

Islamabad Marriott Hotel VBIED Attack

Quick Look Report

Ausgangslage und Anlass des vorliegenden Reports

Terrorattacken stellen weltweit eine Bedrohung dar. Eine der billigsten und effektivsten Waffen des heutigen Terrors sind Fahrzeugbomben. Im Englischen spricht man präziser von VBIED (Vehicle Borne Improvised Explosive Device).

Da in Krisenregionen im Ausland auch Schweizer tätig sind und weil die Terrorgefährdung auch in Europa eine zunehmende Bedrohung darstellt, führt das LABOR SPIEZ, die schweizerische Fachstelle für ABC-Schutz des VBS, seit längerem Untersuchungen in den Bereichen Gefährdung und Schutz vor VBIED durch. Als Resultat dieser Forschungstätigkeit wurde im Jahr 2007 das Handbuch "Schutz gegen Terrorangriffe mit Fahrzeugbomben" publiziert. Das Handbuch wurde zudem im Rahmen einer erfolgreichen Fachtagung den Vertretern von Polizei- und Bevölkerungsschutzorganisationen vorgestellt.

Der VBIED Anschlag auf das Marriott Hotel in Islamabad, Pakistan, vom 20. September 2008 wurde in der Weltpresse aufgrund der eingesetzten grossen Sprengladung und der dramatischen Auswirkungen der Explosion eingehend dargestellt. Interpretationen solcher Berichterstattungen sind jedoch allgemein schwierig, da diese oftmals verzerrt sind und auf nicht abgestützten Aussagen oder Vermutungen beruhen. Vom sicherheitstechnischen Standpunkt aus betrachtet ist das Ereignis jedoch als aussergewöhnlich interessant zu beurteilen. Eine rasche Analyse der einzelnen Bereiche wie Fahrzeuganprall, Schutzmassnahmen, Explosionswirkungen und Schäden drängte sich deshalb auf.

Der vorliegende Quick Look Report, der aus den genannten Gründen in den Tagen nach dem Terroranschlag erstellt wurde, vermittelt einen umfassenden Überblick über den Ablauf und die Auswirkungen der VBIED Attacke. Die im erwähnten Handbuch "Schutz gegen Terrorangriffe mit Fahrzeugbomben" angegebenen Grundlagen werden anhand dieser Auswertung bestätigt.

Daniel Schuler

Winterthur, 26. September 2008

Bürkel Baumann Schuler
Ingenieure+Planer AG
Gertrudstrasse 17
CH-8400 Winterthur
Fon +41 52 260 0710
Fax +41 52 260 0720
Mail daniel.schuler@bbs-ing.ch

Inhaltsverzeichnis:

1	Terroranschlag	3
1.1	Ziel	3
1.2	Zeitpunkt	4
1.3	Ablauf	4
2	Sicherheitsmassnahmen	8
2.1	Eintritts-Kontrollpunkt (ECP)	8
2.2	Fahrzeug-Rückhalteeinrichtungen	9
3	Fahrzeugbombe (VBIED)	10
3.1	Fahrzeug und Fahrzeuganprall	10
3.2	Sprengstoff	11
3.3	Sprengstoffmenge (Ladung)	11
4	Explosionswirkungen	13
4.1	Krater	13
4.2	Druckwirkungen	14
4.3	Gebäudeschäden	16
4.4	Brandwirkungen und Gebäudebrand	17

Abkürzungen:

ANFO	Ammonium Nitrat Fuel Oil
CCTV	Closed Circuit Television
C4	Composition Compound 4
ECP	Entry Control Point
FAE	Fuel Air Explosives
RDX	Research Department Explosive (Hexogen)
TNT	Trinitrotoluol
VBIED	Vehicle Borne Improvised Explosive Device

Berichte des LABOR SPIEZ betreffend der Gefährdung und der Schutzmassnahmen bei Terrorangriffen mit VBIED:

- [1] Schuler, D.: Schutz von Bauten und Anlagen gegen Angriffe mit Strassenfahrzeugen, LABOR SPIEZ, Bericht Nr. LS 2005-09, Spiez, 01.06.2005
- [2] Schuler, D.: Schutz gegen Terrorangriffe mit Fahrzeugbomben - Handbuch, LABOR SPIEZ, Bericht Nr. LS 2006-13.1, Spiez, 22.10.2007

1 Terroranschlag

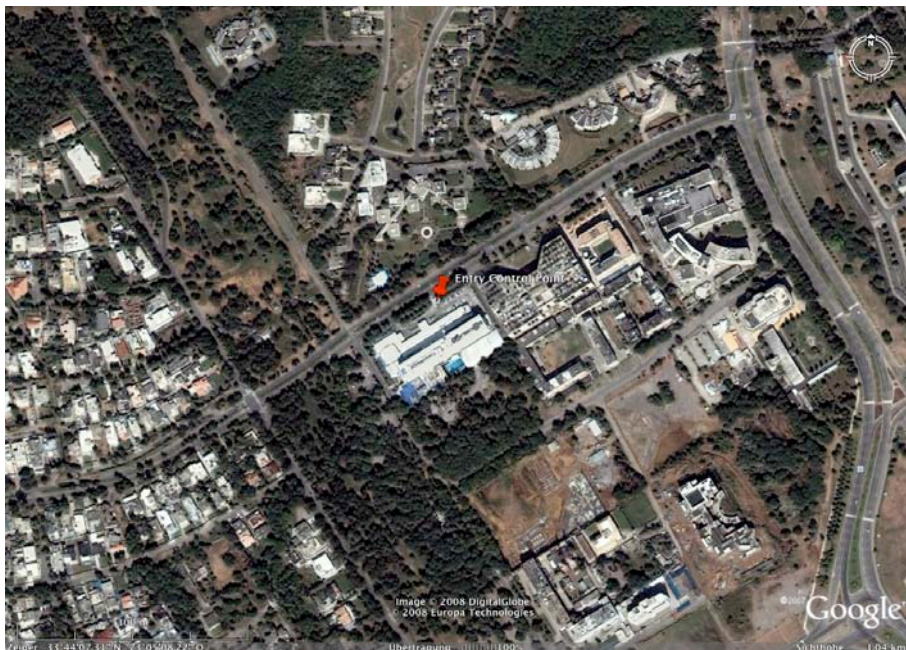
1.1 Ziel

Das Marriott Hotel in der pakistanischen Hauptstadt Islamabad galt als wahrscheinliches Ziel eines Terroranschlags. Da pakistanische Politiker und ausländische Diplomaten im Hotel verkehrten, wurden die Risiken als gross eingeschätzt. In der Vergangenheit wurden bereits Anschläge auf das Hotel durchgeführt. Die unten stehenden Auszüge aus der Presse verdeutlichen dies:

