

2. Gutachtliche Stellungnahme zur aerodynamischen Einwirkung infolge Hubschrauberflugs am Klinikum Salzdahlumer Straße

Auftraggeber : Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH
Freisestraße 9-10
38118 Braunschweig

Projekt-Nr.: 08-622

Datum : Braunschweig, den 17.02.2009

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 15 Seiten einschließlich Deckblatt.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Veranlassung | 3 |
| 1.1 | Aufgabenstellung | 3 |
| 2 | Luftströmung infolge Rotorflug | 3 |
| 2.1 | Operationelle Annahmen | 3 |
| 2.2 | Luftumströmung des Hubschraubers | 4 |
| 2.3 | Flüge im und außerhalb des Bodeneffektes | 4 |
| 2.4 | Sidewash | 5 |
| 2.5 | Downwash | 5 |
| 3 | Aerodynamische Einwirkung | 7 |
| 3.1 | Aerodynamische Übertragung am Bauwerk | 9 |
| 3.2 | Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte | 7 |
| 3.3 | Zusammenfassung | 10 |
| 4 | Anhang | 12 |
| 4.1 | Quellennachweis | 12 |
| 4.2 | Lastansatz für den Lastfall Hubschrauberflug | 13 |
| 4.3 | Lastansatz für den Lastfall Hubschrauberflug in Kombination mit Wind | 15 |

1 Veranlassung

1.1 Aufgabenstellung

Die *Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH* plant eine Erweiterung ihres Standortes an der Salzdahlumer Straße in Braunschweig. Auf einem vierstöckigen Gebäude soll eine Plattform zur Landung eines Rettungshubschraubers errichtet werden. Die Plattform besitzt einen quadratischen Grundriss von 26 m x 26 m und liegt ca. 2,8 m über der Decke des 3. Geschosses auf Stützen mit einem Achsabstand von 7,3 m.

Die Ingenieursozietät Peil, Ummenhofer und Partner (IPU) wurde seitens der *Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH*, Braunschweig beauftragt, die aerodynamischen Einwirkungen auf das umgebende Bauwerk infolge Hubschrauberflugs abzuschätzen. Mit Datum vom 01.09.2008 wurde hierzu von IPU eine gutachtliche Stellungnahme vorgelegt, in der Lastansätze für Winddrücke infolge Hubschrauberflugs und infolge Hubschrauberflug und natürlichem Wind angegeben wurden.

Anlass für diese zweite gutachtliche Stellungnahme sind die Änderung des Hubschraubertyps und Fragen zur Lagesicherheit von Kiesschüttungen auf den umgebenden Dächern des Hubschrauberlandeplatzes.

Die flugtechnischen Daten wurden von Herrn Prof. Dr.-Ing. P. Vörsmann zur Verfügung gestellt.

2 Luftströmung infolge Rotorflug

2.1 Operationelle Annahmen

Es ist vorgesehen, am geplanten Hubschrauberflugplatz Flugbetrieb nach Sichtflugregeln bei Tag und Nacht mit Hubschraubern der Kategorie A, Flugleistungsstufe 1, durchzuführen. Die gewählten Abmessungen der Landefläche von 26 m x 26 m lassen Hubschrauber bis 13 m Gesamtlänge bei einem Rotordurchmesser von ca. 11 m und einer Abflugmasse von bis zu 5000 kg zu. Dies deckt u. a. das im Luftrettungsdienst derzeit verbreitet eingesetzte Hubschraubermuster Eurocopter EC 135 mit den folgenden Kenndaten ab:

- Maximale Abflugmasse (MTOM = maximum takeoff mass): 2835 kg
- Rotordurchmesser 10,20 m

Im Nachgang zur ersten gutachtlichen Stellungnahme sollen nun neben dem Hubschraubermuster EC 135 auch Hubschrauber mit einem Abfluggewicht von bis zu 6000 kg in Betracht gezogen werden.

In diese Kategorie fällt zum Beispiel der Hubschraubertyp Bell 412, der auch für Rettungsflüge eingesetzt wird. Dieser Hubschrauber hat in bestimmten Versionen folgende Kenndaten:

- Maximale Abflugmasse (MTOM = maximum takeoff mass): 5800 kg
- Rotordurchmesser 14,02 m

Da Abflugmasse und Rotordurchmesser gegenläufige Effekte auf die rotorinduzierten Luftströmungen haben kann, werden als Grundlage für die weiteren Betrachtungen zwei ungünstigste generische Hubschraubermuster betrachtet: Typ 1 mit einer Maximalenabflugmasse von 5000 kg und einem Rotordurchmesser von 11 m, sowie Typ 2 mit einer Maximalenabflugmasse von 6000 kg und 14 m Rotordurchmesser.

