt hier 5 m/s.

Das Kavernenfeld wird durch die Horster Straße (Bundesstraße B436) auf zwei Bereiche aufgeteilt. Eine durchschnittliche Anwesenheit der Menschen (in den Verkehrsmitteln) auf der B436 lässt sich über das Befahren dieser Bundestraße festlegen.

All diese Daten sind notwendig, um die möglichen und die erwarteten Personenschäden und deren Intensität zu berechnen.

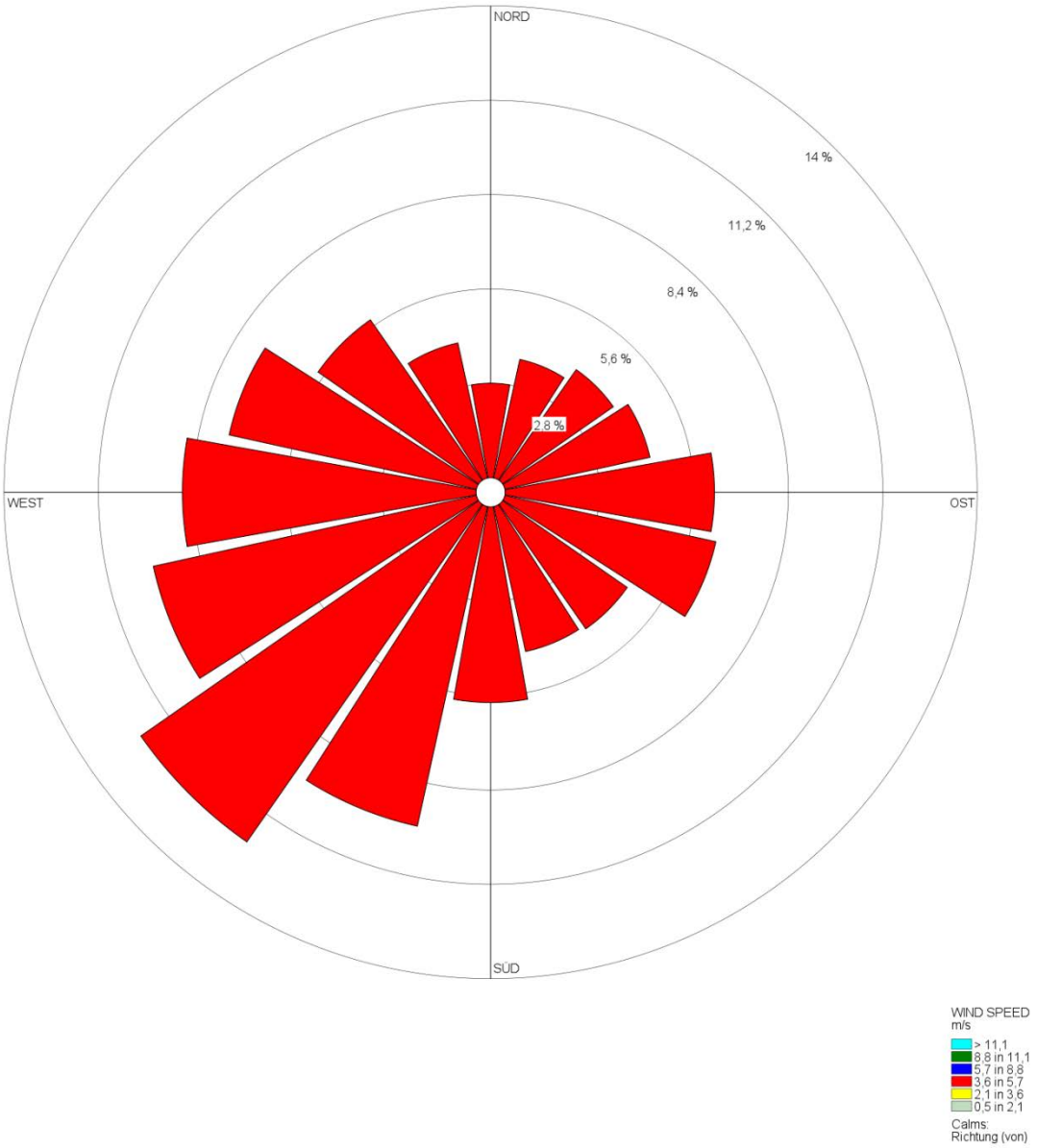

Bild 1. Windrose Etzel

Modellierung der Szenarien

Eines der gefährlichsten Szenarien ist der Totalabriss des Kavernenkopfes (oder dessen Zerstörung) mit einem folgenden unkontrollierten Gasaustritt, einer Bildung der explosiven Wolke und einer Explosion.

Das Produktionsrohr einer IVG-Gas-Kaverne hat einen Durchmesser von 13 3/8‘‘ oder 34 cm. Um einen hydraulischen Widerstand pauschal zu berücksichtigen, wird es auch mit einem Durchmesser von 30 cm gerechnet.

Um die Gefährdungsabstände real darzustellen, wird die „Perimeter-Kaverne“ (Rand des Kavernenfeldes) für die Analyse als eine Referenz verwendet.

Zunächst wird ein durchschnittlicher Gas-Massenstrom ausgerechnet.

Gasauslauf - Öffnung

Substanz:	**Methan**
Molekulargewicht:	**0,016043 kg/mol**
Behältervolumen:	**700000 m3**
Anfangsdruck im Behälter:	**230 atm**
Temperatur im Behälter:	**20 °C**
Verhältnis spezifischer Wärmen:	**1,4**
Koeff. in Atmosphäre:	**0,8**
Koeff. in Behälter:	**0,8**
Pipeline-Durchmesser, Zuleitung:	**300 mm**
Durchmesser, Öffnung:	**300 mm**
Zeit Quelleausschaltung:	**14400 s**
Zeit Berechnungsende:	**3600 s**
Annäherung der Berechnung:	**0,001**

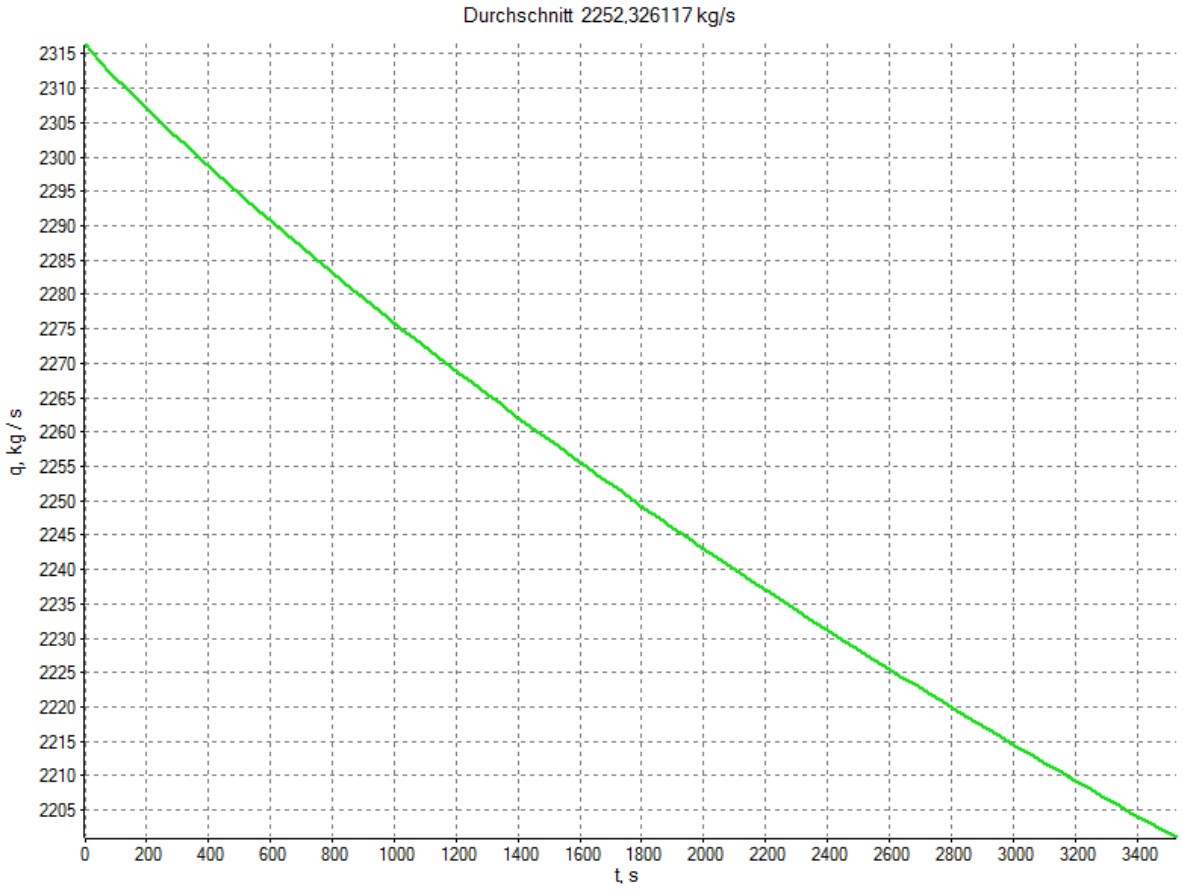

Bild 2. Massenstrom, kg/s

Der durchschnittliche Massenstrom (Rohrquerschnitt 30 cm) beträgt 2.252 kg/s.
Für den Rohrquerschnitt 34 cm = 2.974 kg/s.