- © *The Marriott was the first five-star hotel to be built in Islamabad and has been a favourite haunt for diplomats, dignitaries, the city's Westernised elite and well-off foreign visitors.*
- © *Das Marriott Hotel in Islamabad, fünf Sterne, mitten im sterilen Zentrum der geometrisch angelegten pakistanischen Hauptstadt gelegen, war ein teures Haus. Und es war immer voll mit Staatsgästen, mit den Crews der internationalen Fluggesellschaften, pakistanischen Cricket-Spielern und Prominenz, ausländischen Journalisten und Unternehmern. [Tags-Anzeiger, 22. September 2008]*
- © *Marriott has been known as a target of terrorists. As such, it has been an obvious target for Islamist militants. Twice in the past it has suffered bomb attacks. On both occasions it sprang right back to business as usual.*
- © *Alle wussten, dass es eine riskante Adresse war, ein Hotel im Krieg, selbst schon eine kleine Front. Es war immer ein sehr wahrscheinliches Ziel der Terroristen gewesen, weil es ausländisch war, amerikanisch obendrein und ein säkulare Ikone in der Stadt. Zwei Mal hatten Attentäter schon versucht, das Hotel in die Luft zu sprengen. [Tags-Anzeiger, 22. September 2008]*



1: Marriott Hotel in Islamabad, Pakistan [Google Earth]



2: Luftbild des Marriott Hotels aus 1 km Höhe und Entry Control Point [Google Earth]

1.2 Zeitpunkt

- © *Das Attentat ereignete sich am Samstag, 20. September 2008, gegen 20 Uhr Ortszeit (16 Uhr MESZ). Zur Zeitpunkt der Tat hielten sich viele Familien in dem Hotel auf, um nach Einbruch der Dunkelheit das Fastenbrechen des Ramadans zu begehen.*
- © *Witnesses and officials said a large truck had rammed the high metal gate of the hotel at about 8 p.m., when the restaurants would have been packed with dinners, including Muslims breaking the Ramadan fast. [Associated Press]*

1.3 Ablauf

Die folgenden vom Videoüberwachungssystem (CCTV) bei der Einfahrtskontrolle (Entry Control Point, ECP) zum Hotelparkplatz aufgezeichneten Bilder zeigen den Ablauf des Terrorangriffs. Die Aufnahmen wurden am Sonntag in der Presse und im Netz veröffentlicht [www.youtube.com].

- © *Dramatic surveillance footage released Sunday showed how the truck sat burning and disabled at the hotel gate for at least three-and-a-half minutes as nervous guards tried to douse the flames before they, the truck and much of the hotel forecourt vanished in a fearsome fireball.*



1. Anfahrt des Lastwagens zum ECP



2. Anfahrt des Lastwagens um die Kurve



3. Senkrechte Anfahrt des Lastwagens an die Rückhalte-einrichtung



4. Anprall des Lastwagens an die Fahrzeug-Rückhalte-einrichtung



5. Zum stehenden Fahrzeug von links herbei eilendes Wachpersonal



6. Explosion im stehenden Fahrzeug (Sprengstoffweste des Selbstmordattentäters)



7. Explosion im stehenden Fahrzeug



8. Wachpersonal hat sich in Sicherheit gebracht



9. Ausbruch eines Fahrzeugbrandes; Wachpersonal ist zurückgekehrt



10. Fahrzeugbrand nach der Explosion



11. Heftiger Fahrzeugbrand



12. Zweite Explosion (evtl. Flashover) und verstärkter Brand



13. Schranke der Ausfahrt wird geöffnet, Fahrzeug-Rückhalteinrichtung bleibt geschlossen



14. Heftiger Fahrzeugbrand



15. Wachmann mit Feuerlöscher (Mitte vorn)



16. Löschversuch mit Feuerlöscher an Fahrzeugfront



17. Löschversuch an Fahrzeugfront



18. Seitlicher Löschversuch aus grosser Entfernung



19. Seitlicher Löschversuch und Abbruch



20. Heftiger Fahrzeugbrand vor der Explosion der Ladung

3: Bildsequenzen aus den CCTV Aufzeichnungen am ECP [www.youtube.com]

© **Hapless guards stopped Islamabad truck bomb, but didn't know what to do next**

[*SAEED SHAH 2008, McClatchy-Tribune Information Services, 2008*]

The surveillance video released Sunday shows that security measures at Islamabad's Marriott hotel succeeded in stopping a suicide truck bomb at the hotel's front gate, but the security guards seemed confused about what to do next before the truck exploded, devastating the hotel and killing dozens.

About three minutes elapsed between the dump truck crashing into a retractable metal barrier at the gate and the blast. During that time, security guards can be seen approaching the burning vehicle and then retreating, then returning, one with a fire extinguisher, before disappearing from the video, which ended, presumably, when the truck exploded.

The holder of the Marriott franchise in Pakistan said that guards should have shot the bomber. "If I were there and had seen the suicide bomber, I would have killed him. Unfortunately, they didn't," he said. "But we will have better training (in future)."

© *"Es gab eine Warnung vom Sicherheitspersonal, sie sagten uns, wir sollten in den hinteren Teil des Hotels gehen", sagte ein leicht verletzter Deutscher namens Clemens Steinkamp. "Fünf Minuten passierte nichts ... und dann gab es eine riesige Detonation." [SPIEGEL Online]*

Der dargestellte Ablauf mit der Intervention des Wachtpersonals am Eintritts-Kontrollposten (ECP) ist insofern verwunderlich, als dass die zahlreichen am ECP beschäftigten Personen angesichts der Bedrohung ein scheinbar zielloses Verhalten zeigten. Der nach einigen Minuten durchgeführte Löschversuch mit dem Handfeuerlöscher ist dilettantisch. Angesichts der in Pakistan generell und speziell auch beim Marriott Hotel vorhandenen Terrorgefährdung (vgl. Abschnitt 1.1) sowie der offensichtlich vorhandenen, weit reichenden Sicherheitsmassnahmen (vgl. Abschnitt 2) ist dies umso erstaunlicher. Gemäss dem Zitat eines Hotelgastes (siehe oben) wurden die Hotelgäste jedoch angewiesen, sich in den hinteren Teil des Gebäudes zu begeben. Es ist anzunehmen, dass es dieser Massnahme zu verdanken ist, dass der Anschlag nicht mehr Opfer forderte.

