

Bebauungsplanänderung Blutenburgstrasse - Pappenheimstrasse (München)

Bewertung des Eisschlagrisikos durch den Funkturm:

- **Prognose der Häufigkeit von Eisbildung**
- **Flugbahnstudie Eiszapfen inkl. Risikokarte**

Rev. 02: ersetzt Bericht vom 22.10.2019

Auftraggeber: STRABAG Real Estate GmbH
Bereich München
Leopoldstr. 250c
80807 München/Deutschland

Projektbearbeitung: 

Birkenfeld, 24. Juni 2021



INHALTSVERZEICHNIS

1. PROBLEMSTELLUNG.....	1
1.1. Beschreibung des Projekts	1
2. ALLGEMEINES.....	5
2.1. Vereisung von Bauteilen.....	5
2.2. Bildung von Eiszapfen	6
3. HÄUFIGKEIT VON EIS- UND SCHNEEABLAGERUNGSBEDINGUNGEN.....	7
3.1. Vorgehensweise	7
3.2. Ergebnisse	9
4. FLUGBAHNSTUDIE UND RISIKOKARTE.....	15
4.1. Allgemeines	15
4.2. Methodik	15
4.3. Eisfragmente	16
4.4. Windfelduntersuchung	18
4.5. Ergebnisse (ursprünglich geplante KiTa-Fläche)	20
4.6. Ergebnisse (neu geplante KiTa-Fläche).....	29
5. SCHLUSSFOLGERUNG / FAZIT	31
6. VERWENDETE UNTERLAGEN.....	33

1. PROBLEMSTELLUNG

1.1. Beschreibung des Projekts

Im Zusammenhang mit einer Bebauungsplanänderung des Eckgrundstückes Blütenburgstraße – Pappenheimstraße in der Münchner Maxvorstadt stellt sich die Frage hinsichtlich des Eisschlagrisikos durch den unmittelbar benachbarten Funkturm (Höhe ca. 102 m). Dies insbesondere vor dem Hintergrund, da im östlichen Teilbereich des Grundstückes eine Kindertagesstätte mit Außenspielfläche realisiert werden soll (Abb. 1.1 – Abb. 1.3).

Es soll geklärt werden, wie häufig generell mit Eisansatz zu rechnen ist und ob mit einer erhöhten Gefährdung durch herabfallende Eiszapfen oder -platten in den unmittelbar benachbarten Grundstücken zu rechnen ist.

Das Büro Wacker Ingenieure wurde in diesem Zusammenhang beauftragt folgende Untersuchungen durchzuführen:

- Prognose der Häufigkeit von Eisbildung für den Funkturm auf Basis langjähriger Klimadaten
- Durchführung einer Flugbahnstudie für Eiszapfen und Erstellung einer Risikokarte für Eisschlag

Die Ergebnisse der Studie wurden bereits im Bericht vom 22.10.2019 dokumentiert. Gemäß der aktuellen Planung soll nun die KiTa-Außenfläche in den südlichen Bereich der Außenanlagen versetzt werden. In dieser Berichtsergänzung wird das Eisschlagrisiko in diesem Bereich und in dem nördlich angrenzenden Bereich, der als mögliche Spielplatzfläche vorgesehen ist, nochmal näher untersucht und bewertet.



Abb. 1.1: Luftbilder des Funkturms (STRABAG, 2019)



Abb. 1.2: Lageplan und Ansicht des Funkturms (STRABAG, 2019)

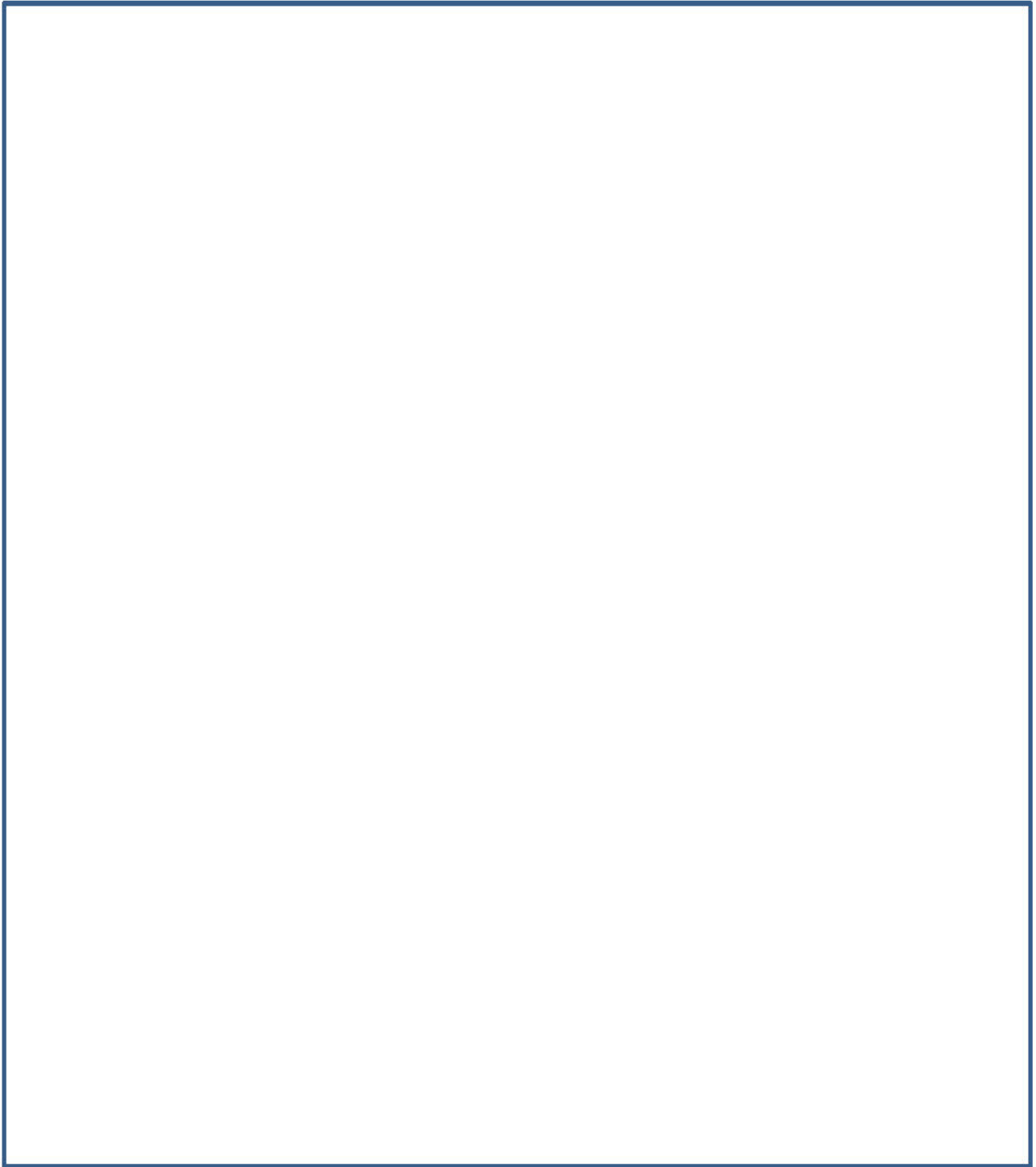


Abb. 1.3: Luftaufnahme des Projektstandortes in München (Google Earth, 2019)

2. ALLGEMEINES

2.1. Vereisung von Bauteilen

Bauteile können bei bestimmten meteorologischen Randbedingungen vereisen. Eine Eisbildung am Bauwerk kann zu einer möglichen Gefährdung von Personen führen, die sich in der Nähe des Gebäudes aufhalten, etwa durch die Bildung von Eiszapfen oder Eisklumpen, die unter dem Einfluss ihres Eigengewichts oder durch starke auftretende Winde zu Boden fallen.