2.2 Luftumströmung des Hubschraubers

Vom Hubschrauber geht ein Sidewash und Downwash aus. Dies sind seitwärts bzw. nach unten gerichtete Luftströmungen. Im Folgenden wird untersucht, wie groß die dabei verursachten Windgeschwindigkeiten werden können.

Die von einem Hubschrauber ausgehenden Strömungsfelder sind äußerst komplex und nur sehr schwer zu berechnen. So sind die am Boden oder auf den Oberflächen durch den Rotor induzierten Lasten u. a. von der Fluggeschwindigkeit und der Höhe des Hubschraubers über Grund abhängig.

Daher ist es grundsätzlich sinnvoll, Messungen mit dem Typ Hubschrauber durchzuführen, der am Klinikum Salzdahlumer Strasse eingesetzt werden soll. Im Folgenden wird auf einfache Modelle sowie Veröffentlichungen zurückgegriffen, wo u. a. diese Windgeschwindigkeiten in Messungen bestimmt wurden.

2.3 Flüge im und außerhalb des Bodeneffektes

Nähert sich ein Hubschrauber dem Boden nähert, so mehr stauen sich unter dem Hubschrauber die vom Hauptrotor induzierten Luftmassen. Es baut sich ein regelrechtes Luftpolster auf, welches die Luft verdichtet und verlangsamt. Man spricht vom Flug im Bodeneffekt. Der Hubschrauber kann mit weniger Leistung seine Höhe halten.

Das Gegenteil zum beschriebenen Szenario bildet der Flug außerhalb des Bodeneffektes. Hier kann der Downwash ungehindert abströmen, ohne einen Einfluss auf die Leistung des Hubschraubers zu haben. Der Hubschrauber benötigt eine erhöhte Leistung für die Einhaltung des Schwebefluges.

Nicht immer ist es dem Downwash in Bodennähe möglich, ungehindert abzufließen. So können beispielsweise Bäume oder Häuser das Abfließen der beschleunigten Luftmassen behindern, wie dies auch beim Überfliegen der Lichtschächte beim geplanten Hubschrauberlandeplatz am Klinikum Salzdahlumer Strasse der Fall sein könnte. Insbesondere ist darauf zu achten, dass keine starken Verwirbelungen auftreten, die zu einer Rezirkulation der Umströmung des Hubschraubers führen kann. Dies bewirkt, dass die Schubkraft des Rotors sinkt. Auch hierbei kann es zum Verlust des Bodeneffektes kommen.

Aus den genannten Gründen wird für die Berechnung der Windgeschwindigkeiten der Flug außerhalb des Bodeneffektes als der kritischere Fall für die Dimensionierung der Gebäude angenommen.

2.4 Sidewash

Zuerst werden Aussagen über die zur Seite gerichtete Luftbewegung, den sog. Sidewash gemacht. Es wird sich dabei auf Untersuchungen aus [Slijepcevic1998] bezogen.

Für einen Hubschrauber mit einer Abflugmasse zwischen 5000kg und 6000kg bei einem Rotordurchmesser von 14-15 Metern werden in der zitierten Veröffentlichung folgende Werte für die Windgeschwindigkeit des Sidewash genannt, siehe Tabelle 1. Die Daten des Rettungshubschraubers vom Typ Bell 412 fallen in die genannte Gewichtskategorie.

Tabelle 1: Windgeschwindigkeiten für Sidewash bei 15 m Höhe des Rotors über Grund

| | Fluggeschwindigkeit des Hubschraubers |
|-----------------|---------------------------------------|
| Hubschraubertyp | 1 km/h |
| Typ 1 $v_{x,y}$ | 22 m/s |
| Typ 2 $v_{x,y}$ | 32 m/s |

Bei einer Geschwindigkeit des Hubschraubers von nur 1 km/h wird bei 15 m Höhe des Rotors über Grund eine Strömungsgeschwindigkeit von 22 m/s bzw. 32 m/s durch den schweren Hubschrauber erzeugt. Bei höheren Fluggeschwindigkeiten nehmen die erzeugten Windgeschwindigkeiten ab. Bei der Landung ist jedoch mit einer Anfluggeschwindigkeit von ca. 1 m/s kurz vor dem Aufsetzen zu rechnen.

Bei kleineren Rotordurchmessern von 12-13 Metern steigt die Geschwindigkeit für den Sidewash weiter an. Nach [Slijepcevic1998] kann sie in der genannten Gewichtskategorie des Hubschraubers bis zu 35 m/s betragen.

2.5 Downwash

Der Downwash tritt in allen Flugphasen auf. Die größte Gefahr für ein Gebäude tritt im Schwebeflug auf. Dabei kann ab einer Höhe, die ca. dem 1,5-fachen des Rotordurchmessers entspricht, davon ausgegangen werden, dass ein Schwebeflug ohne Bodeneffekt vorliegt. Bei einem Rotordurchmesser von 10,2 m der EC 135 wäre das in ca. 15 m Flughöhe der Fall. Im Schwebeflug außerhalb des Bodeneffektes ist der volle Auftrieb für den Hubschrauber aus der senkrechten Durchströmung durch den Kreis, der durch die Rotorblätter beschrieben wird, zu erzeugen.