Als nächsten Schritt wird eine Bildung der explosiven Wolke modelliert. Die oben berechneten Massenstrom-Daten werden hier angewendet.

Explosive Wolke - Gasausströmung ohne schlagartige Freisetzung

Koordinate:	**E 7,922243 N 53,455817**
Substanz:	**Methan**
Molekulargewicht:	**0,016043 kg/mol**
Gasdichte in Atmosphäre:	**0,667618 kg/m3**
Durchschnittliche Freisetzungsrate:	**2252 kg/s**
Gaskonzentration in Freisetzung:	**0,7168 kg/m3**
Untere Zündgrenze:	**0,031513 kg/m3**
Obere Zündgrenze:	**0,118172 kg/m3**
Freisetzungsdauer:	**10000 s**
Quelle-Höhe:	**0 m**
Schicht-Höhe:	**0 m**
Rauheit Typ:	**Flaches Gelände, Gras bis zu 1cm. Höhe, Schnee**
Rauheit:	**0,001 m**
Ber. Zellanzahl X:	**100**
Ber. Zellanzahl Y:	**30**
Ber. Zellanzahl Z:	**20**
Zeitschritt:	**1 s**
Zeitschritt Anzahl 3D:	**10 s**
Berechnung Abst. Schritt:	**1 m**
Zeitschritt Anzahl:	**20 s**
Zeit Berechnungsende:	**14400 s**
Umgebung	
Windgeschwindigkeit, 10m Höhe:	**5 m/s**
Windrichtung (von):	**Nord-West**
Windrichtung Winkel:	**315,00528 deg**
Umgebungstemperatur:	**20 °C**
Tageszeit:	**Nacht**
Bewölkung:	**Dichte**
Atmosphäre Stabilitätsklasse:	**Isotherme**

Wahrscheinlichkeit

Ereigniswahrscheinlichkeit: **1**

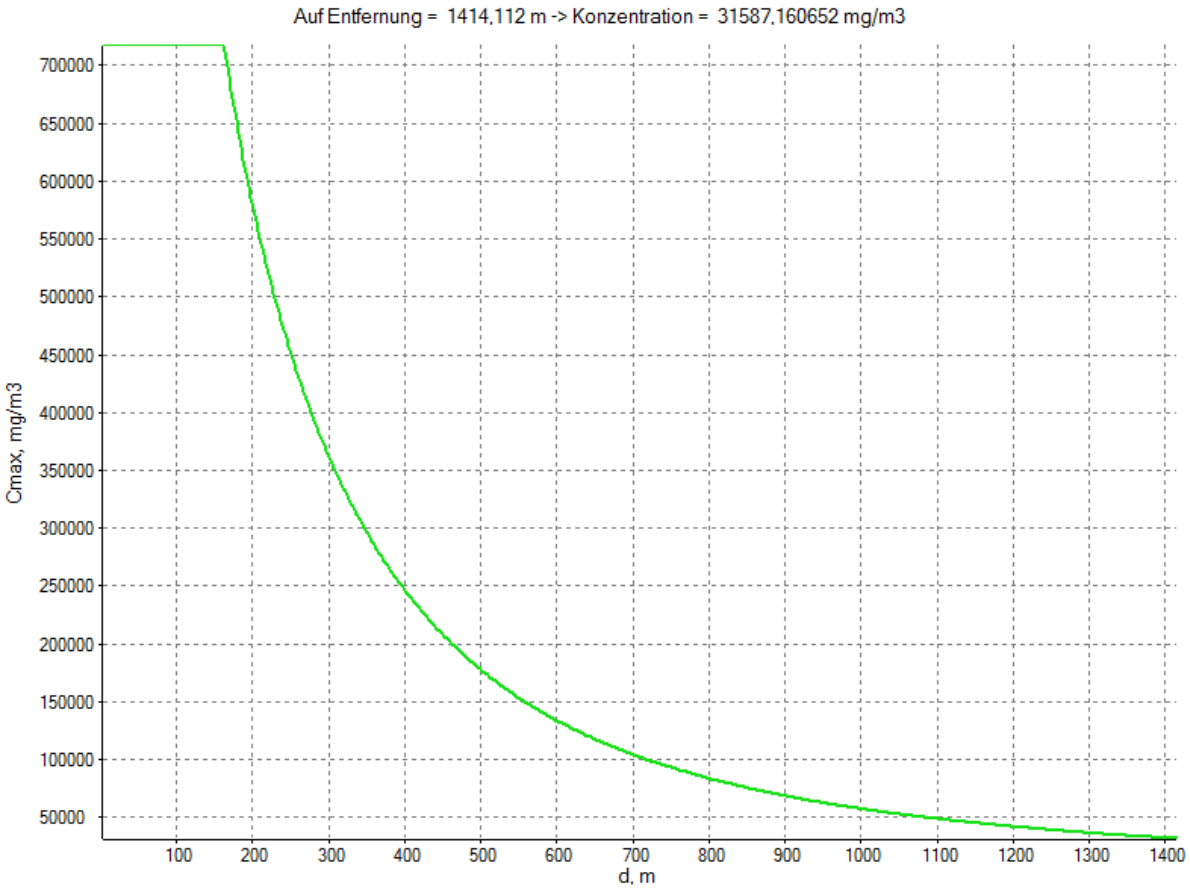

Bild 3. Max. Abstand – Expl. Konzentration

Die untere explosive Grenze (UEG) erreicht einen Abstand von 1.414 m von der Freisetzungsstelle. Bei dem Rohrquerschnitt 34 cm = 1.640 m Entfernung.

Solche Berechnungsparameter wie die Wind-Geschwindigkeit, die Stabilitätsklasse der Atmosphäre, Geländeart u.a. spielen eine wichtige Rolle bei der Bewertung. Die direkte Modellierung in Ovridia Studio lässt es sich sehr übersichtlich nachvollziehen.

Die Kenntnis darüber, wann und welche Methan-Masse sich zwischen den Explosionsgrenzen (UEG -OEG) befindet ist außerordentlich wichtig.

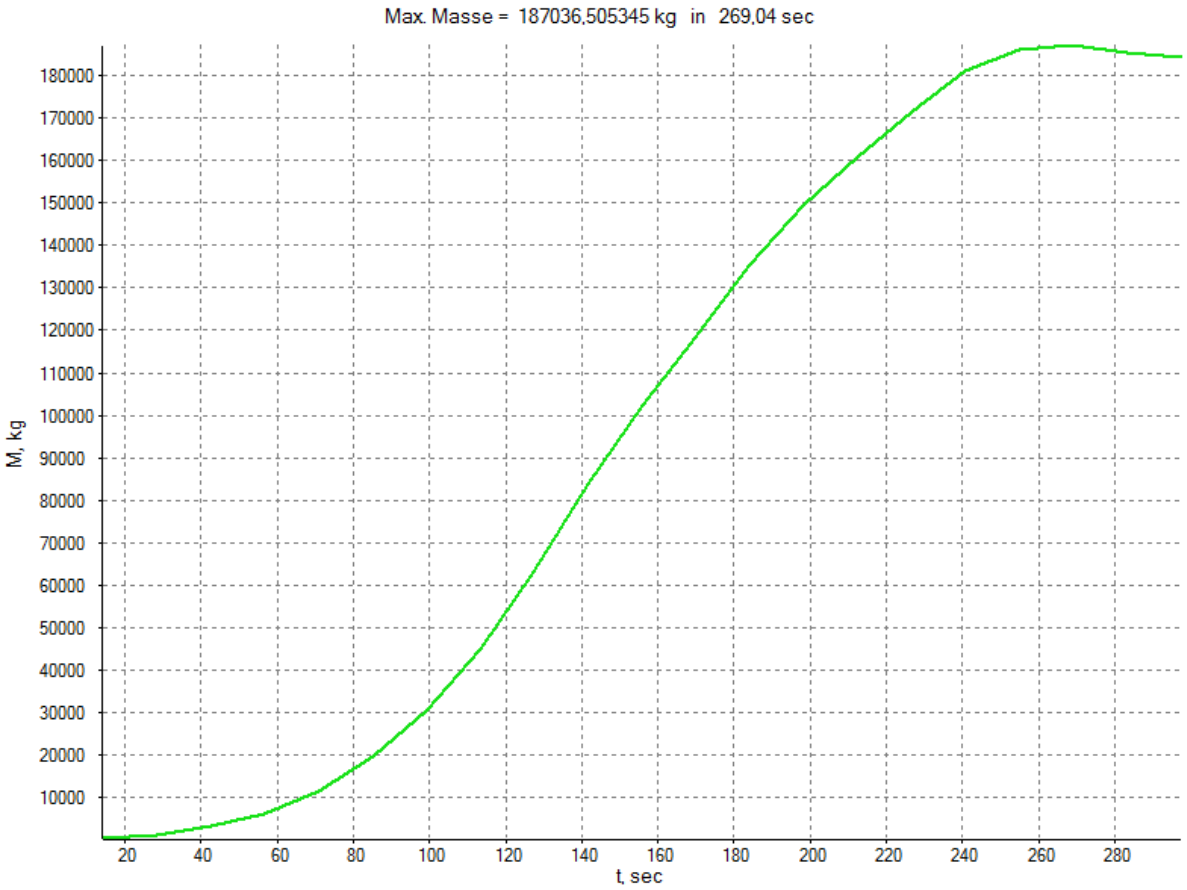

Bild 4. Masse zwischen UEG – OEG

In ~ 4,5 min befindet sich zwischen UEG und OEG eine maximale Methan-Masse von 187.036 kg. Bei dem Rohrquerschnitt 34 cm = 288.985 kg in 5,5 min.