2 Sicherheitsmassnahmen

2.1 Eintritts-Kontrollpunkt (ECP)

Die Sicherheitsmassnahmen zum Schutz des Hotels scheinen allgemein sehr weit reichend gewesen zu sein (vgl. Presseauszug unten), was jedoch angesichts der Gefährdung nicht erstaunlich ist. Die Einfahrt zum Hotel von der Strasse (Aga Khan Road) mit dem Eintrittskontrollpunkt (ECP) ist im Bild 4 abgebildet. Auf dem Bild ist nur eine Schranke, jedoch kein spezielles Fahrzeug-Rückhaltesystem (siehe Bild 5) zu erkennen. Bei der Fotografie handelt es sich evtl. um ein älteres Bild und der ECP wurde in der Zwischenzeit mit einem solchen System nachgerüstet.

© *Ausser dem diplomatischen Viertel, welches mit Stacheldraht und Mauern vom Rest der Stadt abgegrenzt ist, war kein privates Gebäude besser bewacht als das Marriott. Am Eingang des Hotels gab es einen Checkpoint (ECP) mit einem Duzend Uniformierter und zwei Hunden, die jeden Sprengstoff, der im Auto eines Terroristen untergebracht wäre, erspürt hätte... Einer der Sicherheitsleute spiegelte den Boden von jedem Wagen, einer schaute sich den Motor an, einer den Kofferraum... Am Eingang zum Hotel musste man einen Metalldetektor passieren...*
[Tages-Anzeiger, 22. September 2008]



4: ECP des Marriott Hotels [Google Earth]

In der Abbildung 5 ist die Situation mit der Einfahrt von der Aga Khan Road zum Hotelparkplatz in einer Luftaufnahme dargestellt. Der ECP befindet sich direkt an der Strasse. Dahinter befindet sich ein etwa 20 m breiter Parkplatz. Das Hotelgebäude, welches sich auf eine Länge von rund 130 m erstreckt, verläuft parallel zur Aga Khan Road.

Die Distanz von der Fahrzeugmitte eines Lastwagens, welcher vor der Barriere des ECP steht, bis zur Fassade der eingeschossigen Vorbauten des Hotels (Eingang, Lobby) beträgt knapp 30 Meter. Bis zur Fassade des sechsgeschossigen Hotelgebäudes (Zimmer) beträgt die Entfernung 50 Meter.



5: Situation des ECP mit Entfernung zum Hotelbau [Google Earth, Grafik bbs]

2.2 Fahrzeug-Rückhalteinrichtungen

In den Aufzeichnungen des CCTV-Systems ist zu erkennen, dass beim ECP bei der Ein- und Ausfahrt Fahrzeug-Rückhalteinrichtungen installiert waren, welche zum Zeitpunkt des Anschlags beide geschlossen waren (Bild 6). Bei der Rückhalteinrichtung handelt es sich wahrscheinlich um ein versenkbares oder absenkbares System, vermutlich um eine sogenannte Platten-Barrieren. Solche Systeme werden mittels Anprallversuchen getestet. Sie können je nach Konstruktion eine hohe Rückhaltewirkung aufweisen (siehe auch [1]).



6: Sequenz der CCTV-Aufzeichnung: Sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausfahrt sind die geschlossenen Schranke und die ausgefahrene Fahrzeug-Rückhalteinrichtung zu erkennen. [www.youtube.com]

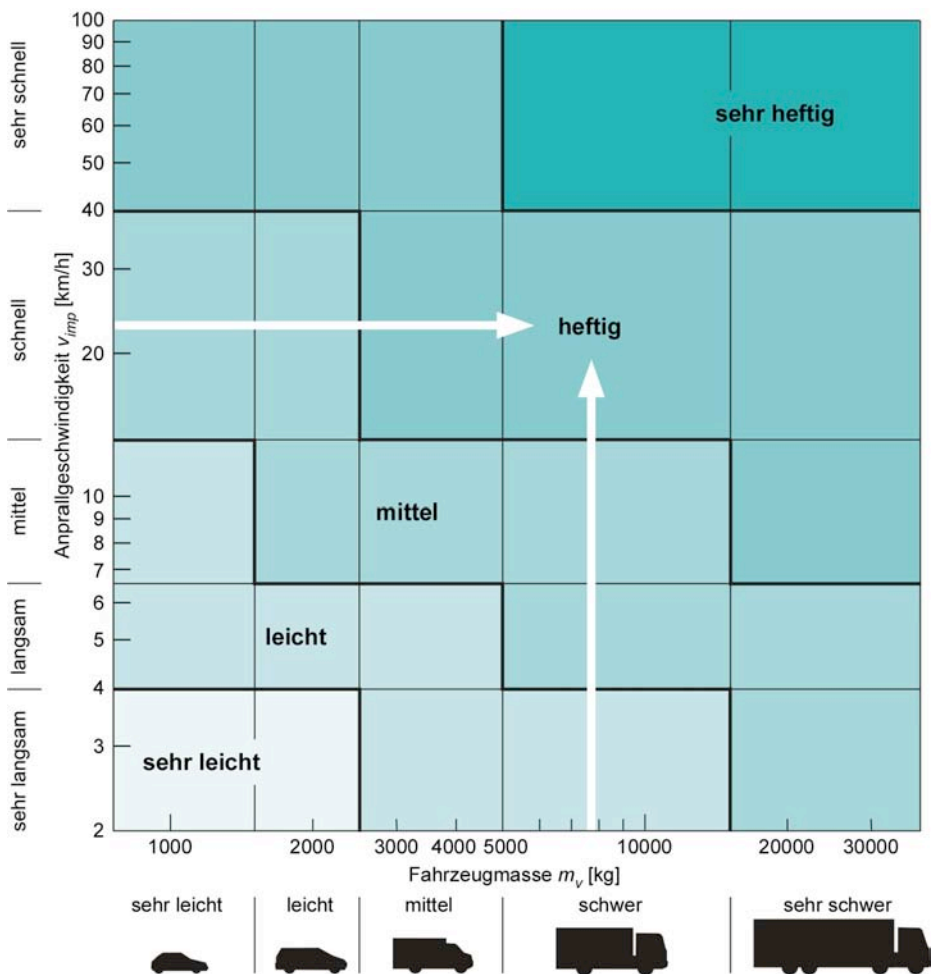
3 Fahrzeugbombe (VBIED)

3.1 Fahrzeug und Fahrzeuganprall

Beim Fahrzeug mit dem Sprengsatz (VBIED) dürfte es sich aufgrund der Aufzeichnungen der Videoüberwachung (CCTV) um einen zweiachsigen Lastwagen mittlerer Grösse gehandelt haben (vgl. Bild 3). Gemäss der in [2] definierten Klassifizierung handelt es sich dabei um ein Fahrzeug der Klasse "schwer" dessen Gesamtgewicht unter 10 Tonnen liegt.