Eine Vereisung kann dabei auf unterschiedliche Arten erfolgen, z.B. durch den Ansatz von Reif oder Raureif bedingt durch die Sublimation des in der Luft befindlichen Wasserdampfes, durch das Anfrieren von unterkühlten Nebeltröpfchen und vor allem bei gefrierendem Regen oder Sprühregen. Unter dem Einfluss von Wind kann sich ein einseitiges Eiswachstum einstellen. Die verschiedenen Eisablagerungsarten unterscheiden sich in ihrer Struktur und Dichte und in den meteorologischen Entstehungsbedingungen. In Tab. 2.1 ist eine Übersicht über die Eigenschaften der Eisablagerungsarten gegeben. Die größten Eisrohweiten besitzen dabei die Arten Klareis (gefrierende Nebeltröpfchen) und Glatteis (gefrierender Regen).

Tab. 2.1: Übersicht über Eigenschaften von Eisablagerungsarten (Quelle: DWD)

2.2. Bildung von Eiszapfen

Für das Wachstum eines Eiszapfens muss es mehrere Schmelz- und Gefriervorgänge geben. Kommt es am Bauteil teilweise zu Schmelzvorgängen, z.B. durch partielle Sonneneinstrahlung, wird das Schmelzwasser aufgrund von Gravitation und Adhäsionskräften am Bauteil entlang nach unten fließen. Trifft es dabei auf Oberflächen, deren Temperatur unter 0° liegt, kommt es zu Gefriervorgängen, die den Ausgangspunkt zur Bildung von Eiszapfen darstellen können. Durch weiteren Zufluss von Flüssigwasser kommt es dann zum schichtweisen Anfrieren des Wassers am Eiszapfen, der dadurch sowohl in die Länge als auch in die Breite wächst und dabei seine typische Kegelform annimmt. Die maximale Größe der Eiszapfen hängt im Wesentlichen von der Menge des vorhandenen potentiellen Schmelzwassers (Eis- und Schneeablagerungen) und der Dauer der für das Wachstum notwendigen meteorologischen Bedingungen ab.



Abb. 2.1: Eiszapfen an Dachkanten und Straßenlaternen

3. HÄUFIGKEIT VON EIS- UND SCHNEEABLAGERUNGSBEDINGUNGEN

3.1. Vorgehensweise

Während Eiswachstum am stärksten an den schlanken umströmbaren Strukturen des Turmes auftreten kann (z.B. an den Antennen und Masten) können sich auf den Plattformen Schneeanhäufungen bilden, die ebenfalls mit der Zeit vereisen können, bzw. durch Tauprozesse die Grundlage für Eiszapfenbildung sein können.

Wie in Kap. 2 erläutert, ist die Grundvoraussetzung zur Bildung von Eiszapfen das Vorhandensein von Eis- oder Schneeablagerungen in ausreichender Menge und Lufttemperaturen unter 0°. Zur Einschätzung der Gefahr von Eiszapfenbildung ist daher zu klären, wie oft im Jahr am Standort entsprechende meteorologische Randbedingungen auftreten. Dies ist möglich anhand von langjährigen Aufzeichnungen an Klimastationen, die neben Aufzeichnungen der wesentlichen meteorologischen Größen wie Temperatur, Taupunkt, Niederschlag und Wind auch Augenbeobachtungen des Witterungszustandes sowie Schneehöhenmessungen beinhalten.

Die nächstgelegenen Klimastationen mit entsprechenden Daten sind im vorliegenden Fall die DWD-Stationen München-Stadt (ca. 1,8 km nordwestlich) sowie München-Flughafen (ca. 30 km nordöstlich). Aufgrund ihrer Nähe zum Standort sind vergleichbare meteorologische Rahmenbedingungen zu erwarten. Aufgrund der Höhe des Funkturms (102 m) sind allerdings Temperatur und Windänderungen mit der Höhe zu berücksichtigen. Die Lufttemperaturmesswerte an der Station München-Stadt wurden daher für die Übertragung in die unterschiedlichen Höhenbereiche des Funkturms vereinfachend entsprechend des typischen adiabatischen Temperaturgradienten reduziert (bis zu 0,8°K in 102 m Höhe). Ebenso wurden die Windgeschwindigkeiten entsprechend der Grenzschichttheorie erhöht. Die Klimastation München-Flughafen wurde im Hinblick auf die Wetterbeobachtungsdaten ausgewertet.

Für die vorliegende Untersuchung wurden die Stationsaufzeichnungen der Jahre 1998-2018 ausgewertet. Hierzu wurden stündliche Aufzeichnungen von Lufttemperatur, Taupunkt, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie Tagesdaten mit Aufzeichnungen zu abgesetzten Niederschlägen und Schneehöhen ausgewertet.

Auf Basis der stündlichen Wetterdaten wurden die Zeitpunkte herausgefiltert, an denen Voraussetzungen zu Eisablagerungen bzw. für die Bildung von Eiszapfen gegeben sind. Als maßgebende Bedingungen wurden hierfür Zeitpunkte mit Lufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt bei gleichzeitiger Sättigung der Luft (Taupunktdifferenz < 0.5 K) bzw. bei gleichzeitigem

Niederschlag gewählt. Über einen Abgleich mit den Tageswerten wurden zudem Tage berücksichtigt, an denen Glatteis- oder Raueisablagerungen gemeldet wurden. In einer zusätzlichen Auswertung wurden zudem Tage mit einer geschlossenen Schneedecke berücksichtigt.