Das Bild 5 stellt eine grafische Darstellung der Gas-Ausbreitung dar (Rohr = 30 cm).

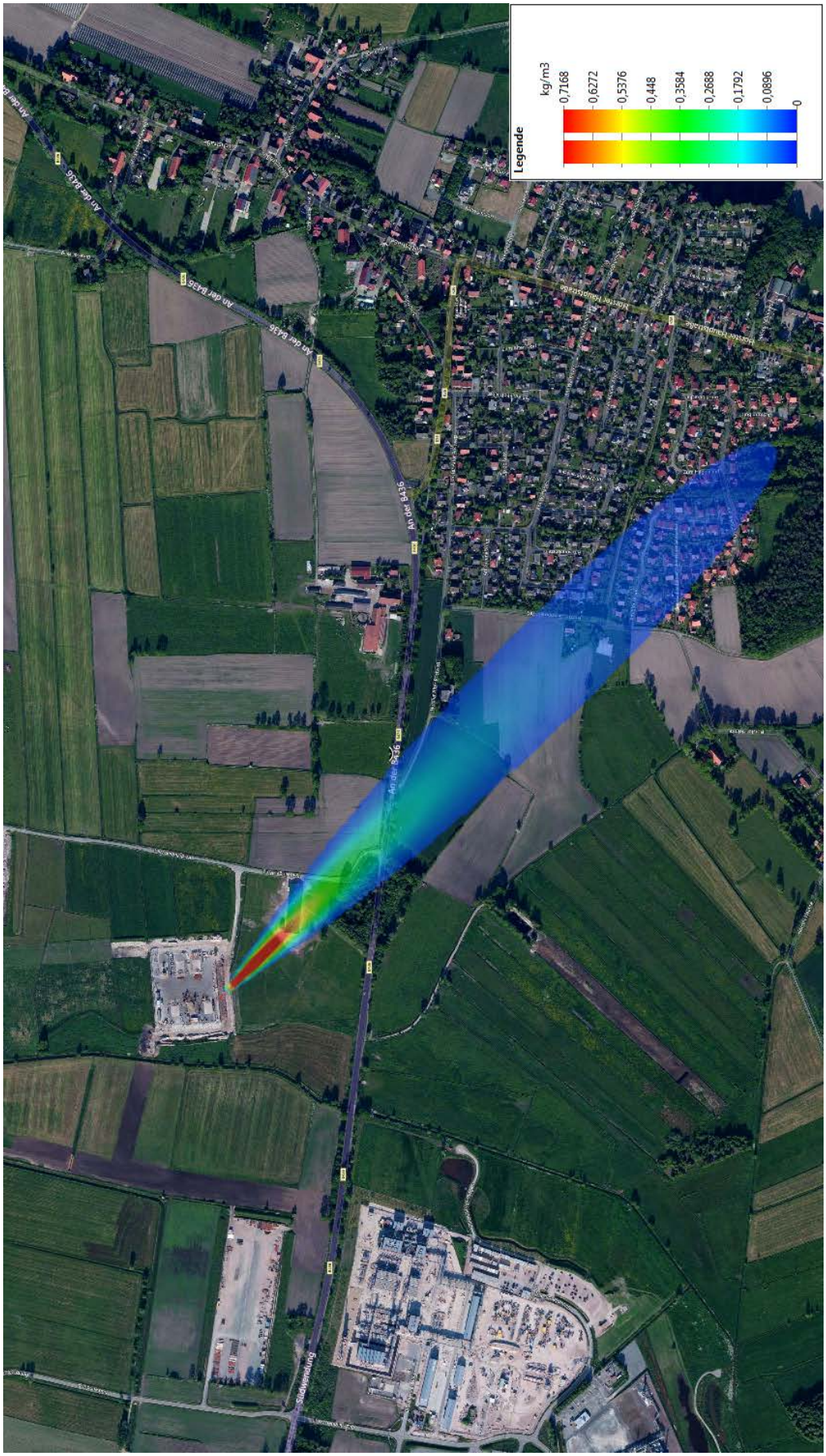

Bild 5. Explosive Gaswolke

Schließlich wird eine Explosion oben beschriebener Explosiv-Wolke modelliert. Es wird davon ausgegangen, dass bis zu einem Abstand von 1414 m sich immer eine Zündungsquelle ergibt. In unserem Fall befindet sich diese in der Mitte der Wolke. Nach dem Marshall-Verfahren nehmen nur 10% der ganzen Massen zwischen den beiden Explosionsgrenzen direkt an dieser Explosion teil.

Explosion - Dampf-Gas-Wolke

Positon Typ:	**Boden**
Koordinaten:	**E 7,931362, N 53,450437**
Substanz:	**Methan**
Anfangsmasse:	**28889 kg**
Druckgrenze der Berechnung:	**3000 Pa**
Berechnungsschritt:	**100**
Berechnungsmethode:	**Multi Energy Ext**
Empfindlichkeitsklasse:	**4**
Verbrennungswärme:	**5,014E+7 J/kg**
Raum typ:	**Stark überladener Raum**
Reaktionstyp:	**Brennen in der Luft**
Aggregatzustand:	**Gasmischung**
Durchschnit. Konzentration:	**0,068039 kg/m3**
Stöchiometrische Konzentration:	**0,068039 kg/m3**

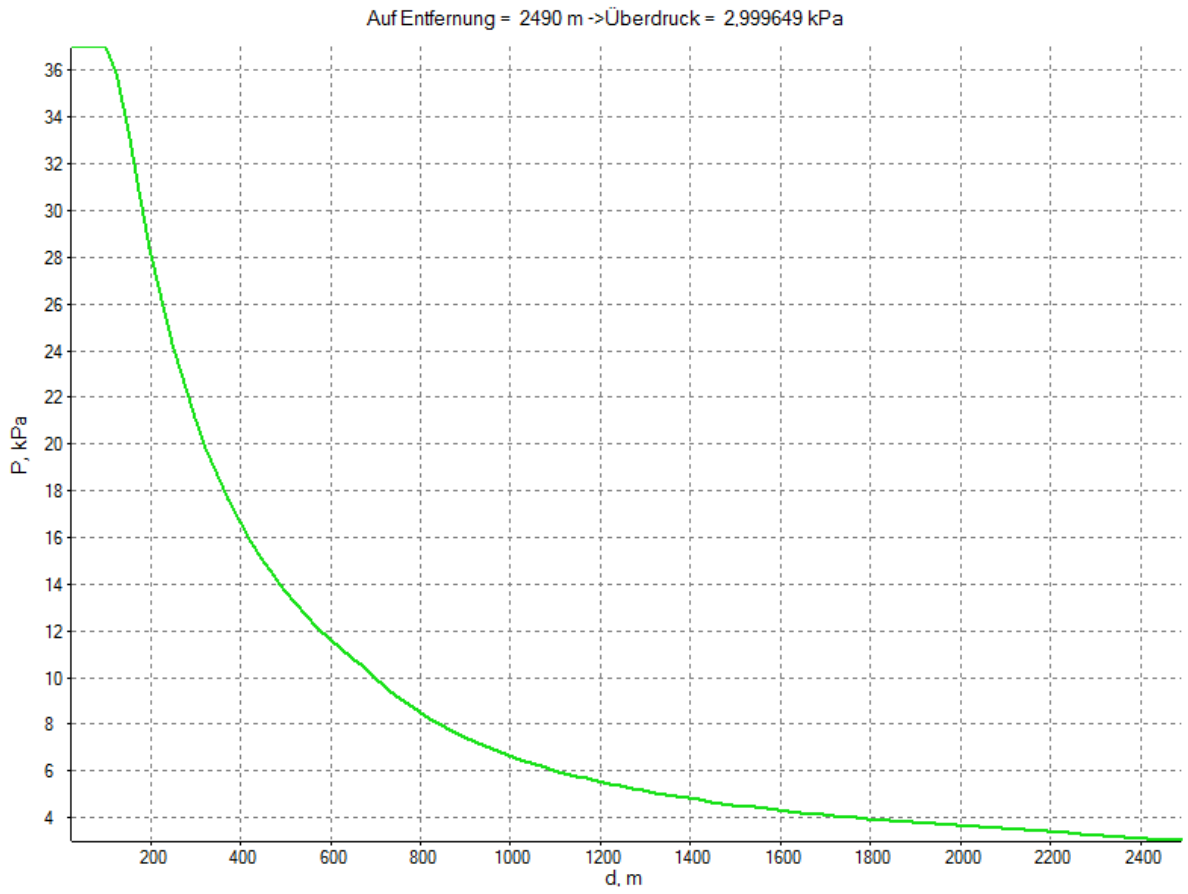

Bild 6. Überdruck

Dies bedeutet, dass der Überdruck von 3 kPa eine Entfernung von 2.490 m im Radius erreicht.

Hier eine kleine Übersicht über die Zerstörungswirkung einer Druckwelle.