Für die durch den Downwash induzierten Strömungsgeschwindigkeiten gibt es eine einfache Näherungsformel, siehe z. B. [Teske1995].

Aus der sogenannten Scheibentheorie (actuator disk theory) ergibt sich die vom Hubschrauberrotor induzierte Downwash-Geschwindigkeit in der Ebene des Rotors. Sie hängt ab von der Masse des Hubschraubers, dem Rotordurchmesser, der Luftdichte und der Gravitationskonstante.

$$v_{down} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{G \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot \rho}} \quad (1)$$

Hierin sind

v_{down} ... die vom Downwash induzierte Windgeschwindigkeit in vertikaler Richtung

G ... die Gesamtmassse des Hubschraubers

R ... der Durchmesser des Rotors

ρ ... die Luftdichte

g ... die Erdbeschleunigung

Die Gleichung (1) gibt die Windgeschwindigkeit in der Rotorebene an. Die Propellertheorie sagt aus, dass sich die vom Propeller beschleunigte Luftströmung stromabwärts verdoppelt. Für die Geschwindigkeit am Boden ist deshalb das Doppelte der vom Downwash induzierten Geschwindigkeit anzusetzen.

Da der Landeplatz auch für Hubschrauber bis 5000 kg und mit Rotordurchmessern bis ca. 11 Meter (Typ 1) zugelassen werden soll, ergibt sich aus der oben genannten Formel eine am Boden induzierte Strömungsgeschwindigkeit von

$$v_{z,max} = 2 \cdot \frac{1}{11} \cdot \sqrt{\frac{5000 \cdot 9,81}{2 \cdot \pi \cdot 1,25}} = 14,4 \text{ m/s} \quad (2)$$

Für schwere Hubschrauber bis 6000 kg und mit Rotordurchmessern bis ca. 14 Meter (Typ 2), ergibt sich aus der oben genannten Formel eine am Boden induzierte Strömungsgeschwindigkeit von:

$$v_{z,max} = 2 \cdot \frac{1}{14} \cdot \sqrt{\frac{6000 \cdot 9,81}{2 \cdot \pi \cdot 1,25}} = 12,4 \text{ m/s} \quad (3)$$

Bei kleinerem Rotordurchmesser ergeben sich entsprechend größere Geschwindigkeiten.

3 Aerodynamische Einwirkung

3.1 Referenzfläche für Lasteinwirkung infolge Hubschrauberflug

In Bild 1 ist der Lastansatz infolge Hubschrauberflugs dargestellt. Für die Auswertung der Lastansätze ist davon auszugehen, dass die einzelnen Lasten nicht alle gleichzeitig wirken.

Die Lastwirkung infolge Downwash ist der Scheibentheorie folgend, theoretisch auf eine Fläche begrenzt, die der Hälfte der Rotorfläche entspricht, siehe Abbildung 1.

Für den Hubschraubertyp 1 ergibt sich damit einer Downwash-Geschwindigkeit auf einer kreisförmigen Fläche mit einem Durchmesser von ca. 8 m und für den Hubschraubertyp 2 auf einer Fläche mit einem Durchmesser von ca. 10 m.

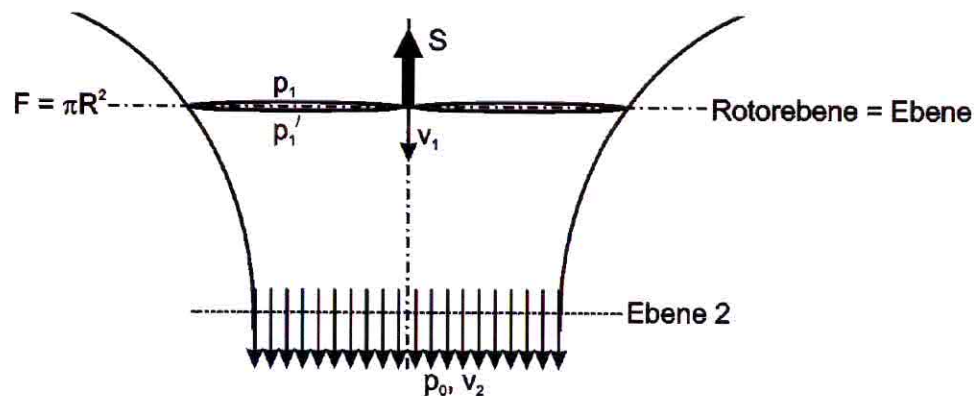


Abbildung 1: Geschwindigkeitsverteilung unter dem Rotor [Bittner2005]

Der durch den Downwash induzierte Sidewash wirkt theoretisch nur auf einem Kreisring um die Downwashfläche. Sofern sich der Sidewash in alle Richtungen gleichmäßig ausbreiten kann, kann man vereinfacht davon ausgehen, dass sich die Windgeschwindigkeit entsprechend der Kontinuitätsbedingung mindestens linear zum Rotorabstand verringert.