Die Anfahrt des Lastwagens an den ECP von der Aga Khan Road, wie sie im Bild 6 eingezeichnet ist, erfolgte nach einer vergleichsweise engen Linkskurve. Gemäss den vom CCTV aufgezeichneten Videobildern erfolgte diese Anfahrt mit der für diesen Kurvenradius möglichen Geschwindigkeit von 20 - 30 km/h. Der Anprall an das geschlossene Fahrzeug-Rückhaltesystem war heftig, dieses wurde jedoch nicht durchbrochen.

In der Grafik, Bild 7, ist die Heftigkeit eines Fahrzeuganpralls in Abhängigkeit des Fahrzeuggewichts und der Anprallgeschwindigkeit dargestellt. Der Anprall eines Lastwagens der Klasse "schwer" mit einer Geschwindigkeit von 20 - 30 km/h ist heftig. Bei einem solchen Anprall wirkt eine Anprallkraft von ca. 100 kN (siehe [2]). Wie der vorliegende Fall zeigt, können absenkbare, auf Anpralleinwirkungen ausgerichtete Rückhaltesysteme so grosse Kräfte aufnehmen.



7: Heftigkeit eines Fahrzeuganpralls in Abhängigkeit der Fahrzeugmasse und der Anprallgeschwindigkeit nach [2]

3.2 Sprengstoff

Zum Sprengstoff, welcher von den Terroristen eingesetzt wurde, existieren keine gesicherten Informationen. Auf Grund der guten Verfügbarkeit sowie der vergleichsweise einfachen Herstellung wird für die Herstellung von Fahrzeugbomben häufig ANFO (Ammonium Nitrat Fuel Oil) als Sprengstoff verwendet. Bei gut organisierten terroristischen Gruppen ist es auch möglich, dass militärische Sprengstoffe verwendet werden. Im nachfolgend zitierten Pressetext wird diesbezüglich RDX¹⁾ erwähnt. Möglich ist, dass der Plastiksprengstoff C4²⁾, dessen explosives Material und Hauptbestandteil aus RDX besteht, eingesetzt wurde. (vgl. Info-Box).

- © *The interior ministry chief, Rehman Malik said the bomb included more than 1'300 pounds of **TNT and RDX explosives** and mortar shells. The bomb also included **aluminum powder** that acted as a fire accelerant... [McClatchy-Tribune Information Services]*
- © *Police believe the lorry was packed with **RDX and TNT high explosives**, and with **aluminium powder**. Aluminium burns fiercely, increasing the ferocity of the blaze. [euronews.net]*

¹⁾ **RDX** (Research Department Explosive) ist ein Hexogen, ein hochbrisanter und giftiger Sprengstoff, der in grossen Mengen hergestellt wird. Er gilt als wichtigster praktisch angewendeter brisanter militärischer Explosivstoff. Das TNT-Energieäquivalent beträgt 1 kg RDX = 1,5 kg TNT. RDX ist mechanisch, chemisch und thermisch sehr stabil und der Hauptbestandteil einiger Plastiksprengstoffe, wie beispielsweise C4. Um in zur Explosion zu bringen, muss eine Initialzündung mit einer Sprengkapsel erfolgen.

²⁾ **C4** (Composition Compound 4) ist ein häufig militärisch verwendeter Plastiksprengstoff, der mit Sprengstoffsuchgeräten oder -hunden schwer aufzuspüren ist. Er besteht zur Hauptsache aus der explosiven Substanz RDX (91%) sowie aus Plastifizierer und Bindemittel. Damit er besser entdeckt werden kann, werden dem Sprengstoff bei der Herstellung stark riechende Stoffe und Metallstaub beigefügt. Das TNT-Energieäquivalent beträgt 1 kg C4 = 1,34 kg TNT.

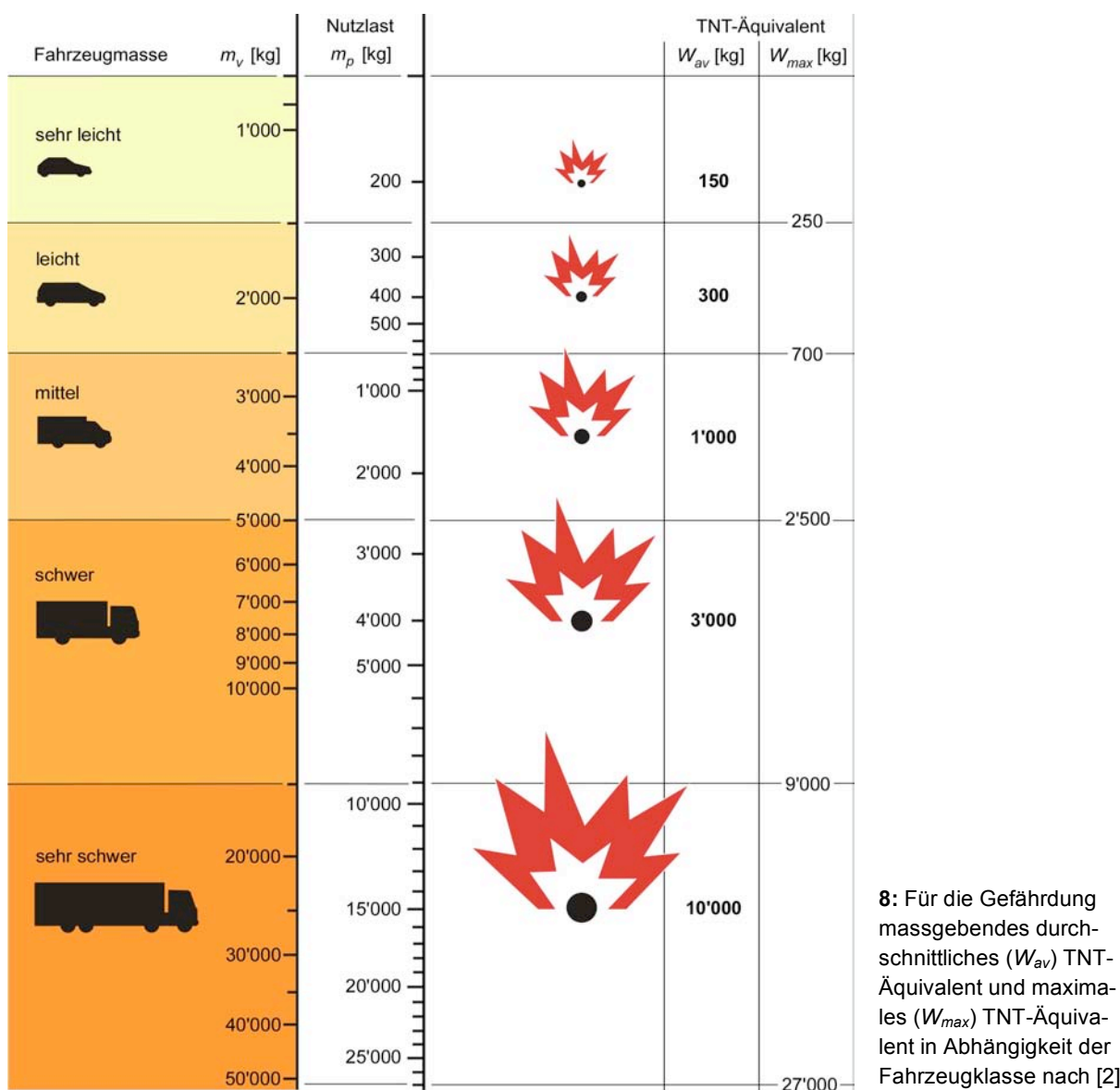
3.3 Sprengstoffmenge (Ladung)