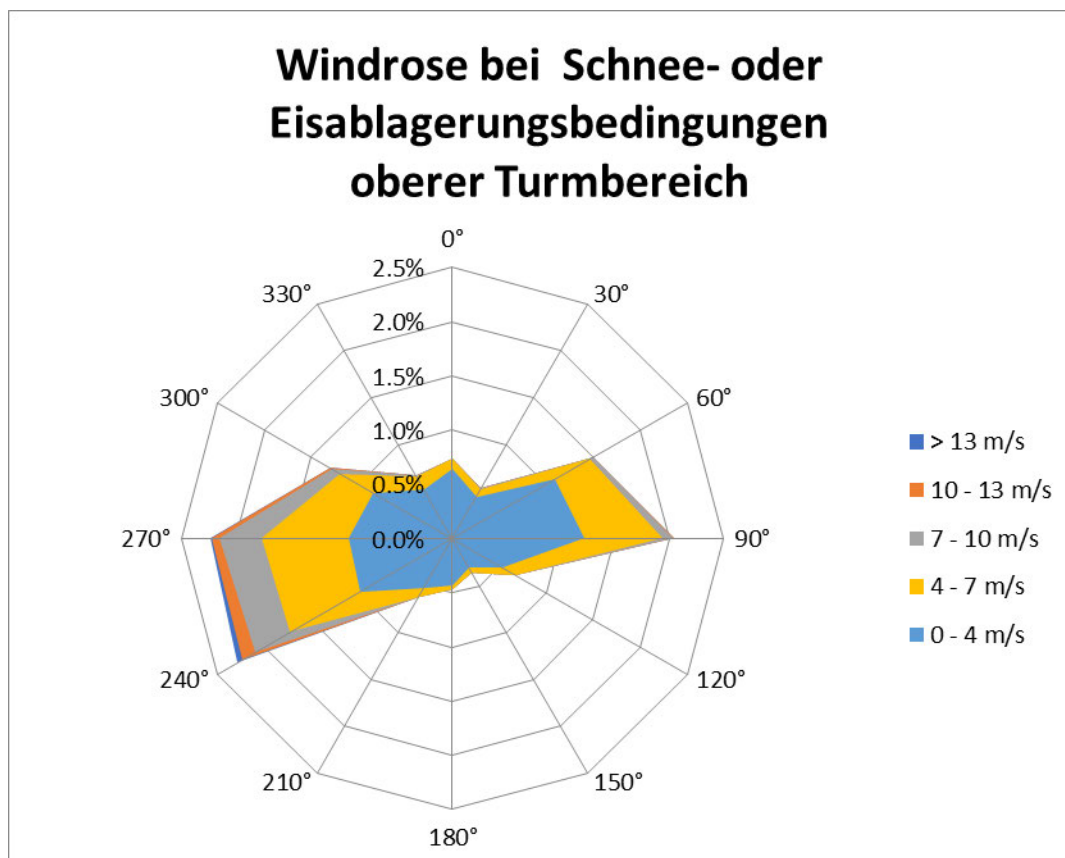


Abb. 3.1: Lage der DWD-Klimastationen München-Stadt und München-Flughafen

3.2. Ergebnisse

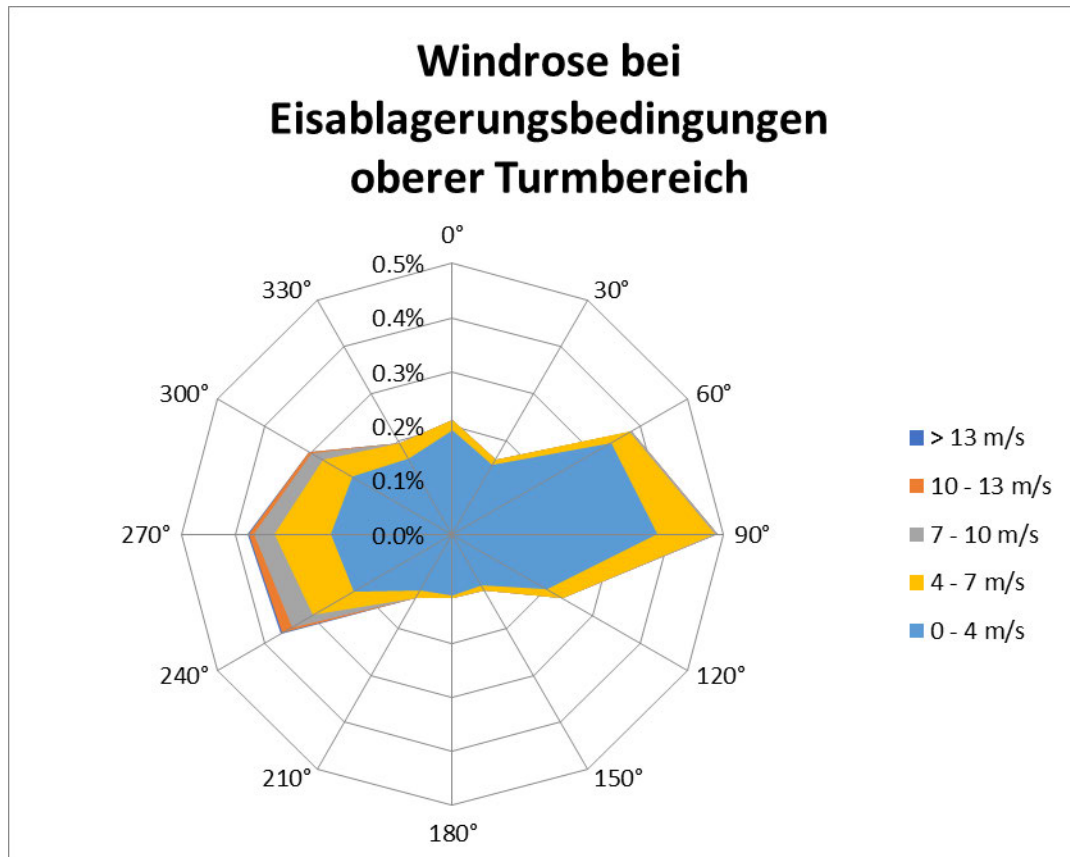
Das Herabstürzen von gebildeten Eiszapfen kann durch Tauprozesse, ein zu großes Eigengewicht oder durch Windeinwirkung verursacht werden. Zur Beurteilung wie oft starke Winde bei Schnee- und Eisablagerungen auftreten, wurden auch die gemessenen Windstärken an der Station in die Analyse mit einbezogen. In Abb. 3.1 ist eine entsprechende Statistik dargestellt, die die Auftretenshäufigkeit bestimmter Windstärken und Windrichtungen bei gleichzeitigen Schnee- oder Eisablagerungsbedingungen im oberen Bereich des Funkturms darstellen. Berücksichtigt man nur Tage mit Vereisungsbedingungen ergibt sich die in Abb. 3.2 dargestellte Statistik. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl bei westlichen als auch bei östlichen Windrichtungen Bedingungen für Eis- und Schneeablagerungen auftreten. Insgesamt ist im oberen Turmbereich durchschnittlich an etwa 13% der Jahresstunden mit Bedingungen zu rechnen, an denen Eis- oder Schneeablagerungen auftreten können, bzw. bereits Ablagerungen vorhanden sind. Reine Eisablagerungen treten an etwa 3% der Jahresstunden auf. An etwa 2% der Jahresstunden sind Eis- / oder Schneeablagerungsbedingungen im oberen Gebäudedrittel mit mäßigen bis starken Winden (ab Windstärke 4, entspricht ca. 6 m/s) korreliert, die ein Herabfallen von Eiszapfen auslösen könnten (entsprechend ca. 0,2% bei reinen Eisablagerungsbedingungen). Je nach Zustand und Exponiertheit des Eiszapfens können aber auch schon geringere Windgeschwindigkeiten ein Ablösen des Zapfens verursachen.

In Tab. 3.1 ist die Wahrscheinlichkeit von Eis- oder Schneeablagerungen bzw. nur Eisablagerungen am Standort des Funkturms in den einzelnen Monaten aufgeführt. In Tab. 3.2 ist dargestellt, an wie vielen Tagen im Monat bzw. im Jahr daraufhin mit Schnee- oder Eisablagerungen zu rechnen ist. Die ungünstigsten Monate sind Dezember bis Februar, an denen durchschnittlich an etwa 60% der Tage mit Schnee- oder Eisablagerungen bzw. an etwa 20% mit reinen Eisablagerungen zu rechnen ist. Über das Jahr gesehen treten durchschnittlich an etwa 74 Tagen Schnee- oder Eisablagerungen auf. Nur Eisablagerungen sind an etwa 26 Tagen im Jahr zu erwarten. An diesen Tagen ist also die Grundvoraussetzung für die Bildung von Eiszapfen gegeben. Damit es tatsächlich zu einer Eiszapfenbildung kommen kann, sind allerdings noch bestimmte Schmelz- und Gefrierprozesse nötig, die auch von den baulichen Randbedingungen abhängen, z.B. Bauteilerwärmungen oder partielle Sonnenbestrahlung. D.h. die tatsächliche Auftretungswahrscheinlichkeit von Eiszapfen am Funkturm ist geringer.



Wind- richtung	Überschreitungshäufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten bei Schnee- oder Eisablagerungsbedingungen bezogen auf die Gesamtjahresstunden - oberer Turmbereich											
	0 m/s	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	13 m/s
0°	0.74%	0.69%	0.43%	0.20%	0.09%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30°	0.53%	0.49%	0.32%	0.18%	0.09%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60°	1.50%	1.46%	1.16%	0.69%	0.41%	0.23%	0.10%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
90°	2.04%	2.02%	1.79%	1.24%	0.82%	0.49%	0.25%	0.10%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%
120°	0.67%	0.65%	0.54%	0.31%	0.14%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
150°	0.36%	0.34%	0.23%	0.12%	0.05%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
180°	0.47%	0.45%	0.31%	0.14%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
210°	0.62%	0.60%	0.47%	0.28%	0.10%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
240°	2.29%	2.26%	2.06%	1.68%	1.30%	1.01%	0.78%	0.56%	0.41%	0.29%	0.19%	0.05%
270°	2.23%	2.19%	1.95%	1.61%	1.28%	0.97%	0.72%	0.47%	0.28%	0.15%	0.08%	0.01%
300°	1.30%	1.25%	1.01%	0.71%	0.46%	0.28%	0.17%	0.10%	0.06%	0.03%	0.02%	0.00%
330°	0.67%	0.61%	0.42%	0.25%	0.15%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Gesamt:	13.4%	13.0%	10.7%	7.4%	4.9%	3.2%	2.1%	1.3%	0.8%	0.5%	0.3%	0.1%

Abb. 3.1: Überschreitungshäufigkeiten bestimmter Windgeschwindigkeiten im oberen Turmbereich bei gleichzeitigen Schnee- oder Eisablagerungsbedingungen. Die Werte sind bezogen auf die Gesamtjahresstunden (Quelle: WI, 2021)