Überdruck kPa	Zerstörungswirkung
3–10	Zerstörung von Fenstern; Schäden an Fensterrahmen
7	Teilweise Zerstörung von Häusern
7–14	Zerstörung von Wellblech und Holzwänden
9–50	Schäden an Stahlkonstruktionen
14–20	Einsturz von Mauerwerk
13–16	*Trommelfellruptur*
17	Zerstörung von 50 % der Ziegelhäuser
20–28	Zerstörung von Stahlgerüsten
48–55	Versagen von 20 bis 30 cm dicken Ziegelwänden
70	Vollständige Zerstörung von Gebäuden

Weiterhin ist hier mit Menschenverletzungen ausgehend von fliegenden Trümmern, Versagen der tragenden Konstruktionen und deren Einsturz zu rechnen.

Gebäude-Zerstörung in % / Menschen – Verletzung in Gebäude in %

№	**Stufe %**	**Wertverlust**	**Leichte Verletzungen**	**Schwere Verletzungen**	**Tödliche Verletzungen**
1	Volle	100	0	40	60
2	Starke	80	15	35	50
3	Mittlere	50	30	10	10
4	Schwache	20	10	0	0

Berechnungsergebnis

TNT-Äquivalent der Explosion: **640.927 kg**

Zum Beispiel, das geschätzte TNT-Äquivalent der Explosion in Ufa/UdSSR (575 starben, über 600 wurden verletz) war ca. 250–300 Tonnen.

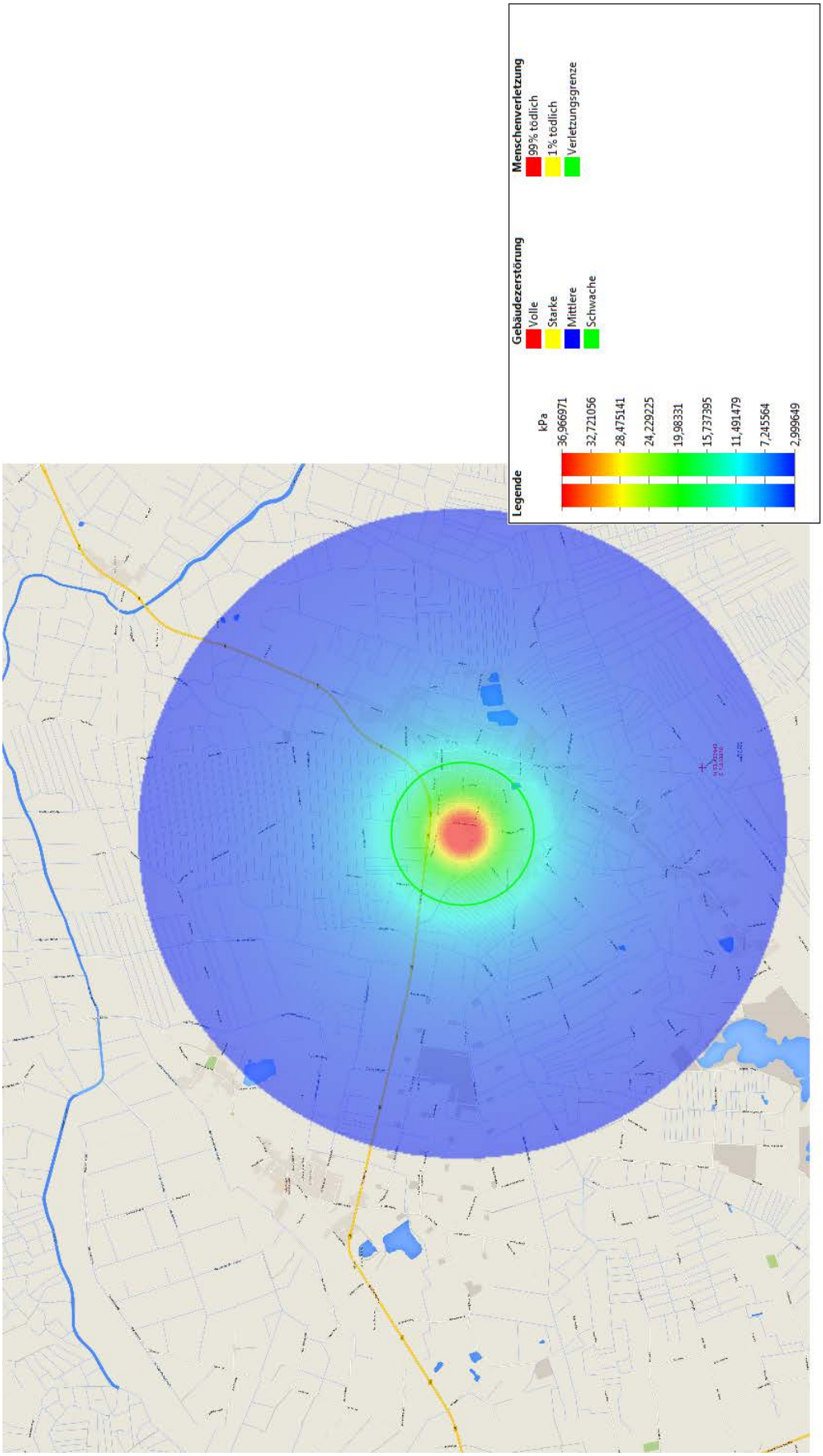

Bild 7. Explosion Dampf- Gas-Wolke

Senkrechte Fackel

Als nächsten Fall in der Gefährlichkeitseinstufung, sind ein unkontrollierter Gasaustritt mit folgender unmittelbarer Zündung und die Bildung einer senkrechten Fackel zu betrachten.

Jet Feuer - Senkrecht

Koordinaten:	**7,922248 53,455849**
Substanz:	**Methan**
Molekulargewicht:	**0,016043 kg/mol**
Wärmekapazität:	**2208,401679 J/kg*grad**
Verbrennungswärme:	**5,014E+7 J/kg**
Austritt-Parameter:	**Massenstrom**
Massenstrom:	**2973 kg/s**
Ausgangstemperatur, Jet:	**20 °C**
Anfangsdruck, Jet:	**230 bar**
Existenzzeit:	**10000 s**
Anfangstemperatur, Luft:	**20 °C**
Windgeschwindigkeit:	**5 m/s**
Luftfeuchtigkeit Parameter:	**20%**
Evakuierungsgeschwindigkeit:	**1,4 m/s**
Atmosphärischer Druck:	**101325 Pa**
Luft, Molekulargewicht:	**0,029 kg/mol**
Schmerzschwelle:	**1400 W/m2**
Berechnungsschritt:	**100**

Wahrscheinlichkeit

Ereigniswahrscheinlichkeit: **1**

Berechnungsergebnis

Max. Länge der Jet-Flamme:	**441,093817 m**
Flamme Zylinderradius:	**24,238762 m**

Tab.: Menschenverletzungen

№	Stufe	Wärmefluss, W/m2	Entfernung, m
1	III Verbrennungsgrad	2157,88282	969,055859
2	II Verbrennungsgrad	1921,181225	1029,621851
3	I Verbrennungsgrad	1648,206794	1114,414238
4	Schmerzgrenze	1400,000039	1211,319824