Dementsprechend sind in einem Abstand von ca. 8 m bis 10 m von der Rotorachse nur noch ca. 50% der in Tabelle 1 angegebenen Windgeschwindigkeiten zu erwarten. Die Windlasten haben sich dabei auf ¼ reduziert und dürfen als nicht mehr maßgebend angesehen werden.

3.2 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte

Über die Streuungen der Windgeschwindigkeiten infolge Sidewash und Downwash liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor. Die angegebenen Lasten werden deshalb als charakteristische Lasten im Sinne der DIN 1055-100 angesehen und sind für den Nachweis mit einem Teilsicherheitsbeiwert zu beaufschlagen. Aus Gutachtersicht wird ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_F=1,5$ für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit empfohlen.

Die Einwirkungen infolge Hubschrauberflugs sind grundsätzlich mit den anderen Einwirkungen zu überlagern. Flugbewegungen mit dem vorgesehenen Helikopter Muster EC 135 sind nach Auskunft der ADAC Luftrettung Wolfenbüttel bis zu einer Spitzenwindgeschwindigkeit von 55 Knoten = 28 m/s möglich. Damit ist eine gleichzeitige Einwirkung des natürlichen Windes nach DIN 1055-4:2005-03 [DIN1055-4] mit der Einwirkung infolge Hubschrauber grundsätzlich nicht ausgeschlossen.

Die Spitzenwindgeschwindigkeit in Plattformhöhe bis zu der Flugbewegungen möglich sind lässt sich mit den Regelungen der DIN 1055-4:2005-03 in einen 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe umrechnen und ergibt sich zu

$$v_m = \frac{28 \text{ m/s}}{1,31 \cdot (20 \text{ m}/10 \text{ m})^{0,185}} = 18,8 \text{ m/s} \quad (4)$$

Inwiefern die natürliche Windströmung durch Sidewash und Downwash beeinflusst wird und wie sich die Strömungskomponenten überlagern ist nicht bekannt. Es wird deshalb von der vereinfachten Annahme ausgegangen, dass sich die Strömungskomponenten aus natürlichem Wind und Hubschrauberflug vektoriell addieren

Wird vereinfachend von einer Flugbewegung pro Tag ausgegangen und die im Europäischen Windatlas [Troen1990] für Braunschweig angegebene Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Windgeschwindigkeit zugrunde gelegt, ergibt sich auf Basis einer Monte-Carlo-Simulation für einen Zeitraum von 50 Jahren ein Kombinationsbeiwert für die gleichzeitige Wirkung der Winddrücke aus natürlichem Wind und Hubschrauberflug von $\psi \approx 0,9$. Die Nutzung eines solchen Kombinationsbeiwertes setzt voraus, dass z.B. die Einwirkungen statistisch unabhängig sind. Diese Voraussetzungen bei Starkwind nicht gegeben sind – man könnte vermuten, dass bei Starkwindereignissen die Zahl der Unfälle steigt. Es wird deshalb, auf sicherer Seite liegend, der Kombinationsbeiwert mit $\psi = 1,0$ angenommen.

Wegen des quadratischen Zusammenhangs sind grundsätzlich Windgeschwindigkeiten aus Wind und Hubschrauberflug und nicht Winddrücke zu addieren. In Abbildung 5 sind deshalb die Lastansätze infolge Hubschrauberflugs und gleichzeitiger Windströmung mit $v_{ref} = 18,8 \text{ m/s}$ dargestellt. Für die Auswertung der Lastansätze ist davon auszugehen, dass die einzelnen Lasten nicht alle gleichzeitig wirken, sondern entsprechend der in Abschnitt 3.1 angegebenen Zusammenhänge räumlich begrenzt sind.

3.3 Natürliche Windeinwirkung am Standort

Die natürliche Windeinwirkung am Standort des Klinikums in der Salzdahlumer Straße wird auf Basis der DIN 1055-4:2005-03 sowie der standortspezifischen Orographie auf Basis einer in Augenscheinnahme und Luftaufnahmen beurteilt.

Bezüglich der Windgeschwindigkeit mit einer jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit von $p_A = 0,02$ – dem sog. 50-Jahres-Wind – ist Braunschweig in die Windzone 2 mit einer Refe-

renzwindgeschwindigkeit von $v_{\text{ref}}=25$ m/s und einem Referenzgeschwindigkeitsdruck von $q_{\text{ref}}=0,38$ kN/m² einzuordnen.