Wind- richtung	Überschreitungshäufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten bei Schnee- und Eisablagerungsbedingungen bezogen auf die Gesamtjahresstunden - oberes Gebäudedrittel											
	0 m/s	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	13 m/s
0°	0.21%	0.18%	0.09%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30°	0.16%	0.14%	0.07%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60°	0.38%	0.36%	0.22%	0.09%	0.04%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90°	0.49%	0.48%	0.38%	0.21%	0.11%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
120°	0.23%	0.22%	0.17%	0.10%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
150°	0.12%	0.11%	0.07%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
180°	0.12%	0.11%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
210°	0.13%	0.13%	0.08%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
240°	0.37%	0.36%	0.30%	0.22%	0.16%	0.11%	0.10%	0.07%	0.05%	0.04%	0.03%	0.00%
270°	0.38%	0.36%	0.29%	0.21%	0.15%	0.10%	0.07%	0.05%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%
300°	0.31%	0.28%	0.21%	0.14%	0.09%	0.06%	0.04%	0.03%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%
330°	0.20%	0.16%	0.10%	0.06%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Gesamt:	3.1%	2.9%	2.0%	1.2%	0.7%	0.4%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%

Abb. 3.2: Überschreitungshäufigkeiten bestimmter Windgeschwindigkeiten im oberen Turmbereich bei gleichzeitigen Eisablagerungsbedingungen. Die Werte sind bezogen auf die Gesamtjahresstunden (Quelle: WI, 2021)

Wahrscheinlichkeit von Tagen mit Schnee- oder Eisablagerungen						
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
62%	59%	29%	8%	0%	0%	
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0%	0%	0%	3%	27%	55%	20%

Wahrscheinlichkeit von Tagen mit Eisablagerungen						
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
22%	16%	6%	4%	0%	0%	
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0%	0%	0%	1%	14%	22%	7%

Tab. 3.1: Wahrscheinlichkeit von Eis- oder Schneeablagerungen (oben) bzw. nur Eisablagerungen (unten) im oberen Bereich des Funkturms in den einzelnen Monaten (Quelle: WI, 2021)

Mittlere Anzahl von Tagen mit Schnee- oder Eisablagerungen						
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
19	16	9	2	0	0	
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0	0	0	1	8	17	74

Mittlere Anzahl von Tagen mit Eisablagerungen						
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
7	5	2	1	0	0	
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0	0	0	0	4	7	26

Tab. 3.2: Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit Eis- oder Schneeablagerungen (oben) bzw. nur Eisablagerungen (unten) im oberen Bereich des Funkturmes in den einzelnen Monaten (Quelle: WI, 2021)

Schnee- oder Eisablagerungen treten oft an aufeinander folgenden Tagen auf. Diese zusammenhängenden Zeiträume (1 oder mehrere Tage) werden im Folgenden als Phasen mit Schnee- oder Eisablagerungen bezeichnet. Aus den Aufzeichnungen wurden solche Phasen extrahiert und statistisch aufbereitet.

Die durchschnittliche Anzahl von Phasen mit Eis- oder Schneeablagerungen in den verschiedenen Monaten ist in Tab. 3.3 dokumentiert. Demnach ist in den Wintermonaten durchschnittlich mit 3-4 Phasen mit durchgängigen Eis- oder Schneeablagerungen zu rechnen. Über das Jahr gesehen treten durchschnittlich ca. 13-16 Phasen mit Eisablagerungen bzw. mit Schnee- und Eisablagerungen auf.

Durchschnittliche Anzahl von Phasen mit Schnee- oder Eisablagerungen						
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
2.6	2.2	2.8	1.2	0.0	0.1	
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0.0	0.1	0.0	0.5	2.3	4.0	16.0

Durchschnittliche Anzahl von Phasen mit Eis-Ablagerungen						
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
3.0	2.3	1.4	0.7	0.0	0.1	
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0.0	0.1	0.0	0.3	2.1	3.4	13.4

Tab. 3.3: Durchschnittliche Anzahl von Phasen mit Schnee- oder Eisablagerungen am Standort des Funkturms in den verschiedenen Monaten (Quelle: WI, 2021)

Die Wahrscheinlichkeit zur Bildung von größeren Eiszapfen steigt mit der Dauer der Phasen, an denen Schnee- oder Eisablagerungen vorliegen. In Tab. 3.4. ist dargelegt, wie oft Phasen mit durchgängigen Ablagerungen von Eis oder Schnee am Standort des Funkturms länger als 5 Tage angehalten haben. Hieraus wird ersichtlich, dass diese längeren Phasen mit Eis- oder Schneeablagerungen hauptsächlich in den Monaten Dezember bis Februar auftreten. Über das Jahr gesehen ist etwa 3-4-mal mit langen Phasen von Schnee- oder Eisablagerungen zu rechnen. Entsprechende Phasen mit reinen Eisablagerungen treten etwa alle 2 Jahre auf.

Durchschnittliche Anzahl von langen Phasen (> 5 Tagen) mit Schnee- oder Eisablagerungen						
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
0.9	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	3.2

Durchschnittliche Anzahl von langen Phasen (> 5 Tagen) mit Eis-Ablagerungen						
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4

Tab. 3.4: Durchschnittliche Anzahl von langen Phasen (mehr als 5 Tage) mit Schnee- oder Eisablagerungen (oben) bzw. nur Eisablagerungen (unten) am Standort des Funkturms (Quelle: WI, 2021)

Bei Glatteisregen (auch Blitzeis, bzw. gefrierender Regen genannt) können sich Eiszapfen bereits während des Niederschlagsereignisses bilden. Am Standort ist Glatteisregen durchschnittlich an etwa 5 Tagen im Jahr aufgetreten. Allerdings ist für die Bildung von großen Eiszapfen eine vergleichsweise hohe Niederschlagsintensität notwendig, die entsprechend seltener ist. Zudem

findet Glatteisregen typischerweise bei einem Übergang zu wärmerer Witterung statt, so dass das gebildete Eis üblicherweise relativ schnell wieder abtaut.

4. FLUGBAHNSTUDIE UND RISIKOKARTE

4.1. Allgemeines

Als Resultat aus Kap. 3 ist bekannt, wie oft eine Vereisung/Eiszapfenbildung am Funkturm bzw. am Projektstandort selbst in einem (typischen) Jahr ohne Abhilfemaßnahmen auftreten kann.

Sofern sich Eis in oder auf den Plattformen des Funkturmes ansammelt, ist nicht auszuschließen, dass es ohne Abhilfemaßnahmen auch zum Herabfallen von Eis kommt.

Gewöhnlich können Abhilfemaßnahmen das Problem lösen. Vereisung (und Eiszapfen) können z.B. durch eine Begleitheizung der gefährdeten Bereiche oder durch die Verwendung von Spray oder Flüssigkeiten, die ein Tauen des Eises bewirken, verhindert werden.

Weitere mögliche Maßnahmen wären der (temporäre) Einbau von Auffangbehältern oder -netzen, die die fallenden Eiszapfen auffangen.

Sofern die beschriebenen Abhilfemaßnahmen nicht oder nur teilweise umsetzbar sind, dann kann das temporäre Absperren bestimmter Bereiche am Boden, auf Fußgängerwegen und Straßen oder auf den Dachterrassen im unteren Bereich des Gebäudes notwendig werden. Dies stellt die gewöhnliche Praxis in vielen Städten mit kalten Wintern dar. Zusätzlich werden bspw. in den USA im Falle von Temperaturen unter dem Gefrierpunkt Schilder im Außenbereich nahezu jedes Hochhauses oder hohen Gebäudes aufgestellt, die die Fußgänger vor herabfallenden Eiszapfen warnen.

Um eine Einschätzung zu bekommen, welche Bereiche von herabfallenden Eiszapfen bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen am Boden besonders betroffen sein können, wurde eine Flugbahnstudie für Eiszapfen durchgeführt.