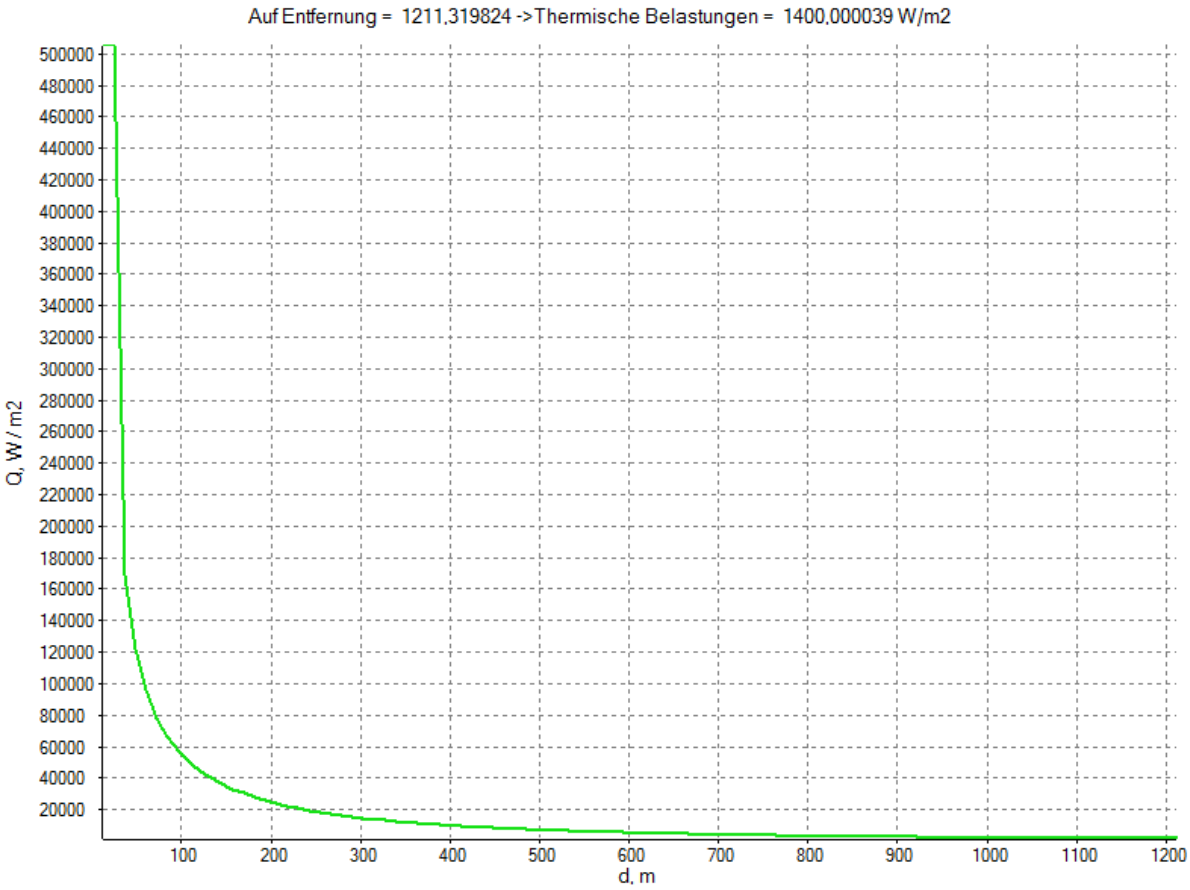

Bild 8. Thermische Belastungen

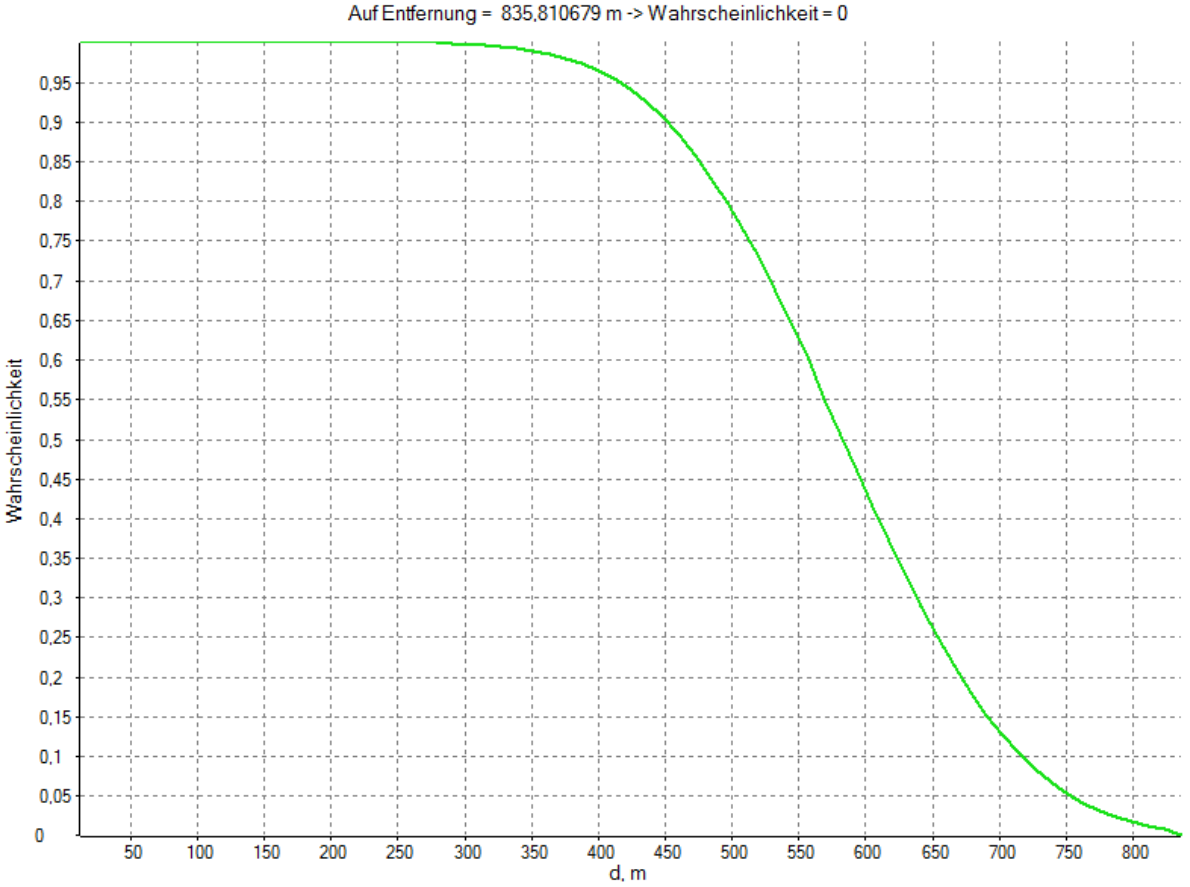

Bild 9. Schadenswahrscheinlichkeit der Menschen aufgrund der thermischen Belastungen

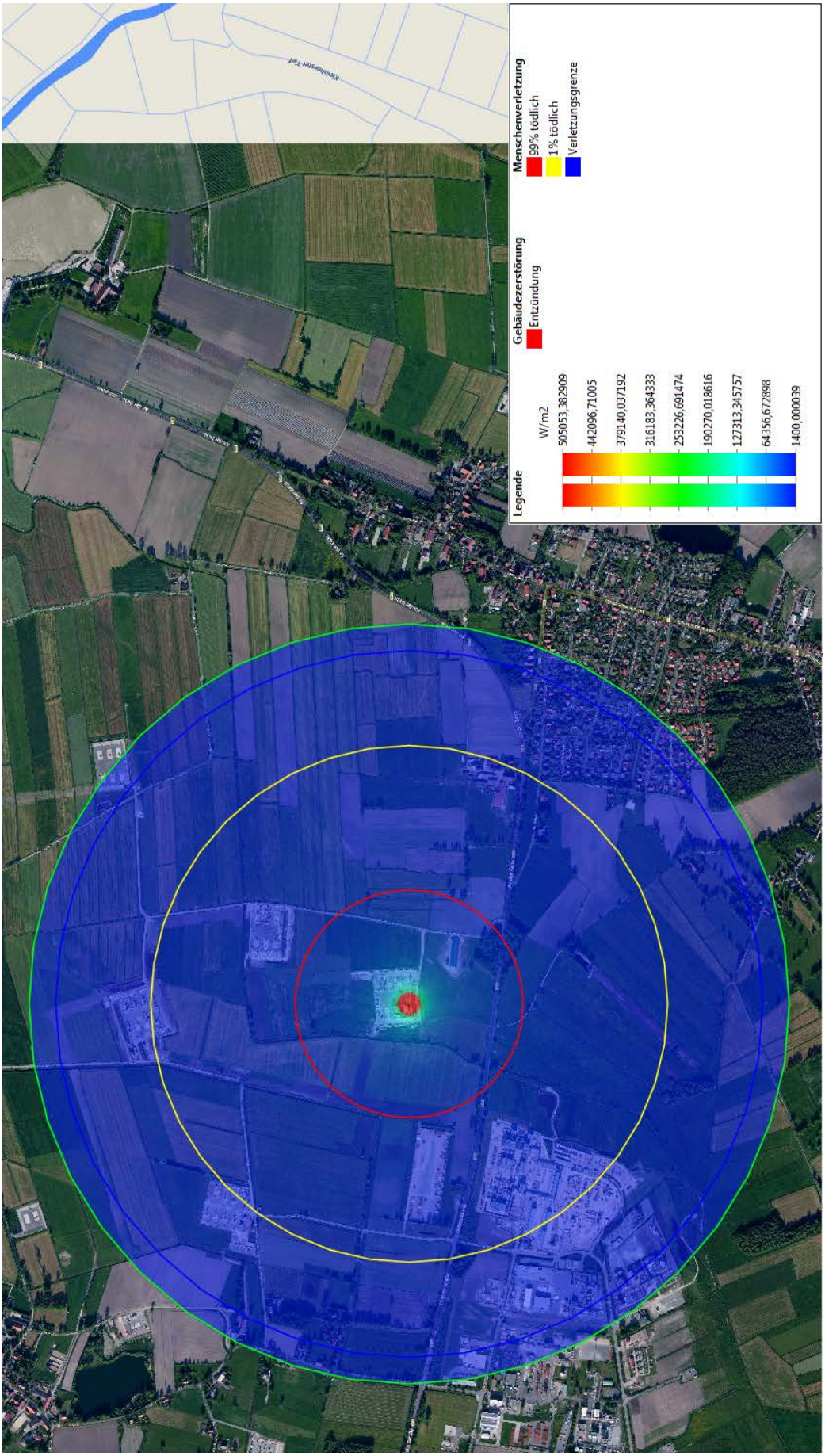

Bild 10. Graphische Darstellung der thermischen Belastungen

Es lässt sich feststellen, dass die s.g. Schmerzgrenze (menschenbezogen) von den thermischen Belastungen eine Entfernung von bis zu 1221 m Radius erreicht. Die Schadenswahrscheinlichkeit der Menschen erreicht eine Entfernung von 836 m Radius.

Weitere Berechnungen wie bspw. eine horizontale Fackel, ortsbezogene, mögliche und erwartete Anzahlen der Menschenverletzungen, eine Risikoauswertung und folgende Nachweise des Sicherheitsniveaus der Sicherheitseinrichtungen der IVG (Seveso III Anforderungen) sind jedoch nicht Bestandteil dieser vorliegenden Übersichtsanalyse.
Es ist allerdings hervorzuheben, dass Ovridia Studio alle notwendigen Module beinhaltet, um die o.g. Auswertungen durchzuführen.

Die Auswertung solcher Konsequenzen wie die von „Defekten oder mechanischen Beschädigungen der unterirdischen Rohrtouren“, „Defekten des Kavernenkopfes“, “undefinierte Schichtenverschiebungen („Kriechen“) und „interne Teilabstürze der Kavernen“ benötigt jedoch weitere Basis-Daten.