Der Bauwerksstandort befindet sich in einer stark wechselnden Orographie. Für süd-westliche, süd-östliche und östliche Winde ist die Bebauungsstruktur regelmäßig und kann einer Geländekategorie II-III zugeordnet werden. Für die anderen Anströmrichtungen liegt keine homogene Bebauungsstruktur vor. Hier wechselt die Rauigkeit zwischen weiträumigen Grünflächen und großen Industriegebäuden. Es wird hier im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme deshalb vereinfachend vom „Regelprofil Binnenland“ gemäß DIN 1055-4 ausgegangen.

3.4 Aerodynamische Übertragung am Bauwerk

Durch die in Abschnitt 2 beschriebenen Annahmen liegen Abschätzungen für die zu erwartenden oberflächennahen Spitzenwerte der Luftgeschwindigkeiten vor. Wie diese Strömungsgeschwindigkeiten in Drücke auf die Oberflächen des Bauwerkes umgesetzt werden, wird als aerodynamische Übertragung bezeichnet und in aller Regel durch aerodynamische Druckbeiwerte beschrieben. Diese aerodynamischen Druckbeiwerte werden in Naturmessungen oder in Windkanalversuchen an maßstabsgetreuen Modellen des Baukörpers ermittelt.

Solche Druckbeiwerte liegen für das geplante Bauwerk nicht vor. Im einschlägigen Fachschrifttum und den eingeführten technischen Baubestimmungen sind solche Druckbeiwerte für wenige Bauwerke mit einfachen Geometrien angegeben. Diese Druckbeiwerte entstammen stets Versuchen, bei denen der gesamte Baukörper einer gerichteten Luftströmung ausgesetzt ist die diesen vollständig umhüllt. Diese Druckbeiwerte werden dabei maßgeblich durch die Art der Umströmung und die Strömungseigenschaften wie Turbulenzintensität, Integrale Längenmaße u. a. beeinflusst. Die Luftströmungen infolge Hubschrauberflugs sind stets lokal begrenzt, wodurch ein grundsätzlich anderer Strömungszustand erwartet werden kann. Genaue Druckbeiwerte lassen sich deshalb nur im Experiment im Windkanal, vgl. z.B. [Cochran1999], oder in Naturmessungen bestimmen.

Die in dieser Stellungnahme angegebenen Lastansätze basieren auf der Auswertung unterschiedlichen Fachschrifttums und der Erfahrung der Unterzeichner. Die Lastansätze werden nur für die Bauteile angegeben, die sich innerhalb des Anflugsektors befinden. Einwirkungen außerhalb dieses Sektors sind aus gutachtlicher Sicht durch die Lastansätze aus natürlichem Wind abgedeckt.

Die Wirkung der im Randbereich des Daches der Ebene E3 befindliche Attika ist mutmaßlich durch die Landeplattform reduziert, da der Sog produzierende Wirbel in seiner Lage nicht angehoben werden kann. Hier werden deshalb vergleichsweise hohe Soglasten in einem örtlich begrenzten Bereich angesetzt. Aus Gleichgewichtsgründen gilt dies auch für die Unterseite der Landeplattform. Auf der Oberseite der Plattform ist hingegen nicht mit erhöhter Belastung im Randbereich zu rechnen.

In den Licht- und Lüftungsschächten ist vereinfachend von Winddrücken auszugehen, die dem Oberflächendruck in der unmittelbaren Umgebung um den Lichtschacht entsprechen.

3.5 Lagesicherheit der Kiesschüttung

Unterhalb des Hubschrauberlandeplatzes ist zum Schutz der Dachabdichtung eine Schicht aus gewaschenem Kies aufgebracht. Diese Kiesschüttung kann bei der Einwirkung horizontaler Windgeschwindigkeiten verweht werden.

Untersuchungen zur Lagesicherheit von Kiesschüttungen wurden unter anderem von KIND [Kind1977] und GERHARDT [Gerhardt1982] durchgeführt. Die Ergebnisse beider Untersuchungen sind in Abbildung 2 zusammengefasst.

In Abbildung 2 ist U_{c1} die Windgeschwindigkeit, ab derer zum ersten Mal eine meist nur kurzfristige Kiesbewegung beobachtet wird. Bei Erreichen der Windgeschwindigkeit U_{c2} ist eine Kiesbewegung solange zu beobachten, wie die Windströmung andauert.