Über die Grösse der Ladung, d.h. die Menge des mitgeführten und explodierten Sprengstoffs der VBIED liegen keine verlässlichen Angaben vor. Zahlreiche Pressemeldungen erwähnten eine Sprengstoffmenge von 1'000 kg (2'000 pounds). Diese Mengenangabe wird angesichts der Explosionswirkungen und speziell der Druckwirkungen an den Gebäuden als zu gross beurteilt. Eine Analyse der Explosionswirkungen findet sich im folgenden Abschnitt 4.

- © *Ein Polizeisprecher erklärte, die gewaltige Explosion sei von **mehr als tausend Kilogramm Sprengstoff** verursacht worden. [SPIEGEL Online]*
- © ***At least 2'000 pounds** of explosive caused a massive crater in front of the hotel.*
- © *The man who rammed his truck into the front gate of the Marriott Hotel was sitting on an **estimated 1'000 kg (one tonne)** of explosives, a quantity never before used by militants in attacks inside Pakistan.*
- © *The interior ministry chief, Rehman Malik, told a news conference that the bombing was the largest ever seen in Pakistan. He said the bomb included **more than 1'300 pounds** of TNT and RDX explosives and mortar shells. [McClatchy-Tribune Information Services]*
- © *... als am Samstagabend ein Lastwagen, der mit **etwa einer Tonne** Sprengstoff beladen sein musste, an der Sicherheitsschranke des Marriott Hotels explodierte. [Tages-Anzeiger, 22. September 2008]*
- © *... seconds later, **600 kilos** of explosive would destroy the hotel ... [euronews.net]*
- © *Experten vermuten, dass **etwa 500 Kilogramm** Sprengstoff in dem Lastwagen gezündet sein mussten. [Neue Zürcher Zeitung, 22. September 2008]*

Zur Einschätzung der Gefährdung, welche von einer VBIED ausgeht, wird die mögliche Ladung allgemein aufgrund der Fahrzeuggrösse bzw. der Ladekapazität des Fahrzeugs abgeschätzt. Sowohl NATO¹ als auch ATF² haben zu diesem Zweck eine Klassifizierung verschiedener grosser Fahrzeuge eingeführt. In der folgenden Grafik, Bild 8, sind die in [2] definierte Klassifikation von Fahrzeugklassen und die dazugehörigen Ladungsmengen (TNT-Äquivalente) angegeben. Sie deckt sich weitgehend mit den Festlegungen von NATO und ATF.

Da sich diese Gefährdungsannahmen an den (maximal) möglichen Ladungsmengen orientieren, sind sie sehr konservativ. Im vorliegenden Fall mit einem Lastwagen der Fahrzeugklasse "schwer" müsste von einer Sprengstoffmenge mit einem TNT-Äquivalent von $W = 3'000$ kg ausgegangen werden. Beim Anschlag auf das Marriott Hotel war die Ladung bedeutend kleiner. Sie hätte mit einem Fahrzeug der Klasse "mittel", allenfalls sogar mit einem leichten Fahrzeug transportiert werden können. Ein schweres Fahrzeug wurde von den Terroristen allenfalls mit dem Ziel eingesetzt, die Fahrzeug-Rückhalteeinrichtung am ECP zu durchbrechen.



¹ Standardization Agreement (STANAG) 2280, Design threat levels and handover procedures for temporary protective structures, NATO

² Vehicle Bomb Explosion Hazard and Evacuation Tables, U.S. Department of the Treasury Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms (ATF)

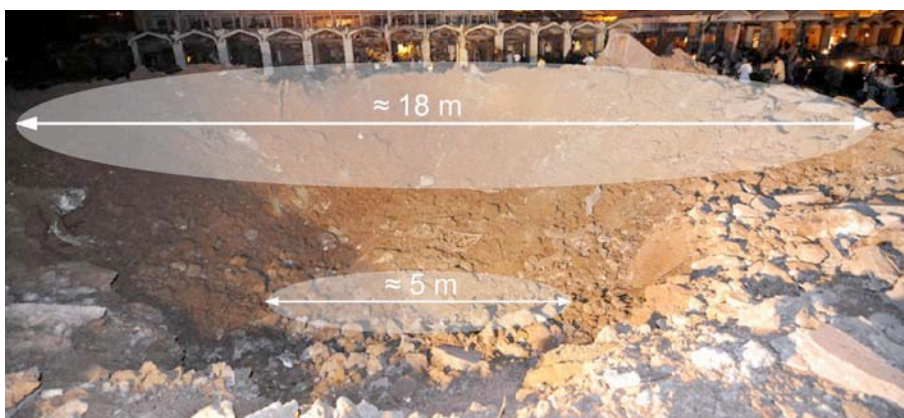
4 Explosionswirkungen

4.1 Krater

Durch die Explosion der Fahrzeugbombe wurde der Strassenbelag aufgerissen und ein grosser Krater erzeugt. Zur Grösse dieses Kraters wurden in der Presse unterschiedliche, teils sehr grosse Dimensionen angegeben, welche bis zu einer Tiefe von 10 m und einem Durchmesser von mehr als 20 m reichten.