Fazit

Die Auswertung zeigt, dass die max. möglichen Menschenverletzungszonen einen Abstand (im Radius) von 3300 m von der „Perimeter-Kaverne“ erreichen (das Rohr 34 cm; Explosionsepizentrum ist in der Mitte der Dampf-Gas-Wolke platziert. Dazu ist der Radius der 3kPa Druckzone addiert; 2490 + 1640/2 = 3310 m). Als Toleranzzone der Verletzungsgrenze könnte ein Abstand von ca. 300 m festgelegt werden.
Die Größe dieser Toleranzzone hängt stark von der örtlichen Windstärke und der atmosphärischen Stabilitätsklasse ab.

Eine Auswertung der örtlichen Windrose zeigt, dass von dieser Gefahr, in Bezug auf die Windwahrscheinlichkeit, am meisten die Richtungen bzw. Ortschaften in Süd-West, West-Nord-West und Ost betroffen sind. Unter anderem sind am meisten betroffen: Etzel, Marx, Friedeburg, Abickhafe, Hoheesche, Repsholt, Horsten, Altgödens.

Wichtig: Diese Konsequenzen-Auswertung bezieht sich nur auf eine Kaverne. Es ist sehr wahrscheinlich, dass bei einer Explosion die erzeugten Trümmer die Nachbar-Kavernen-Einrichtungen (insbesondere bei einem Verteilungsplatz) ebenfalls zerstören würden. Der mögliche „Domino-Effekt“ würde entsprechend zu einer wesentlichen Vergrößerung der Menschenverletzungszonen führen.

Die Verletzungszonen eines unkontrollierten Gasaustritts mit folgender unmittelbarer Zündung sind wesentlich kleiner und erreichen einen Abstand von ~836m im Radius. Hier ist ebenfalls der mögliche „Domino-Effekt“, insbesondere auf den Verteilerplätzen, zu beachten.
Weiterhin ist zu bemerken, dass aufgrund sehr hoher Wärmestrahlung jegliche manuellen Steuerungen ohne einen speziellen Hochtemperatur-Schutzanzug und unmittelbar am Kavernenkopf in einem Bereich von bis zu 1200m Radius nicht möglich sind. In diesem Fall sind noch die operativen Hochtemperaturbereiche der technischen Ausrüstung (Ventile, Dichtungen usw.) auszuwerten. Es ist sehr wahrscheinlich, dass diese sich wegen einer starken Erhitzung nicht mehr steuern lassen oder in ihrer Funktionalität versagen.

Ein Nebeneffekt beim Fall der senkrechten Fackel ist eine enorme Lärmbelastung (mehr als 120 dB). Diese kann mit der Lautstärke eines startenden Düsenjets verglichen werden.

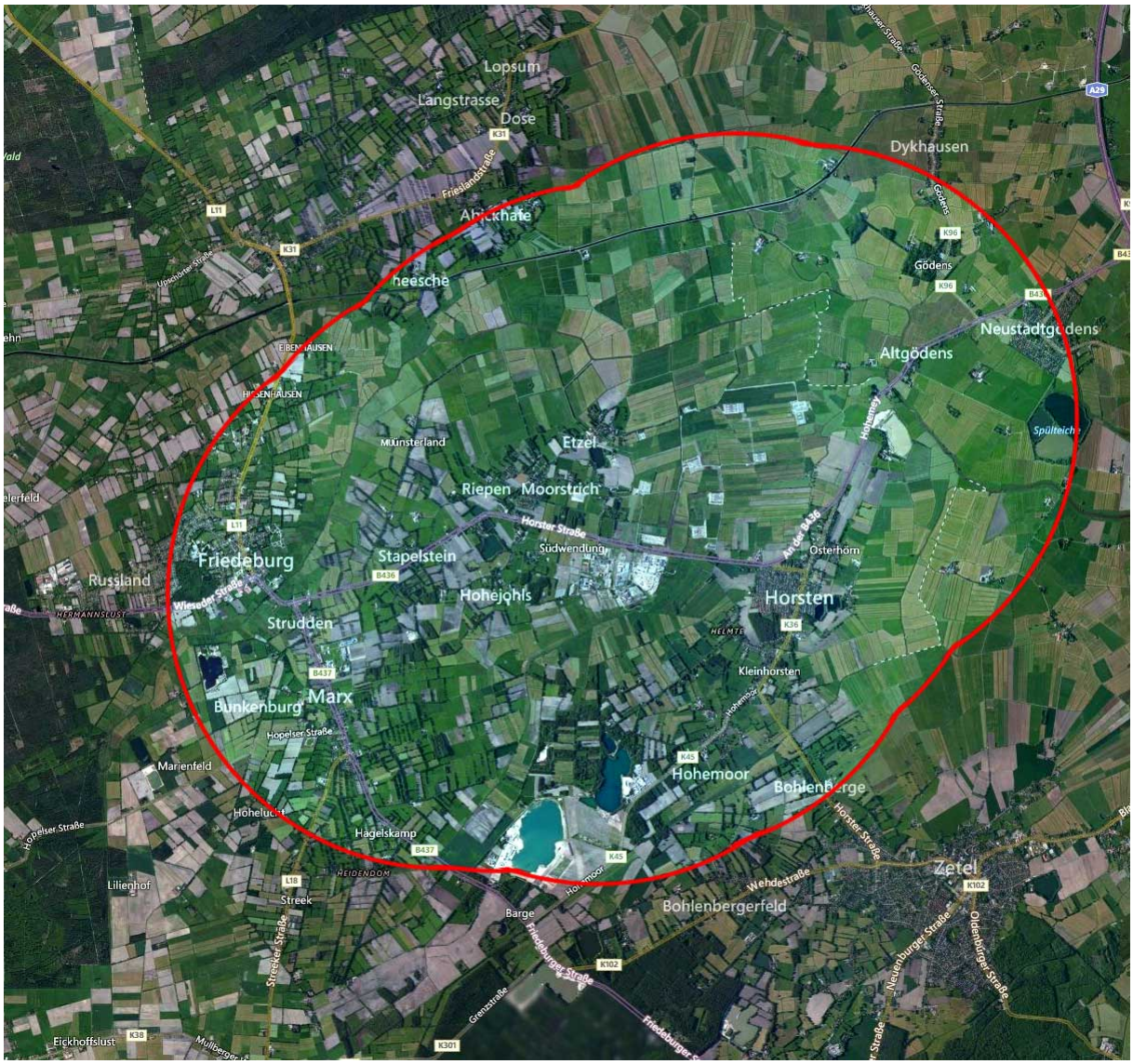

Bild 11. Region der „möglichen Schäden“

In diesem Zusammenhang ist eine detaillierte Auswertung s.g. „Not-Aus-Einrichtungen“ und deren operativen zeitlichen Zusammenhängen von großer Wichtigkeit. Dazu gehört auch die Folgeauswertung eines vollständigen operativen Ausfalls der Messwarte (z.B. durch eine Explosion).
Ein möglicher „Domino-Effekt“ für das ganze Speicher-Feld der IVG ist dabei nicht zu unterschätzen.
Die Auswertungen der „Not-Aus-Einrichtungen“ sind ein Bestandteil der HAZOP (Hazard and Operability) Studie. Das Ergebnis dieser Studie soll eine Basis für die Erstellung des Sicherheitsberichtes der IVG bilden.
Hierbei ist anzumerken, dass die Einsätze solcher Systeme wie Ovridia Studio unersetzlich sind.
Die negativen Folgen eines Defekts oder einer mechanischen Beschädigung der unterirdischen Rohrtouren, des Kavernenkopfes oder eines internen Teilabsturzes

der Kavernen, können einen akuten (s.o.) als auch einen sehr langfristigen Schadensfall auslösen.
Unter anderem sind solche Fälle wie die Druckstoßbildung in den Gas-Leitungen, der totale operative Druckverlust einer Kaverne oder deren misslungene Stilllegung zu beachten.

Wie die Erfahrung bei solchen unterirdischen Schäden zeigt, sind beispielsweise die verursachten Umweltschäden zumeist nur mit enorm hohem Aufwand oder überhaupt nicht mehr „reparabel“ bzw. „umkehrbar“.

Diese kurze Auswertung zeigt die primären möglichen Gefährdungen ausgehend von der IVG für die Menschen und die Umwelt auf. Es ist die Aufgabe der IVG und der staatlichen Behörden anhand detaillierter Risikobeurteilung (nach Seveso III Anforderungen) die tatsächlich erwarteten Schäden zu bewerten.
Hierbei ist hervorzuheben, dass dies die einzige Möglichkeit ist, dokumentiert zu beweisen, wie effektiv die Sicherheits-Einrichtungen und -Maßnahmen der IVG tatsächlich sind. Im besten Falle sollten die „erwarteten Schäden“ nämlich um den Faktor 1.000.000 kleiner als die „möglichen Schäden“ sein.

Eine solche Möglichkeit, vollständige Risiko-Auswertungen durchzuführen, bieten die vielfältigen risikobezogenen Eigenschaften des „Ovridia Studio“-Systems an.