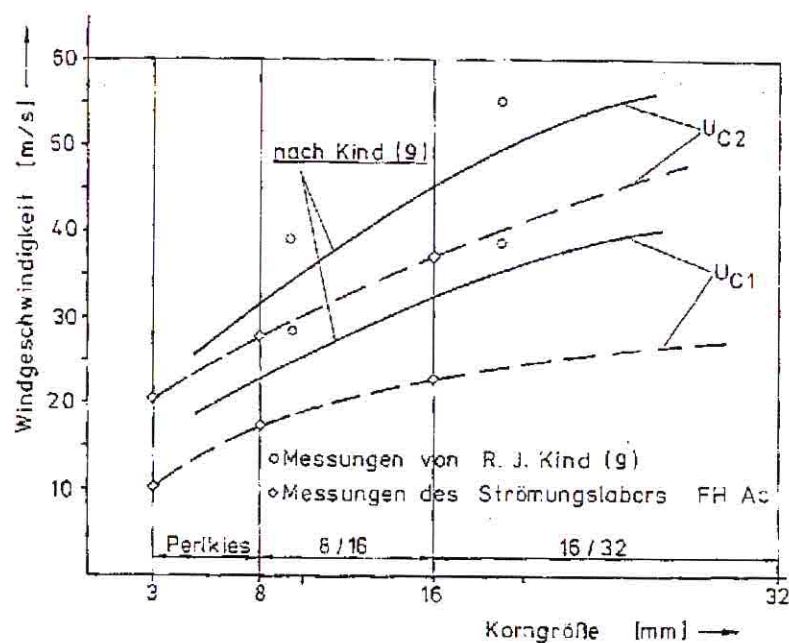


Abbildung 2: Kritische Windgeschwindigkeit für Kiesbewegung auf Flachdächern [Gerhardt1982]

Demnach kann man für Kies einer Körnung 8/16 eine kritische Windgeschwindigkeit für die Kiesbewegung von $U_{krit} \approx 35$ m/s und für Kies einer Körnung 16/32 eine kritische Windgeschwindigkeit für die Kiesbewegung von $U_{krit} \approx 45$ m/s entnehmen.

Bezugswindgeschwindigkeit zur Beurteilung ob Kiesverwehungen auftreten ist dabei die horizontale Windgeschwindigkeit auf der Oberfläche des Daches, die im Rand und Eckbereich 50% bis 100% größer sein kann als die ungestörte Anströmgeschwindigkeit in Dachkantenhöhe [Gerhardt1982].

Auf Basis der vorliegenden Daten ist zu erwarten, dass eine Kiesschüttung der Körnung 8/16 unter der Hubschrauberlandeplattform nicht lagesicher ist und es durch den Hubschrauberflug mit großer Wahrscheinlichkeit zu Kiesverwehungen kommen kann. Auch für eine Kiesschüttung der Körnung 16/32 lassen sich Kiesverwehungen insbesondere bei einer gemeinsamen Einwirkung mit natürlichem Wind nicht ausschließen.

Es wird aus gutachtlicher Sicht deshalb empfohlen, die Kiesschüttung in einem Randbereich entsprechend der Zonen F und G nach DIN 1055-4 Bild 5 z. B. durch Betonplatten gegen Verwehen zu sichern.

3.6 Zusammenfassung

Für den geplanten Neubau einer Hubschraubelandeplattform für das Klinikum Salzdahlumer Straße in Braunschweig wurden die aerodynamischen Einwirkungen auf das Bauwerk infolge Hubschrauberflugs ermittelt.

Als maßgebender Zustand wurde der Schwebeflug außerhalb des Bodeneffektes angenommen, da hier die größte Triebwerksleistung zur Verfügung gestellt werden muss und somit die größten bodennahen Windgeschwindigkeiten zu erwarten sind.

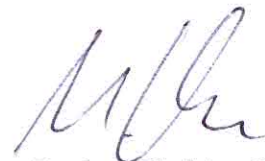
Die ermittelten Geschwindigkeiten für den Downwash sowie die Werte aus der Literatur für den Sidewash stellen Abschätzungen dar. Die Erfahrungen zeigen, dass durchaus mit höheren Geschwindigkeiten gerechnet werden kann.

Auf Basis des Fachschrifttums wurden die aerodynamischen Belastungen der Bauteile infolge Hubschrauberflugs und die kritischen Windgeschwindigkeiten für Kiesverwehungen ermittelt.

Gegenüber der ersten gutachtlichen Stellungnahme haben sich die Lastbilder nicht verändert, weil der dominierende Sidewash für den Hubschraubertyp 1 maßgebend ist.