4.2. Methodik

Nach dem Abfallen von den Antennen oder Plattformen des Gebäudes wirken auf die Eiszapfen im Wesentlichen 2 Kräfte: die Schwerkraft und die Luftwiderstandskraft. Diese können wie folgt beschrieben werden:

Schwerkraft (wirkt vertikal): $F_g = -mg$ (1)

Vektor der Widerstandskraft: $\mathbf{F}_D = -\frac{1}{2}\rho|\mathbf{v} - \mathbf{v}_{wind}|(\mathbf{v} - \mathbf{v}_{wind})C_D A$ (2)

mit:	m	=	Masse des Eisfragments
	g	=	Erdbeschleunigung
	ρ	=	Luftdichte
	\mathbf{v}	=	Geschwindigkeitsvektor des Fragments
	\mathbf{v}_{wind}	=	Geschwindigkeitsvektor des Windes
	C_D	=	Widerstandsbeiwert des Fragments
	A	=	Projektionsfläche des Fragments

Durch Einsetzen der o.g. Gleichungen in das 2. Bewegungsgesetz nach Newton ($\Sigma F = m \cdot a$), erhält man:

$$a_x = -\left(\rho C_D A / 2m\right) \cdot \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \cdot v_x \quad (3)$$

$$a_y = -g - \left(\rho C_D A / 2m\right) \cdot \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \cdot v_y \quad (4)$$

Basierend auf diesem Ansatz kann die Position des Fragments in Abhängigkeit von der Zeit und damit die Entfernung, mit der die Partikel auf den Boden treffen, durch numerische Integration berechnet werden. Der obige Ansatz ist eine stationäre Vereinfachung der realen Situation, in der Drehbewegungen und Richtungsabhängigkeit des Luftwiderstands wichtig sein können (Anderson, 2005). Da die Fragmente jedoch sehr unterschiedliche und unregelmäßige Formen haben können, ist es nicht möglich, ihr genaues Flugverhalten zu untersuchen, und es erscheint angebracht, einen vereinfachten Ansatz zu wählen.

Die räumliche Risikoverteilung beim Auftreffen auf den Boden wird dann durch Koppeln der berechneten Flugentfernungen mit der in Kapitel 2 angegebenen bedingten Windstatistik ermittelt.

4.3. Eisfragmente

Aufgrund der Masse- und Formvariationen von Eisfragmenten, die sich möglicherweise von den Antennen oder den Plattformen lösen können, ist es nützlich, zwei Grenzfälle zu berücksichtigen:

- **Typ 1:** Eisfragment, das klein und leicht genug ist, um über große Entfernungen hinweg geweht zu werden, jedoch schwer genug ist, um beim Aufprall auf eine Person oder einen

empfindlichen Gegenstand schwere Verletzungen zu verursachen. Diese Gruppe umfasst typische kleinere Eiszapfen, die einzeln von den Antennen oder Plattformen abbrechen. Diese Eiszapfen als auch mögliche Fragmente neigen dazu, schlanke Formen zu haben. Es wird angenommen, dass bei Massen von $m_{\text{Typ1}} \geq 0,2 \text{ kg}$ schwere Verletzungen auftreten können.

- **Typ 2:** Schwereisfragmente, die durch einen möglichen Zusammenschluss von Eiszapfen entstehen und zu maximaler Beschädigung oder Verletzung führen können (siehe Abbildung 4.1). Es wird erwartet, dass diese Art von Eiszapfen entlang der horizontalen Plattformen als Eisvorhang ausgebildet werden kann.

Die angenommenen Parameter, die für die Berechnung der Flugbahnen beider Eiszapfentypen erforderlich sind, sind in Tabelle 4.1 aufgeführt.

Eisfragment Typ	Projektionsfläche (m ²)	Masse (kg)	ρ_{Eis} (kg/m ³)	Widerstandsbeiwert, C_D [-]
1	0.01	0.2	934	1.50
2	0.2	8	934	1.50

Anmerkungen:

- Aufgrund der Formvariationen der Eiszapfen wurde ein Luftwiderstandsbeiwert von 1,50 angenommen, der nach Sadraey, M., 2009 für eine unregelmäßige Form angesetzt werden kann.
- Eiszapfen Typ 2 repräsentiert einen Vorhang von Eiszapfen mit der breiteren Fläche als Frontfläche.

Tab. 4.1: Charakteristische Eigenschaften der untersuchten Eisfragmente (Quelle: WI, 2021)

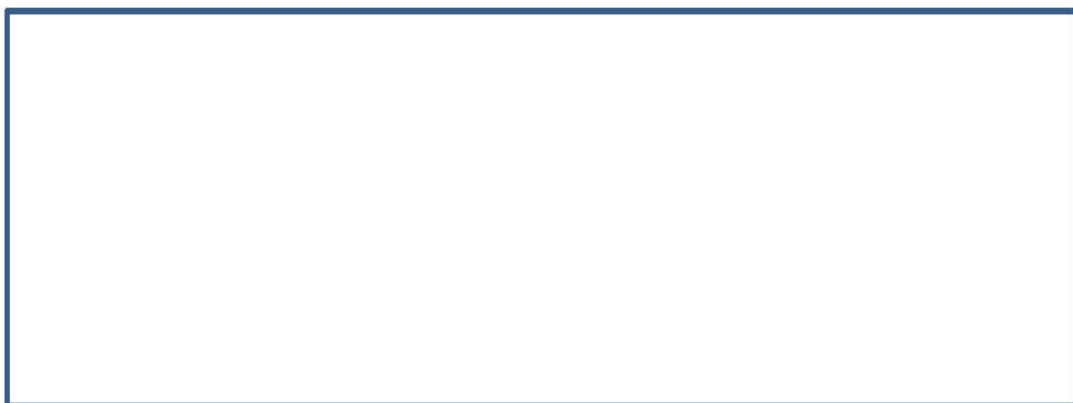


Fig. 4.1: Beispielbilder, die eine grobe Darstellung der untersuchten Fragmente zeigen: Typ 1 (links) und Typ 2 (rechts) (National Safety, Inc., 2012)

4.4. Windfelduntersuchung

Die örtlichen Windbedingungen beeinflussen maßgeblich die Flugbahn der Eiszapfen. Durch die umgebende Bebauung und die Umströmung des Funkturmes wird das Windfeld rund um den Turm modifiziert. Um Beschleunigungsfaktoren (Strömungsbeschleunigungen im Bereich der Gebäudekanten / Gebäudeseiten) oder Abschattungsfaktoren (Leeseite des Gebäudes), die aus der Umströmung der Gebäude resultieren zu bestimmen, wurden Messungen in einem Grenzschichtwindkanal durchgeführt.

Hierzu wurde die Umgebung des Funkturmes in einem Maßstab von 1:200 als Modell nachgebaut (siehe Abb. 4.2). In einem Grenzschichtwindkanal, der die natürliche Variation des Windes mit der Höhe simuliert, wurden innerhalb des Modells für unterschiedliche Windrichtungen Windgeschwindigkeitsmessungen durchgeführt und hieraus die richtungsabhängigen Windprofile als Eingangsparameter für die Flugbahnsimulationen ermittelt.