Statistische Daten

Explosion Dampf Gas Wolke (VCE)

1. Juni 1974 in Flixborough GB, 28 Menschen kamen dabei ums Leben.

6. Juli 1988 „Piper Alpha“ Plattform 167 Menschen kamen dabei ums Leben.

3. Juni 1989 in Ufa UdSSR, 575 Menschen kamen ums Leben.

23. Oktober 1989 Pasadena Texas, 23 Menschen kamen ums Leben, 314 verletzt.

23 März 2005 BP Texas City Texas, 15 Menschen kamen ums Leben, 180 verletzt.

Defekte Gas-Öl-Kaverne

Porter Ranch, Texas, „Why the Porter Ranch gas leak could take a months to fix.“
http://www.latimes.com/local/california/la-me-porter-ranch-delay-20160102-story.html

“Gefangen in der gefährlichen Gaswolke”
http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2016-01/kalifornien-gas-leck-usa-notstand

Gronau, Kreis Borken, „Öl verseucht die Felder - Kühe sterben“
http://www.rp-online.de/nrw/panorama/oel-verseucht-die-felder-in-gronau-kuehe-sterben-aid-1.4194194

Technische Referenzen

1. F.P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, 3rd ed., Elsevier Butterworth-Heineman, Burlington (MA), 2005.

2. American Petroleum Institute, Chemical Manufacturers Association, Recommended Practice 752, Management of Hazards Associated with Locations of Process Plant Buildings, API Standard 752, 1st ed., Washington, DC, 1995.

3. CCPS: Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flashfires and BLEVEs, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, Second Printing 1998

4. E.M. Lenoir and J.A. Davenport, A survey of vapor cloud explosions: second update, Process Safety Progress 12 (1993), 12-26.

5. J.L. Woodward, Estimating the Flammable Mass of a Vapor Cloud, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1998.

6. Q.A. Baker, C.M. Doolittle, G.A. Fitzgerald, and M. Tang, Recent developments in the Baker-Strehlow VCE analysis methodology, Proces Safety Progress 17(4) (1998), 297-301.

7. A.C. Berg, The multi-energy method - A framework for vapor cloud explosion blast prediction, Journal Hazardous Materials 12 (1985), 1-10.

8. W.E.Baker, P.ACox, P.S.Westine, J.J. Kulesz, and R.A. Strehlow , Explosion Hazards and Evaluation, Elsevier, New York(1983)

9. Wiekema; B. J.: Vapour Cloud Explosion Model. Journal of Harzardous Materials, 3 (1980)

10. Pasquill, F. & Smith, F.B. 1983, Atmospheric Diffusion, Ellis Horwood, London.

11. Van den Bosch, C.J.H. and Weterings, R.A.P.M. 1997, Methods for the Calculation of Physical Effects, CPR14E (parts 1 and 2), 3rd edition.

12. Cubbage, P. A. & Marshall, M. R. 1972. Pressures generated in combustionchambers by the ignition of air-gas mixtures. Institution of Chemical Engineers, Symposium Series, No. 33. Pp. 24–31.

13. Gelfand, B. E. 2000. Laminar and turbulent flame propagation in hydrogen-airsteam mixtures. Appendix A in: Flame acceleration and deflagration-todetonation transition in nuclear safety. State-of the art report by a group of experts. Paris: Nuclear Energy Agency. 17 p. (NEA/CSNI/R(2000)7).