Prof. Dr.-Ing. Udo Peil



Dr.-Ing. Mathias Clobes

4 Anhang

4.1 Quellennachweis

- [Cochran1999] Cochran, L., Peterka, J. & Petersen, R.: Physical modelling of roof-top helicopter exhaust flow dispersion. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, (83) pp. 347-360, 1999
- [Slijepcevic1998] Slijepcevic, A. & Fogarty, L.: Reducing the influence of helicopter rotor wash on fire behavior. New Zealand Forest Research Institute, Fire Technology Transfer Note, Number 16, February 1998
- [Teske1995] Teske, M.E.; Kaufman, A.E.; George, C.W.; Grim, B.S.; Barry, J.W.: Field measurements of helicopter rotor wash in hover and forward flight. Presented at the American Helicopter Society Northeast Region 2nd International Aeromechanics Specialists' Conference, Bridgeport, CT, pp 1-79-1-86, 1995
- [DIN 1055-4] DIN 1055-4:2005-03: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten, Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 2005
- [Gerhardt1982] Gerhardt, H. J. & Kramer, C.: Untersuchungen zur Lagesicherung mittels Kies- und Plattenabdeckungen. In: Schriftenreihe Bau- und Wohnforschung des Bundesministers für Raumordnung. IRB-Verlag, 1982
- [Kind1977] Kind, R. J.: Tests to determine wind speeds for scouring and blow-off of roof top gravel, Proc. 4 th Conf. Wind Effects on Buildings and Structures, Cambridge University Press, 1977
- [Bittner2005] Bittner, W.: Flugmechanik der Hubschrauber. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005
- [Troen1990] Troen, I. & Petersen, E. L.: Europäischer Windatlas, Risø National Laboratory, Dänemark, 1990

4.2 Lastansatz für den Lastfall Hubschrauberflug

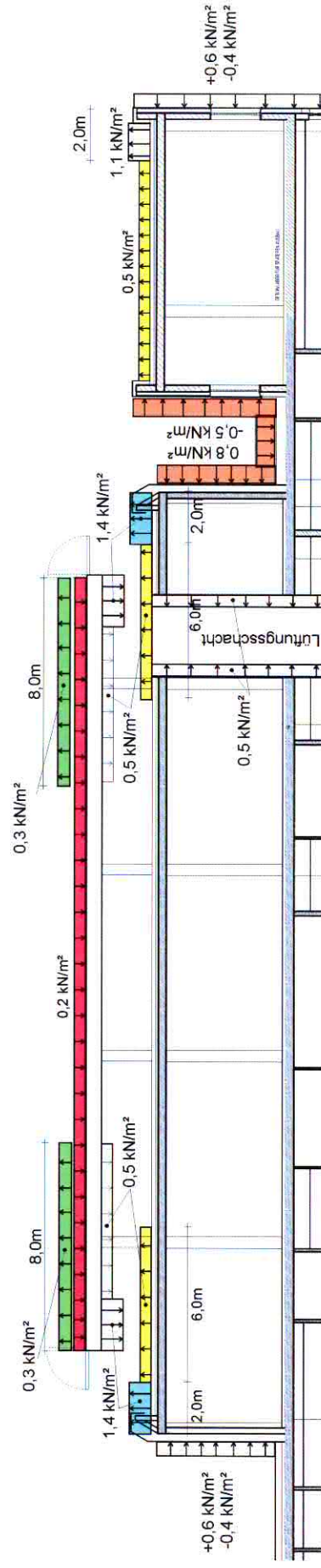
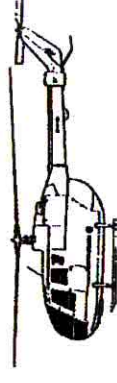
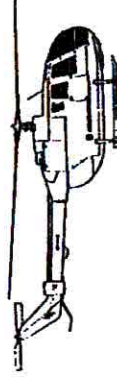


Abbildung 3: Lastansatz für aerodynamische Belastung infolge Hubschrauberflug (charakteristische Lasten)