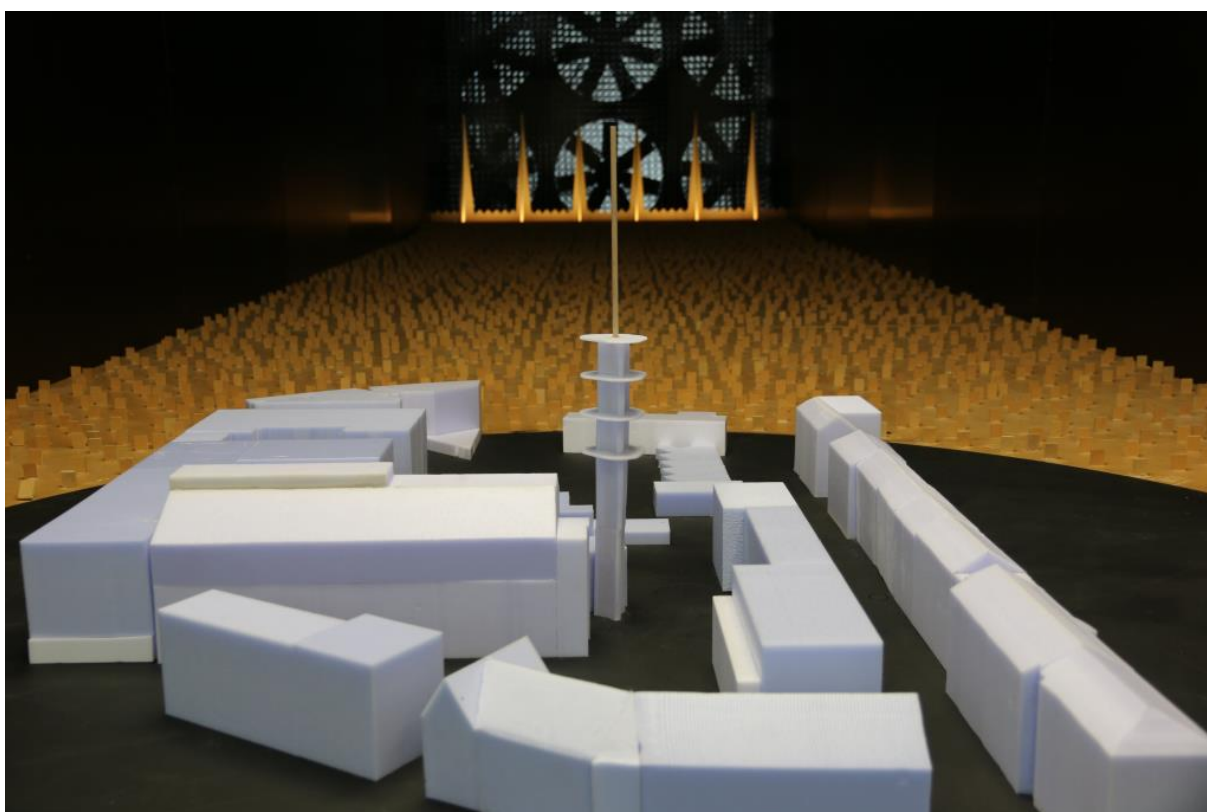
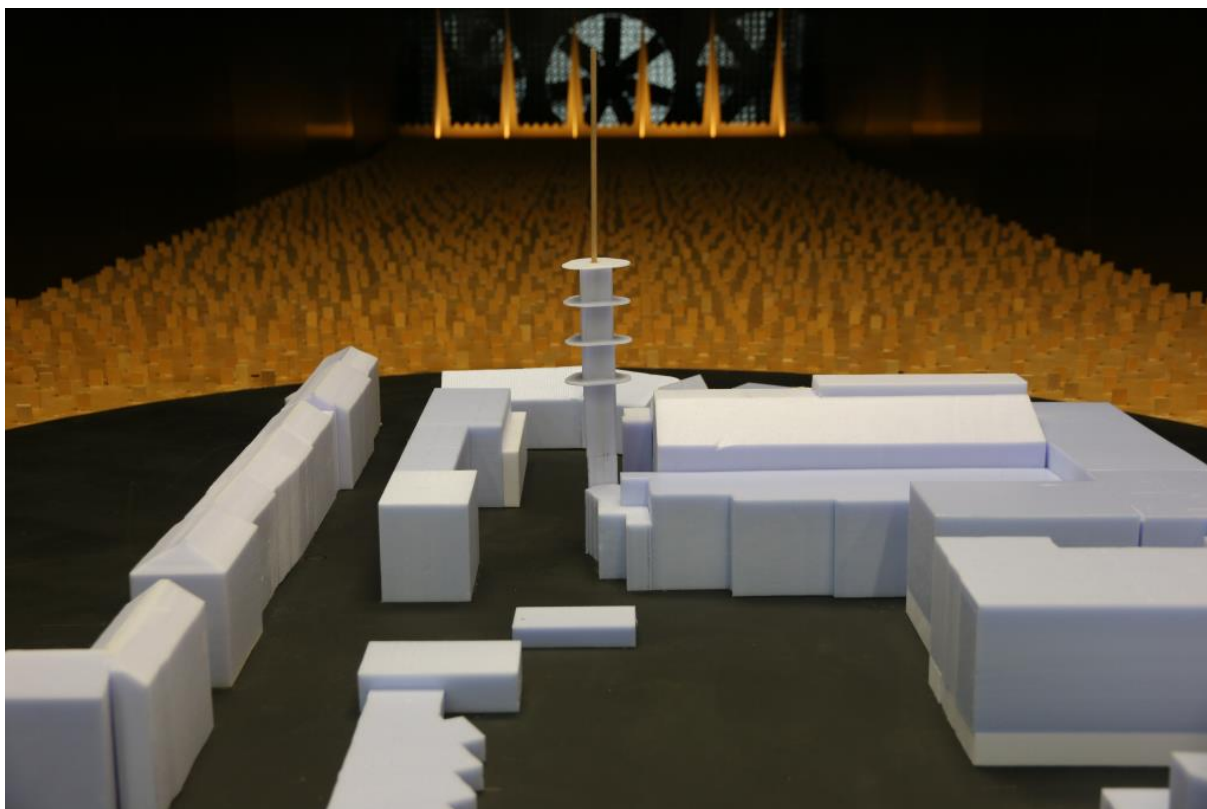


Abb. 4.2: Das Modell des Funkturms und der umgebenden Bebauung im Maßstab 1:200 im Grenzschichtwindkanal. Die Bebauung im Untersuchungsareal wurde auf Basis des erneuerten Bebauungsplanes (siehe Abb. 1.2) erstellt. (Quelle: WI, 2021)

4.5. Ergebnisse (ursprünglich geplante KiTa-Fläche)

Mit Hilfe des in Kap. 4.2 beschriebenen numerischen Modells und den in den Windkanalversuchen ermittelten windrichtungsabhängigen Höhenprofile der Windgeschwindigkeit wurden die Auftreffpunkte der Eiszapfen bei unterschiedlichen Windbedingungen ermittelt. Unterschieden wurde zwischen Eiszapfen, die von den Antennen im oberen Mastbereich (ca. 100 m) herunterfallen und Eisfragmenten, die von der oberen Plattform (ca. 60 m) abbrechen.

Durch Kopplung der Ergebnisse mit den in Kap. 3.2 ermittelten klimatischen Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten wurden Risikokarten erstellt, in denen die potentiellen Eisschlaghäufigkeiten pro m² angegeben sind (Abb. 4.3 – Abb. 4.9). Hieraus wird ersichtlich, welche Bereiche am häufigsten von Eisschlag betroffen sein können bzw. in welchen Bereichen das Eisschlagrisiko gering ist. Für den Bereich der geplanten Außenfläche der Kindertagesstätte (ursprünglich geplante Fläche) wurden die Häufigkeiten über die Fläche aufintegriert, so dass die in rot angegebenen Werte in Abb. 4.3 – Abb. 4.9 die durchschnittliche Anzahl der Stunden im Jahr darstellen, an denen Windbedingungen herrschen, die zu einem Einschlag irgendwo im Bereich der Außenfläche führen können.

Hierbei wurden analog zum Vorgehen in Kap. 3.2 nur Zeiträume berücksichtigt, an denen es zu Ablagerungen von Eis oder Schnee gekommen ist, also die Grundvoraussetzung zur Bildung von Eiszapfen gegeben war. Da aber nicht zu jedem dieser Zeitpunkte mit Eiszapfenbildung zu rechnen ist, wurden - wie in Kap. 3.2 erläutert - auch weitere eingrenzende Szenarien überprüft (Tage innerhalb längerer Eis- oder Schneephasen (> 5 Tage), nur Tage mit beobachteten Eisabsetzungen und Tage mit einer geschlossenen Schneedecke von mehr als 10 cm).

Aus den Abbildungen wird ersichtlich, dass Eiszapfen, die vom Funkturm fallen, aufgrund der Windstatistik im Wesentlichen nach Osten/Nordosten bzw. nach Westen/Südwesten abgetrieben werden. Die häufigsten potentiellen Einschlagstellen liegen hierbei ca. 15 m östlich bzw. 10 m westlich vom Funkturm, wenn ein typischer Eiszapfen (Typ 1) von der Spitze des Mastes fällt. Fällt ein Eiszapfen von der oberen Plattform, dann trifft er am häufigsten in etwa 5-7 m Entfernung auf den Boden auf.