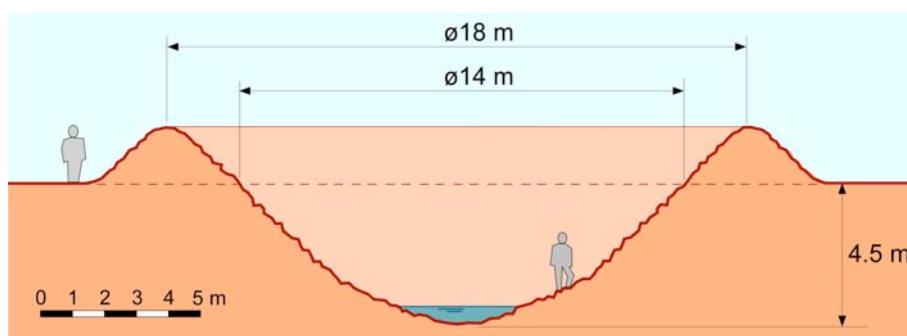
- © *At least 2,000 pounds of explosive caused a massive crater in front of the hotel - at least 30 feet across and 30 feet deep.*
- © *The site of the Marriott, with a crater that measures 59 feet across and 24 feet deep... [McClatchy-Tribune Information Services]*

Die Grösse des durch die Explosion entstandenen Kraters liefert einen Hinweis auf die Sprengstoffladung, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Kraterbildung auch durch die Lage des Sprengsatzes in Bezug auf den Boden wesentlich beeinflusst wird. Bei der Einschätzung der Kratergrösse anhand der vorliegenden Fotografien ist zu beachten, dass die Aufnahmen praktisch immer mit kleinen Brennweiten gemacht worden sind, weshalb die Kratergrösse auf vielen Bildern sehr gross erscheint.



9: Bombenkrater

Eine detaillierte Analyse des Bildmaterials ergibt, dass der Explosionskrater ungefähr die im Bild 10 dargestellten Abmessungen aufweisen dürfte.



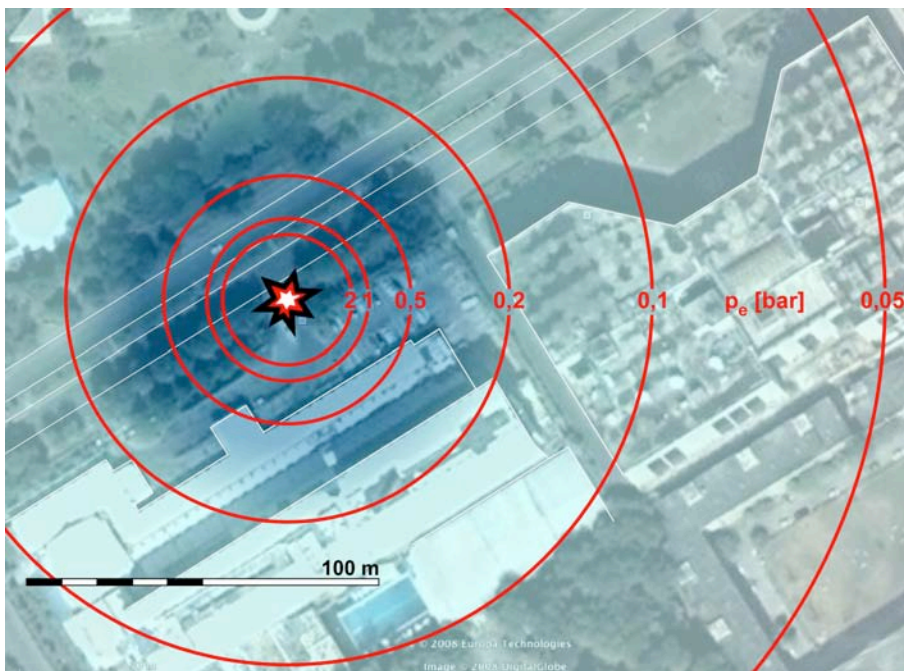
10: Geschätzte Abmessungen des Kraters [Grafik bbs]

Obwohl kleiner, als in der Presse allgemein beschrieben, muss der dargestellte Krater als ungewöhnlich gross beurteilt werden. Neben der grossen Sprengstoffmenge dürfte auch die Beschaffenheit des Bodens dafür verantwortlich sein. Anhand des aufgeworfenen Kraterandes im Bild 12 erkennt man, dass es sich beim Untergrund um vergleichsweise lockeres Material mit einer geringen Kohäsion handeln dürfte. Nach der Zerstörung des Strassenbelags wurde durch die Explosion sehr viel Bodenmaterial ausgeworfen, wodurch ein grosser Krater entstand.

4.2 Druckwirkungen

Eine Explosion erzeugt einen Luftstoss, der sich kugelförmig vom Explosionszentrum ausbreitet. Der Spitzenüberdruck des sich ausbreitenden Luftstosses nimmt mit zunehmender Entfernung vom Explosionszentrum stark ab.

Für die Explosion der VBIED beim ECP sind im Bild 11 die Spitzenüberdrücke des einfallenden Luftstosses (p_e) in verschiedenen Entfernungen bei einer Sprengstoffladung mit einem TNT-Äquivalent von $W = 500$ kg eingezeichnet. Der Spitzenüberdruck dürfte auf dem Parkplatz, 15 - 20 m vom Explosionszentrum entfernt, 1- 2 bar betragen haben. Im Bild 13 erkennt man die in dieser Entfernung von der Druckwirkung zerstörten Fahrzeuge. Bei der etwas weniger als 30 m entfernten Fassade des eingeschossigen Vorbaus des Hotels trat noch ein Spitzenüberdruck von ca. 0,6 - 0,7 bar auf. An der sechsgeschossigen Front des Hauptgebäudes sowie bei der Gebäudeecke des östlich gelegenen Nachbargebäudes dürfte der Spitzenüberdruck von etwas mehr als 0,2 bar betragen haben. Bei der 150 m entfernten Fassade dieses Gebäudes, welche im Bild 12 im Hintergrund zu erkennen ist, betrug der Spitzenüberdruck noch ungefähr 0,06 bar.