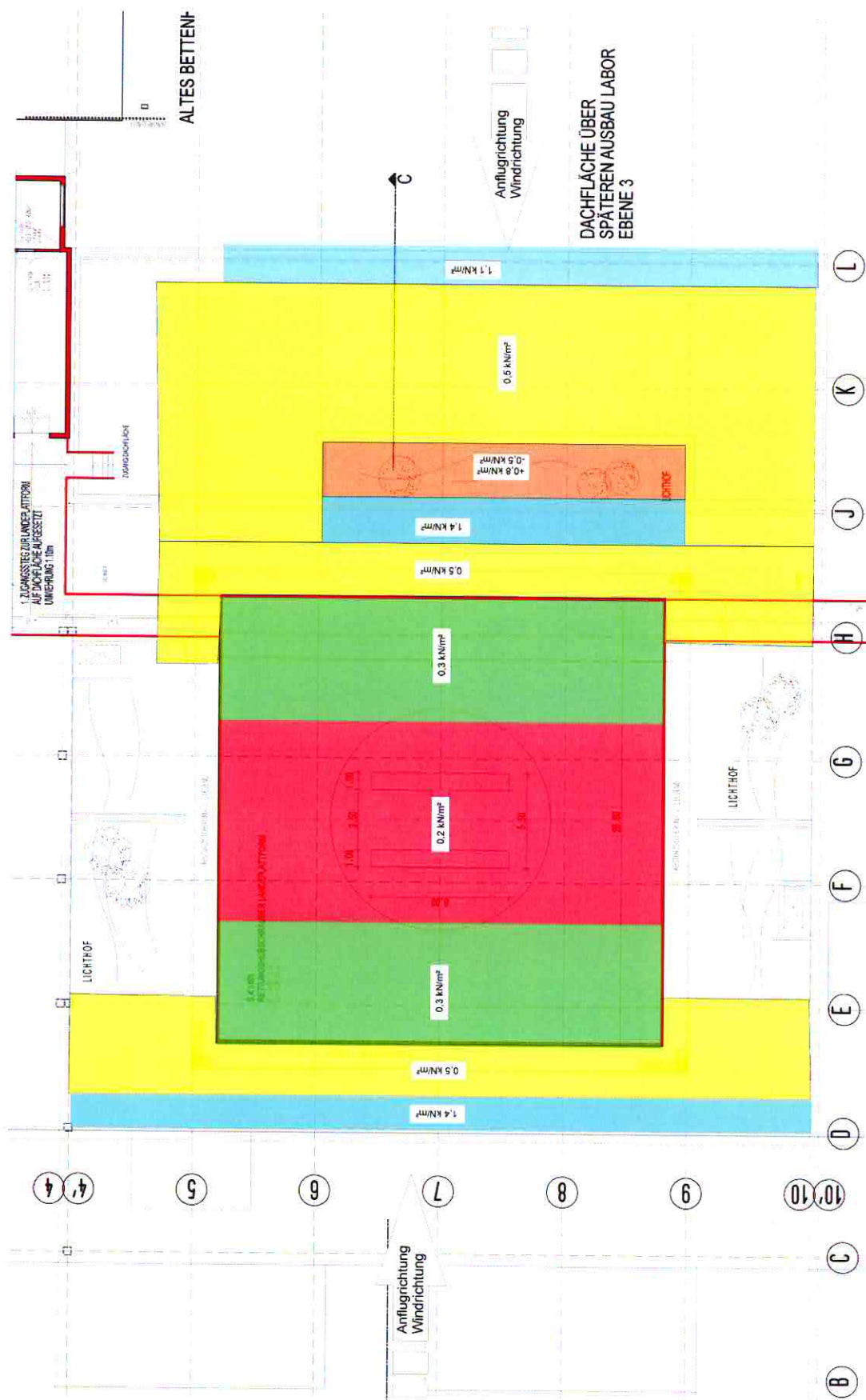


Abbildung 4: Lastansatz für aerodynamische Belastung infolge Hubschrauberflug (charakteristische Lasten)

4.3 Lastansatz für den Lastfall Hubschrauberflug in Kombination mit Wind

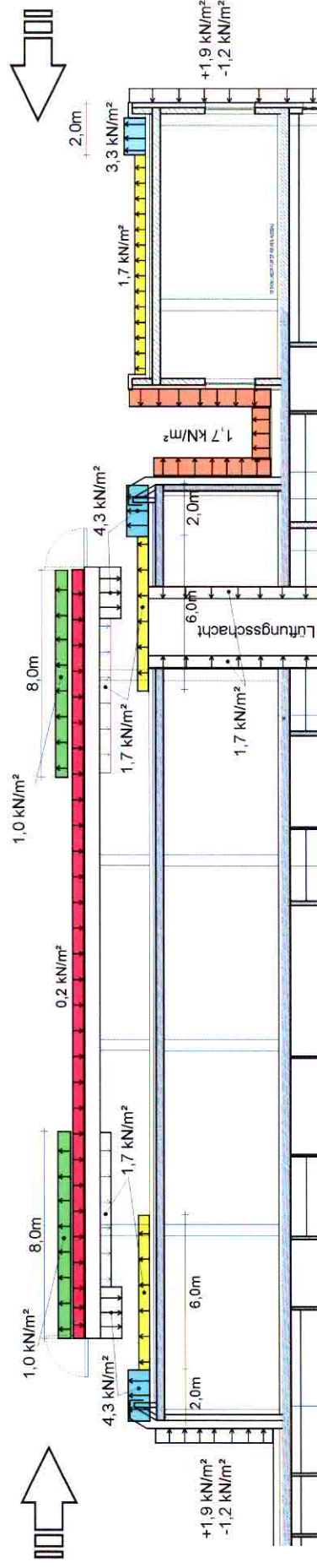
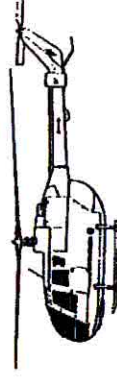
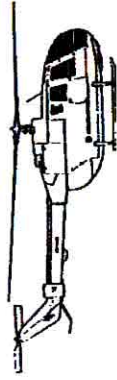


Abbildung 5: Lastansatz für aerodynamische Belastung infolge Hubschrauberflug und Wind (charakteristische Lasten)