Betrachtet man fallende Eiszapfen (Typ 1) von den Antennen im oberen Mastbereich, so können diese bei westlichen Winden > 6 m/s die geplante Außenfläche der KiTa (ursprüngliche Planung) erreichen. Während der Zeiträume mit Eis- oder Schneeablagerungen kann dies an etwa 70 Stunden im Jahr der Fall sein. Berücksichtigt man nur Zeiträume während längerer Schnee- oder Eisphasen (> 5 Tage), so liegt die Wahrscheinlichkeit solcher Windbedingungen bei durchschnittlich 40

Stunden im Jahr. Berücksichtigt man nur Tage mit Eisablagerungen, da es im Mastbereich keine Horizontalflächen gibt, auf denen sich größere Schneemengen anhäufen könnten, reduziert sich die Häufigkeit kritischer Windbedingungen auf durchschnittlich 8 Stunden im Jahr.

Fallende Eiszapfen von der oberen Plattform können erst bei Westwinden > 11 m/s das KiTa-Gelände in der ursprünglichen Planung erreichen. Diese treten entsprechend seltener auf, nämlich nur etwa 2 Stunden im Jahr während Tagen mit Eis- oder Schneeablagerungen. Betroffen ist hier nur der westliche Randbereich der KiTa-Außenfläche. Auf eine Stunde und weniger reduziert sich die Wahrscheinlichkeit, wenn man die kritischen Szenarien auf Tage während längerer Schnee- oder Eisphasen oder Tagen mit einer geschlossenen Schneedecke > 10 cm begrenzt. In diesem Zusammenhang ist zu bedenken, dass die angegebenen Stundenwerte Durchschnittswerte sind. Typischerweise verteilen sich die Überschreitungen hoher Windgeschwindigkeiten nicht gleichmäßig auf alle Jahre, sondern es ist oft so, dass die Geschwindigkeiten während einer Sturmphase in einem Jahr mehrmals hintereinander übertroffen werden und dafür in anderen Jahren gar nicht.

Zusammenhängende Eiszapfen, die eine Art „Vorhang“ bilden (Typ 2) sind zwar an den Plattformrändern denkbar, erreichen aber, wenn sie fallen, aufgrund ihrer Schwere den Bereich der KiTa-Fläche praktisch nicht.

Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr, an denen Windbedingungen herrschen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m²) führen können.

Voraussetzungen:

Tage während längerer Phasen (> 5 Tage) mit Schnee- oder Eisablagerungen fallender Eiszapfen im oberen Mastbereich

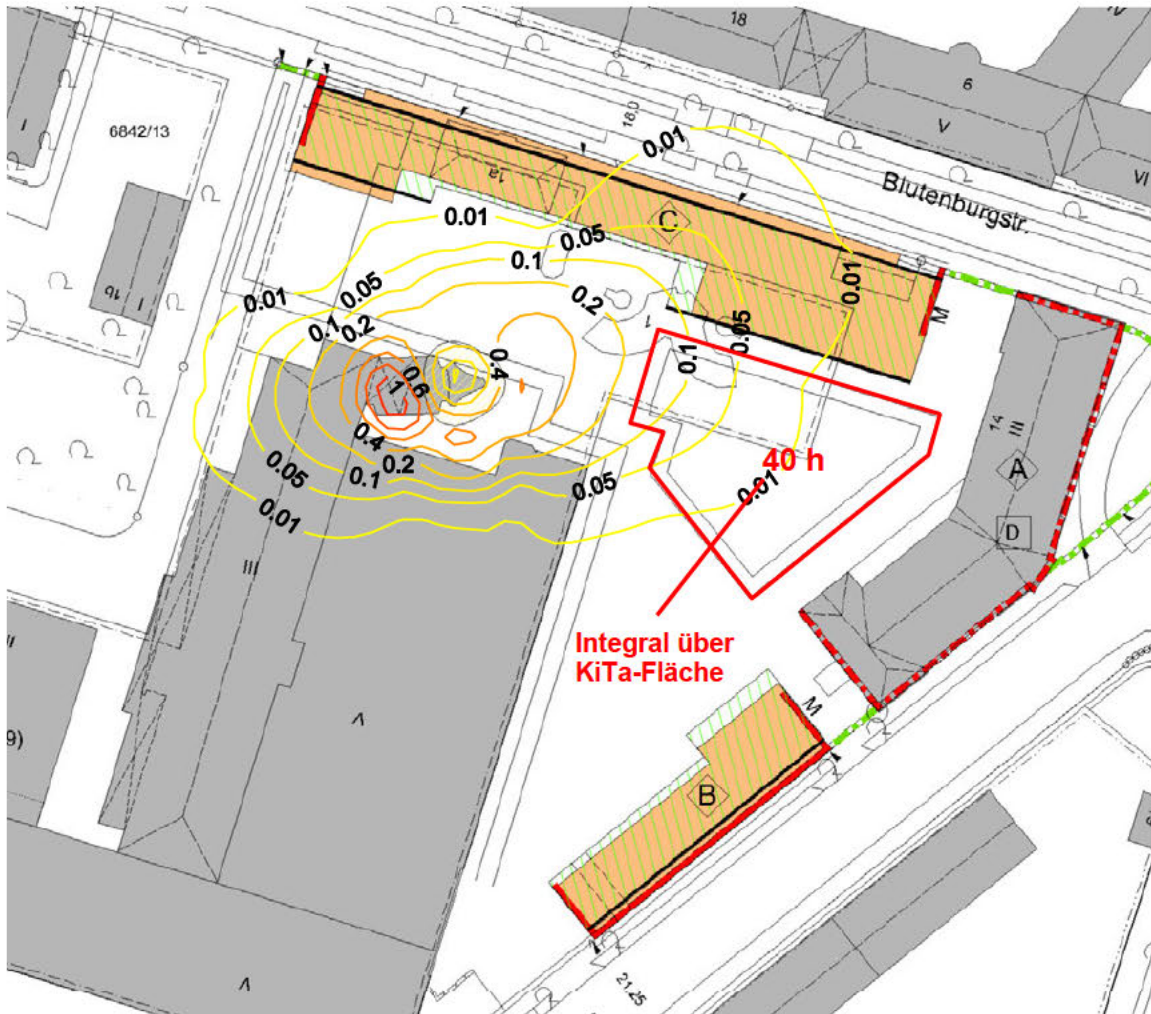


Abb. 4.4: Eisschlag-Risikokarte: Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr mit Windbedingungen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m²) führen könnten; **Voraussetzungen:** - Tage während längerer Phasen (> 5 Tage) mit Eis- oder Schneeablagerungen; - fallender Eiszapfen (Typ 1) vom oberen Mastbereich (ca. 100m) (Quelle: WI, 2021)

Markierte KiTa-Fläche entspricht dem ursprünglichen Planstand

Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr, an denen Windbedingungen herrschen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m²) führen können.