Ovridia Studio Screenshots

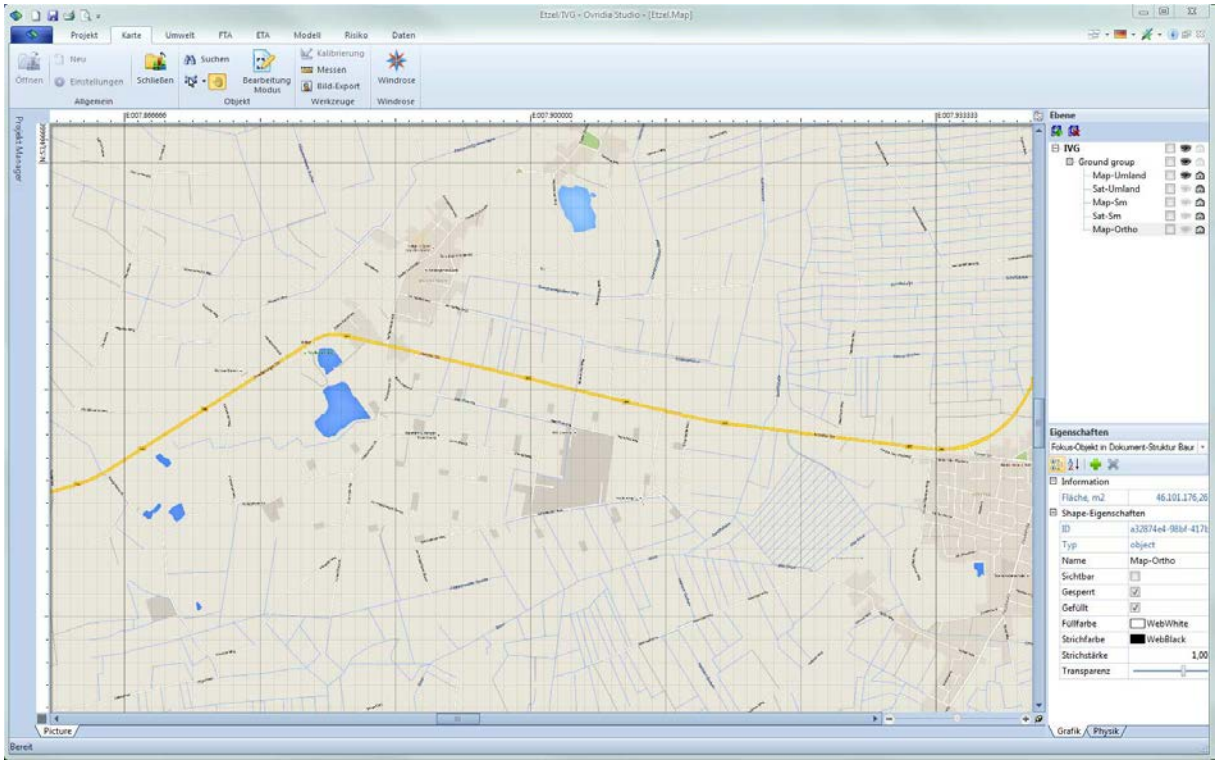

Bild 12 Karte

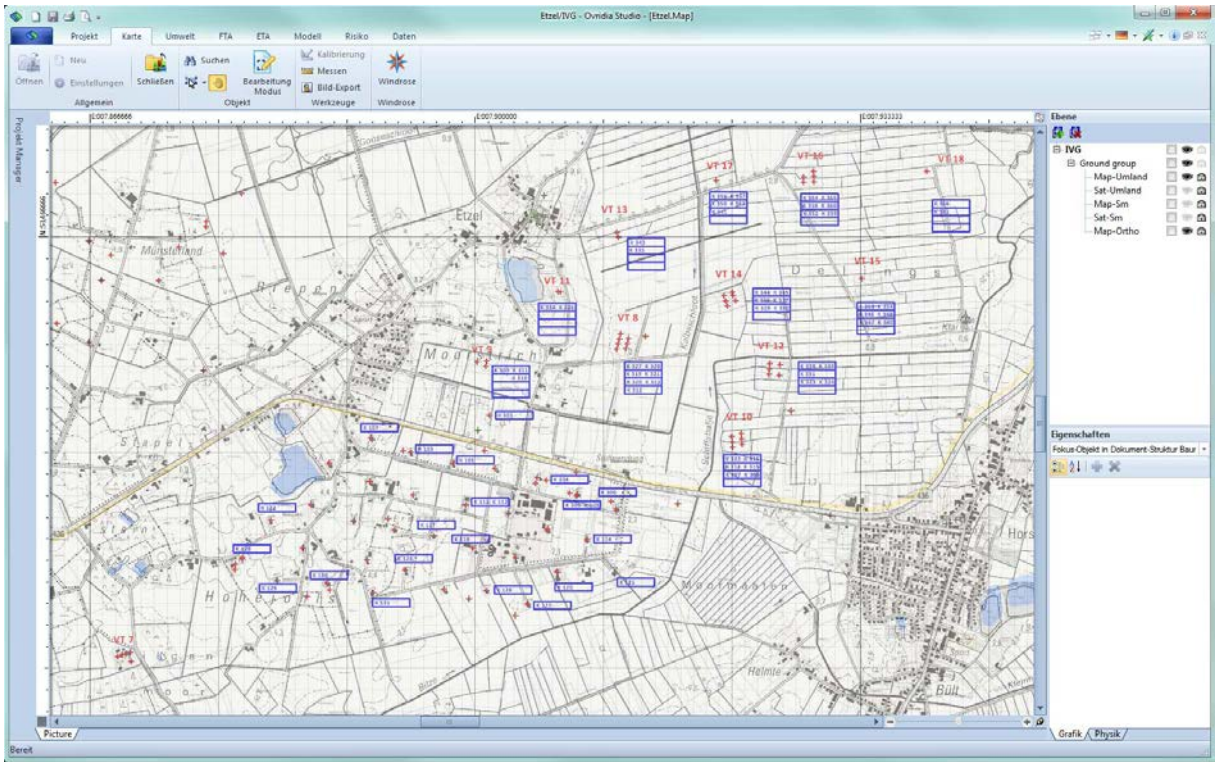

Bild 13 Ortho Karte

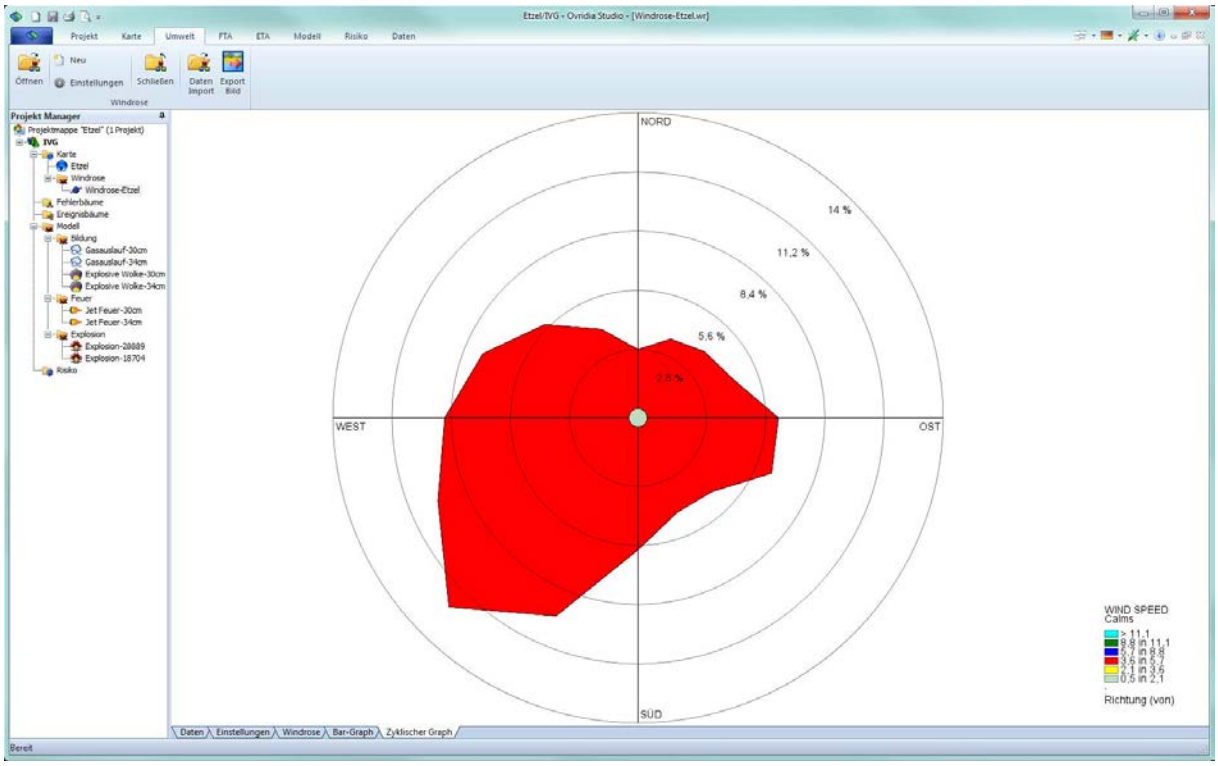

Bild 14 Windrose

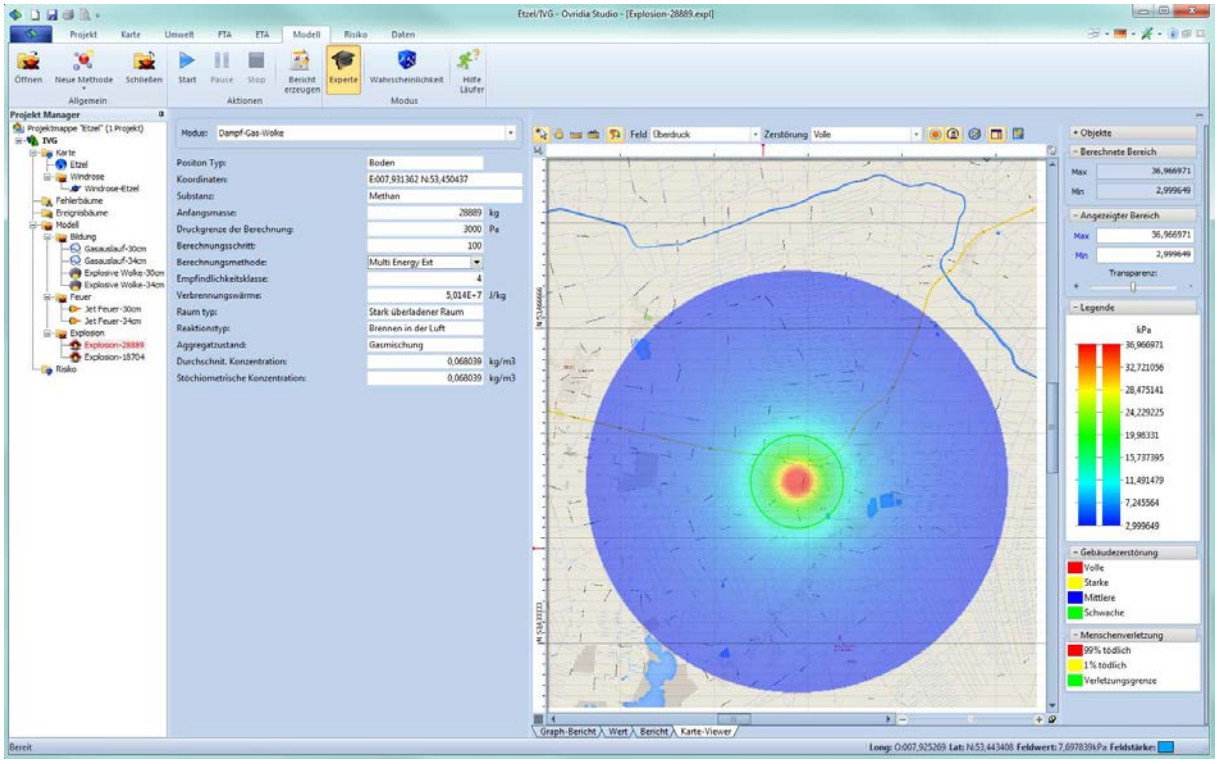

Bild 15 Explosion

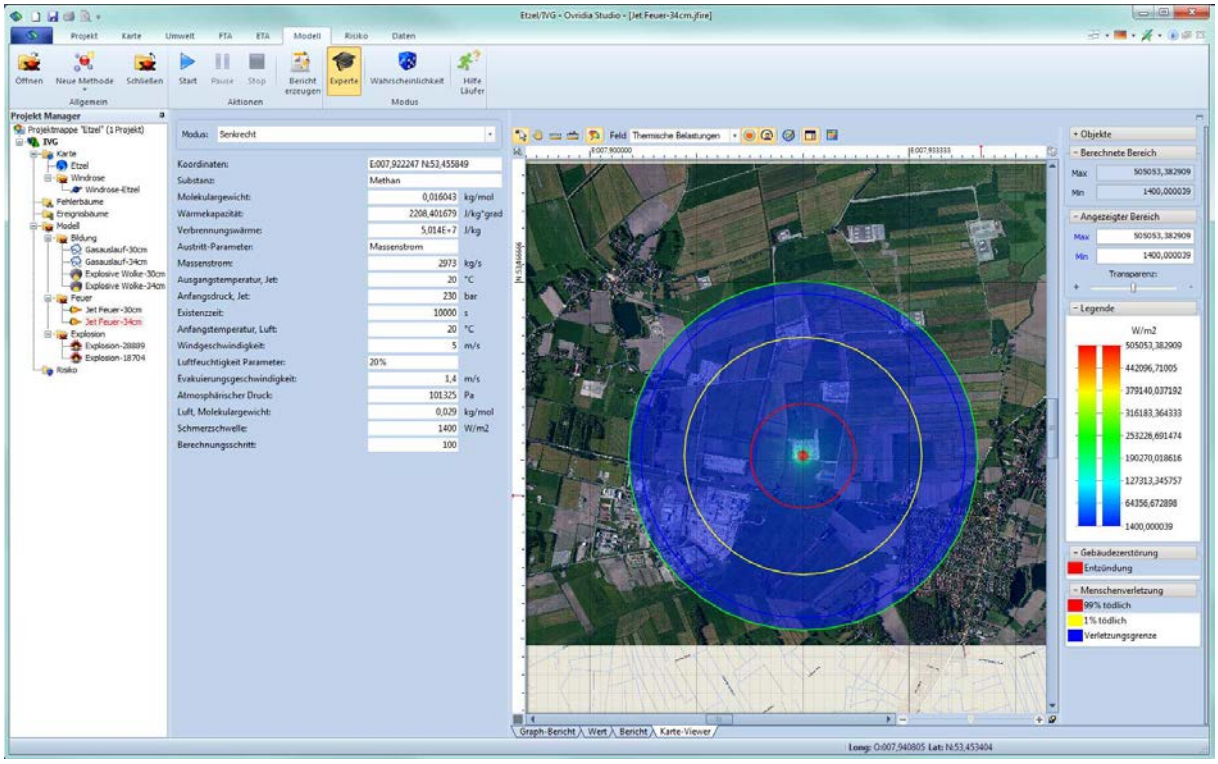

Bild 16 Fackel

Erstellt nach einer Anfrage von BI-Lebensquailtät Horste-Etzel-Marx e.V.

Dipl.-Phys.Ing.-Inform.
Waldemar Witt

Tel: +49 (0) 511/4730-172

E-Mail: waldemar.witt@ovridia.com
Internet: www.ovridia.de , www.ovridia.com