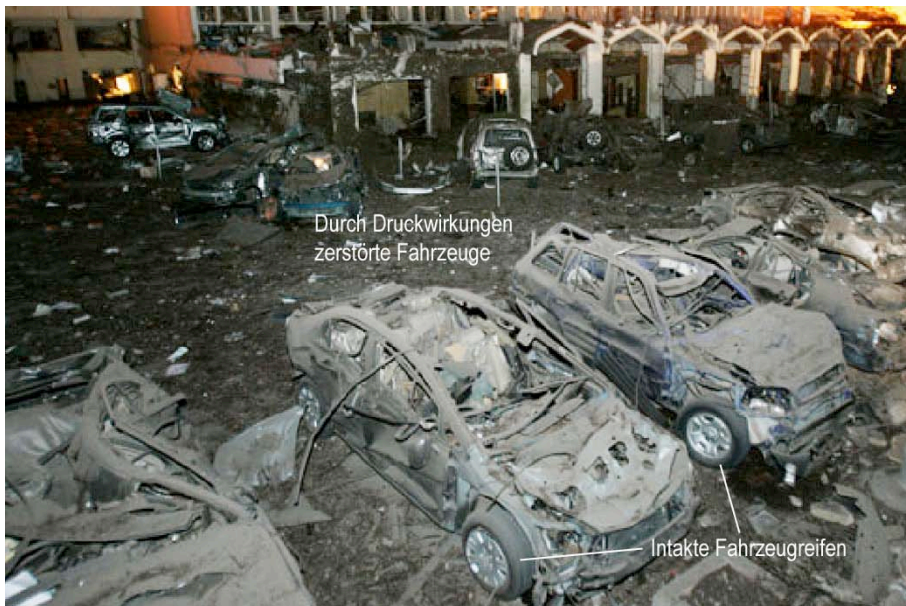


11: Spitzenüberdruck des einfallenden Luftstosses p_e bei der Explosion einer Ladung mit einem TNT-Äquivalent von 500 kg beim ECP [Grafik *bbs*]

Die Wirkung eines Luftstosses ist neben der Höhe des einfallenden Spitzenüberdrucks auch von dessen Reflexion an Flächen abhängig. Durch die Reflexion wird der einfallende Luftstoss erhöht. Der Reflexionsfaktor ist am grössten, wenn die Reflexion an einer ebenen senkrechten Fläche stattfindet [2]. Aufgrund der Lage des Gebäudes dürfte es beim Marriott Hotel bei einem grossen Teil der Fassade zu mehr oder weniger senkrechten Reflexionen gekommen sein. Die effektiven Gebäudebelastungen waren somit wesentlich höher.



12: Kraterrand mit Bruchstücken des Belags und ausgeworfenem Bodenmaterial. Im Hintergrund erkennt man die 150 m entfernte Fassade des Nachbargebäudes



13: Parkplatz vor dem Hotel mit von der Druckwirkung der Explosion zerstörten Fahrzeugen. Partielle Tragwerkschäden am Hotelvorbau im Hintergrund



14: Typische durch die Druckwirkung an Fahrzeugen entstandene Schäden (eingedrückte Karosserie, zerbrochen Scheiben)

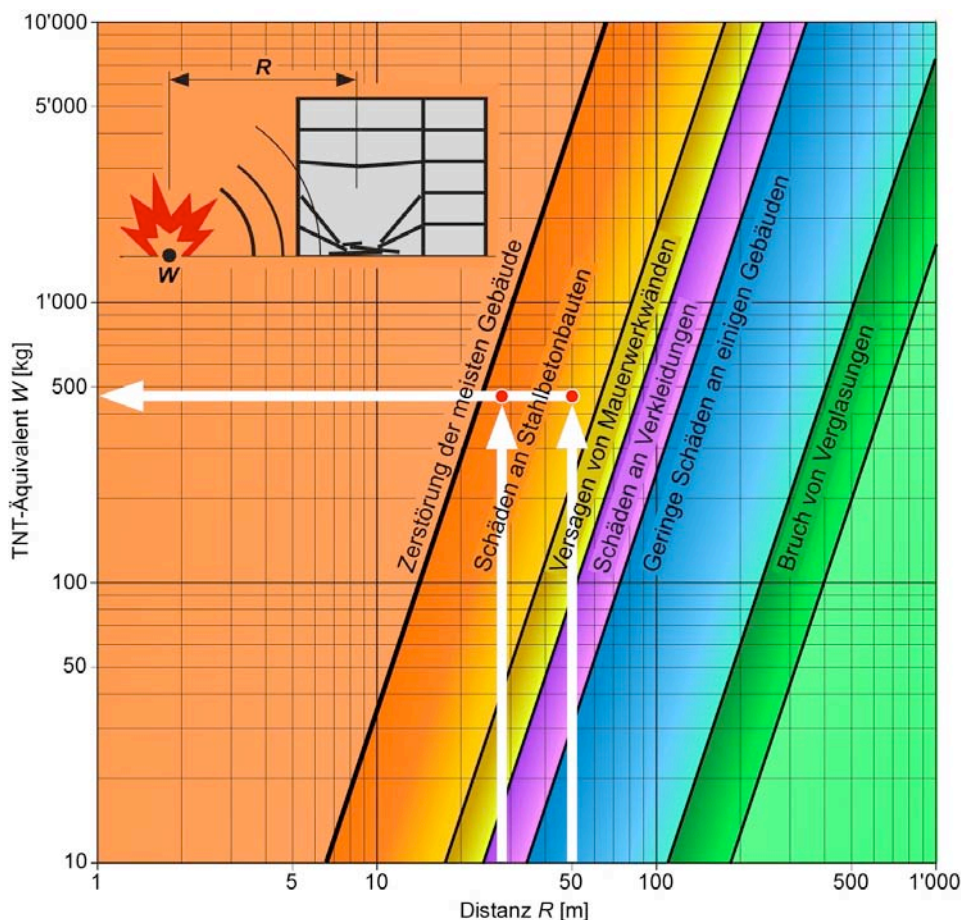
4.3 Gebäudeschäden

Mit Hilfe des Diagramms, Bild 15, lassen sich die Gebäudeschäden, welche durch die Druckwelle einer Explosion hervorgerufen werden, abschätzen. Da die Auswirkungen nicht nur vom einfallenden Spitzenüberdruck, sondern auch von den bei unterschiedlichen Bauten stark variierenden Tragfähigkeiten abhängig sind, zeigt das Diagramm Schadenbereiche mit einer grossen Streubreite.

Als grobe Anhaltspunkte für die Auswirkungen einer Druckwelle auf Bauten gelten die folgenden Werte, wobei mit p_e der Spitzenüberdruck des einfallenden Luftstosses bezeichnet ist:

- $p_e \geq 1,0$ bar Zerstörung der meisten Gebäude, auch Stahlbetonbauten
- $p_e \approx 0,2$ bar Zerstörung von Mauerwerkswänden
- $p_e \approx 0,02$ bar Bruch von Verglasungen

Beim Marriott Hotel handelt es sich um Gebäude mit einem Stahlbetontragwerk. Partielle Schäden an den Bauteilen des Stahlbetontragwerks sind zu erkennen (Bild 16), ebenso wurden Verkleidungen weggerissen (Bild 17). Die Verglasungen sind beim ganzen Gebäude geborsten. Zu einer vollständigen Zerstörung oder ein Einsturz von Gebäudeteilen kam es jedoch auch beim eingeschossigen Vorbau und dem Hoteleingang nicht. Aufgrund der Distanz von weniger als 30 m zum Explosionsort kann daraus geschlossen werden, dass die Sprengstoffladung des Lastwagens deutlich kleiner als 1'000 kg war. Die Analyse der Bauwerkschäden im Zusammenhang mit den Entfernungen zum ECP ergibt, dass es sich bei der VBIED um eine Sprengladung mit einem TNT-Äquivalent von etwa $W \approx 500$ kg gehandelt haben muss.



15: Gebäudeschäden in Abhängigkeit des TNT-Äquivalents W und der Distanz R zum Explosionsort nach [2]

Bei einem TNT-Äquivalent von $W = 500$ kg und für die Entfernungen $R = 28$ m (Distanz vom Explosionszentrum zur Fassade des Vorbaus) und $R = 50$ m (Distanz vom Explosionszentrum zur Fassade des Hauptbaus) resultieren mehr oder weniger starke Schäden an Stahlbetonbauten, jedoch keine Zerstörung des Tragwerks. Mauerwerkswände, Verkleidungen sowie Verglasungen werden auch noch in grösseren Entfernungen zerstört.

Im Bild 12 erkennt man im Hintergrund, dass bei der 60 m (0,2 bar, Bild 11) entfernten Ecke des Nachbargebäudes das Tragwerk vollständig intakt ist. An der 150 m (0,06 bar, Bild 11) entfernten Fassade sind sämtliche Verglasungen gebersten.

4.4 Brandwirkungen und Gebäudebrand

Das gesamte Gebäude des Marriott Hotels geriet nach der Explosion in Brand und brannte in der Folge vollständig aus (Bild 16). Aufgrund der Bilder brannte zu Beginn der östliche näher bei der Explosion gelegene Hotelflügel. Der Grossbrand des westlichen Gebäudeteils, rechts des Eingangs, folgte später. Die erwähnten Brandschutzeinrichtungen (Sprinkler) vermochten den Grossbrand nicht zu verhindern:

© ... *the massive fire engulfed the hotel overwhelmed the hotel's sprinkler system.* [McClatchy-Tribune Information Services]

Aufgrund verschiedener Pressemeldungen scheint der Grossbrand als Folge der Zerstörung von Gasleitungen ausgebrochen zu sein:

© *Wahrscheinlich **explodierten als Folge davon Gasleitungen**; der grosse weisse Gebäudekomplex stand bald in Flammen ...* [Tages-Anzeiger, 22. September 2008]

© ***Da durch die Explosion auch Gasleitungen beschädigt wurden**, stand das Gebäude innert weniger Minuten in Flammen.* [Neue Zürcher Zeitung, 22. September 2008]

© ***The massive explosion ruptured a gas pipeline and triggered a huge blaze that engulfed the site in flames.***

In wie weit, dass direkte Explosionswirkungen wie der Feuerball oder die Hitzstrahlung den Ausbruch und Verlauf des Gebäudebrandes beeinflusst haben, ist fraglich.

© *The huge truck-bomb set nearly the entire building on fire.*

Angesichts der vergleichsweise grossen Entfernung des Gebäudes vom Explosionszentrum sowie der Schadenbilder scheint dies jedoch unwahrscheinlich zu sein. Auf den Fotografien erkennt man keine Brandspuren an den Bauten oder Bauwerksteilen des Hoteleingangs und der Lobby (Bild 17). Im Weiteren sind auch die Fahrzeuge auf dem Parkplatz vor dem Hotel nicht durch Brandeinwirkungen zerstört worden. Die Reifen der Fahrzeuge sind noch intakt (Bild 13 und 14).

Die zitierten Aussagen, dass dem Sprengsatz brandfördernde oder brandbeschleunigende Zusätze beigemischt worden sind, lassen sich wie folgt beurteilen.

© *The bomb also included **aluminum powder that acted as a fire accelerant** - indicating that the massive fire that engulfed the hotel was planned.* [McClatchy-Tribune Information Services]

© *packed with explosives and with **aluminium powder**. Aluminium burns fiercely, **increasing the ferocity of the blaze.*** [euronews.net]

Generell ist dazu zu bemerken, dass die effektive Verteilung und Mischung von Zusätzen in einem Explosionsvorgang allgemein schwierig zu erreichen ist. Für die richtige Verteilung feiner Mineralöltröpfchen im Feuerball einer konventionellen Explosion, wie sie beispielsweise bei FAE-Waffen notwendig ist, ist ein grosser technischer Aufwand erforderlich. Eine zusätzlich zu einem konventionellen Sprengstoff mitgeführte brennbare Flüssigkeit, wie beispielsweise Benzin, wird unter Umständen nicht richtig verbrannt, da im Explosionszentrum der dazu notwendige Sauerstoff fehlt.

Zum Hinweis auf das Aluminiumpulver ist zu bemerken, dass dieser Zusatz wirksam ist, um das Energieäquivalent, d.h. die Sprengwirkung der Bombe zu erhöhen. Insbesondere bei der Verwendung von ANFO kann das TNT-Äquivalent durch Zugabe von Aluminiumpulver um bis zu 50% erhöht werden [2]. Ob Aluminiumpulver als wirksamer Brandbeschleuniger eingesetzt werden kann, ist fraglich.



16: Gebäudeschäden



17: Hoteleingang mit Trümmern. Bei den Stützen des Vordachs erkennt man abgerissene Fassadenplatten, das Tragwerk ist jedoch noch weitgehend intakt.

bürkel baumann schuler

Bürkel Baumann Schuler
Ingenieure+Planer AG
Gertrudstrasse 17
CH-8400 Winterthur

Fon +41 52 260 0710
Fax +41 52 260 0720
Mail admin@bbs-ing.ch
Web www.bbs-ing.ch