Voraussetzungen:
Tage mit Eisablagerungen
fallender Eiszapfen im oberen Mastbereich

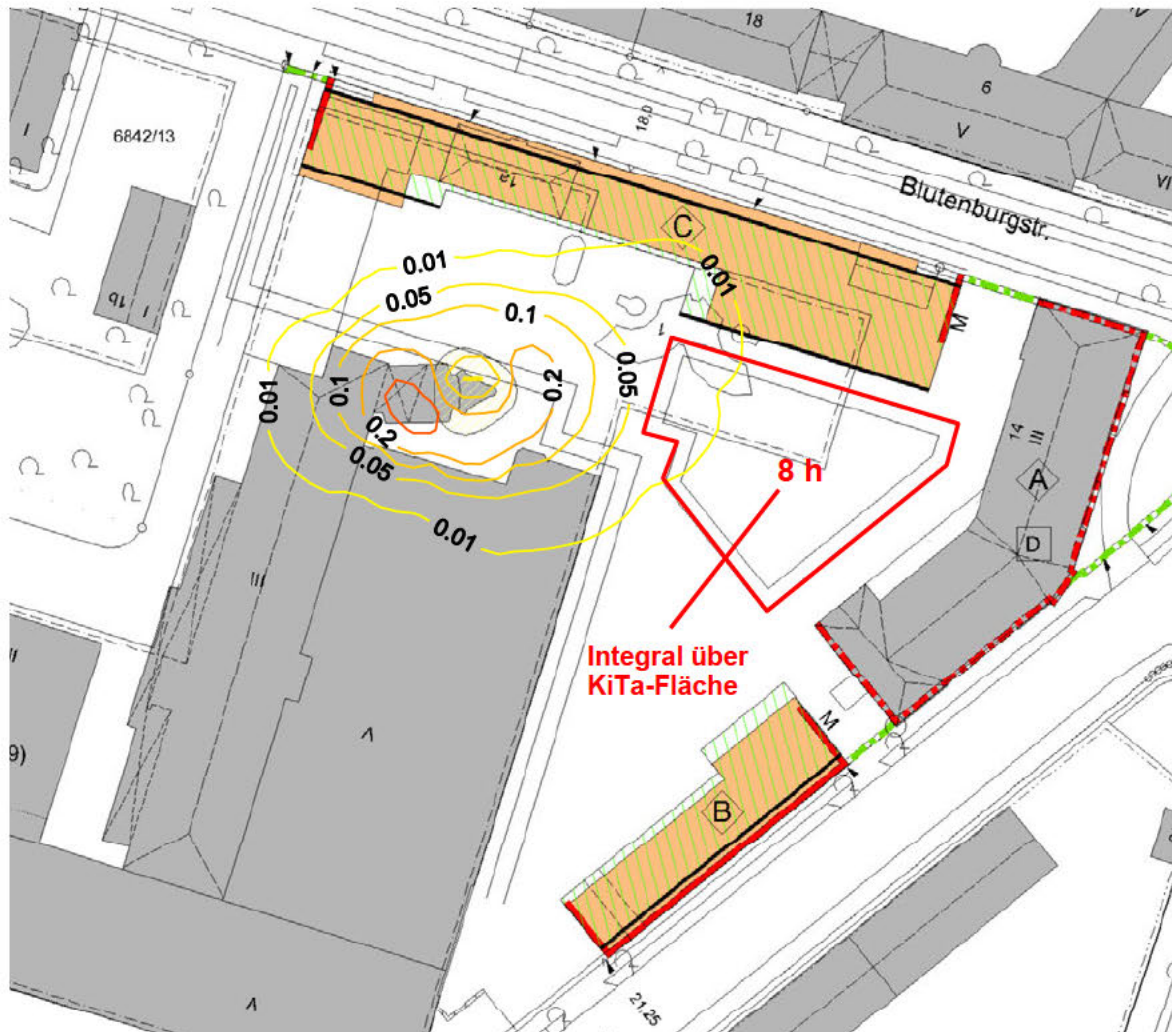


Abb. 4.5: Eisschlag-Risikokarte: Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr mit Windbedingungen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m²) führen könnten; **Voraussetzungen:** - Tage mit Eisablagerungen; - fallender Eiszapfen (Typ 1) vom oberen Mastbereich (ca. 100m) (Quelle: WI, 2021)

Markierte KiTa-Fläche entspricht dem ursprünglichen Planstand

Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr, an denen Windbedingungen herrschen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m²) führen können.

Voraussetzungen:

Tage während längerer Phasen (> 5 Tage) mit Schnee- oder Eisablagerungen fallender Eiszapfen im Plattformbereich

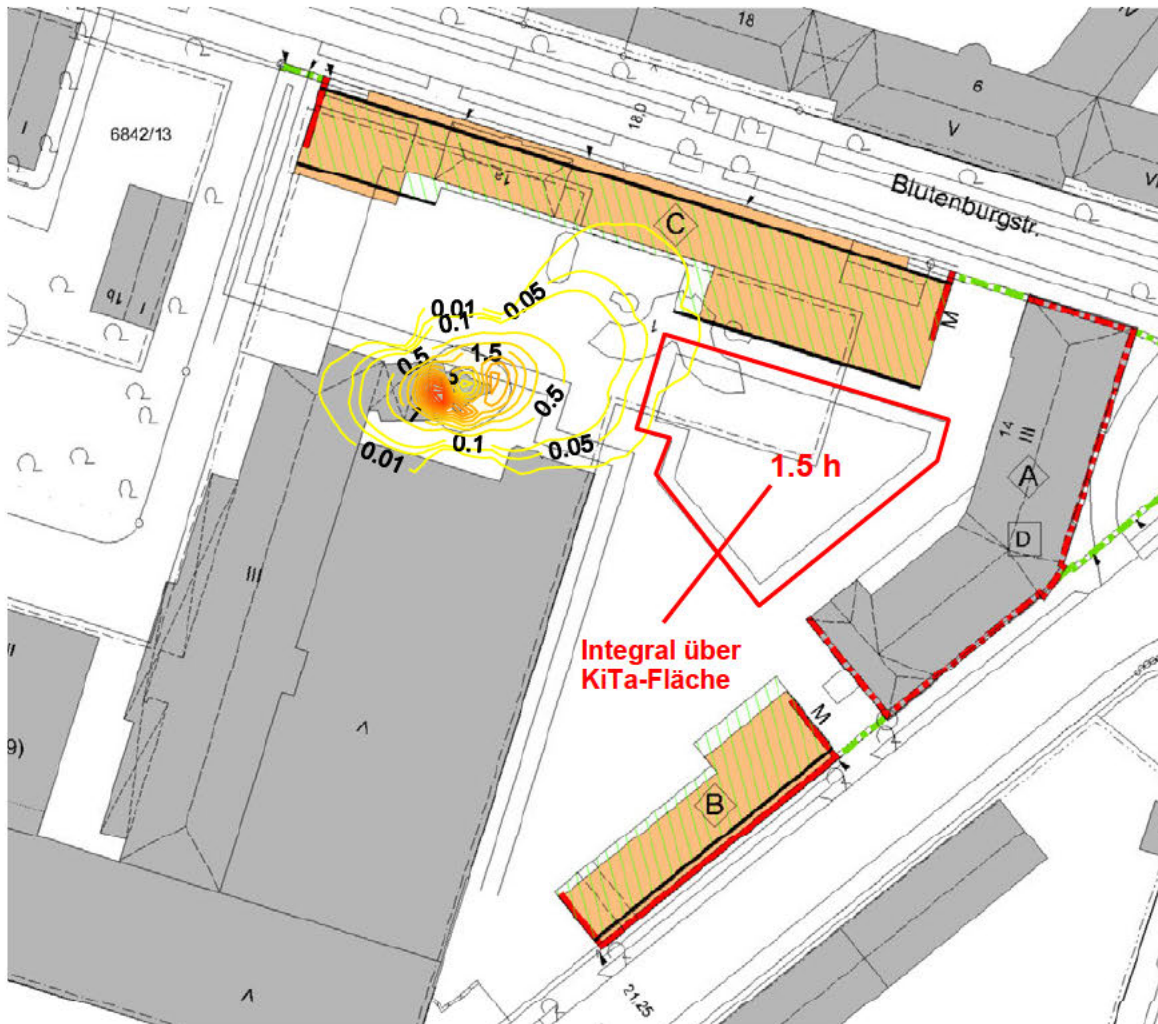


Abb. 4.7: Eisschlag-Risikokarte: Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr mit Windbedingungen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m²) führen könnten; **Voraussetzungen:** - Tage während längerer Phasen (> 5 Tage) mit Eis- oder Schneeablagerungen; - fallender Eiszapfen (Typ 1) von der oberen Plattform (ca. 60m) (Quelle: WI, 2021)

Markierte KiTa-Fläche entspricht dem ursprünglichen Planstand

Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr, an denen Windbedingungen herrschen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m²) führen können.

Voraussetzungen:

Tage mit geschlossener Schneedecke > 10 cm
fallender Eiszapfen im Plattformbereich

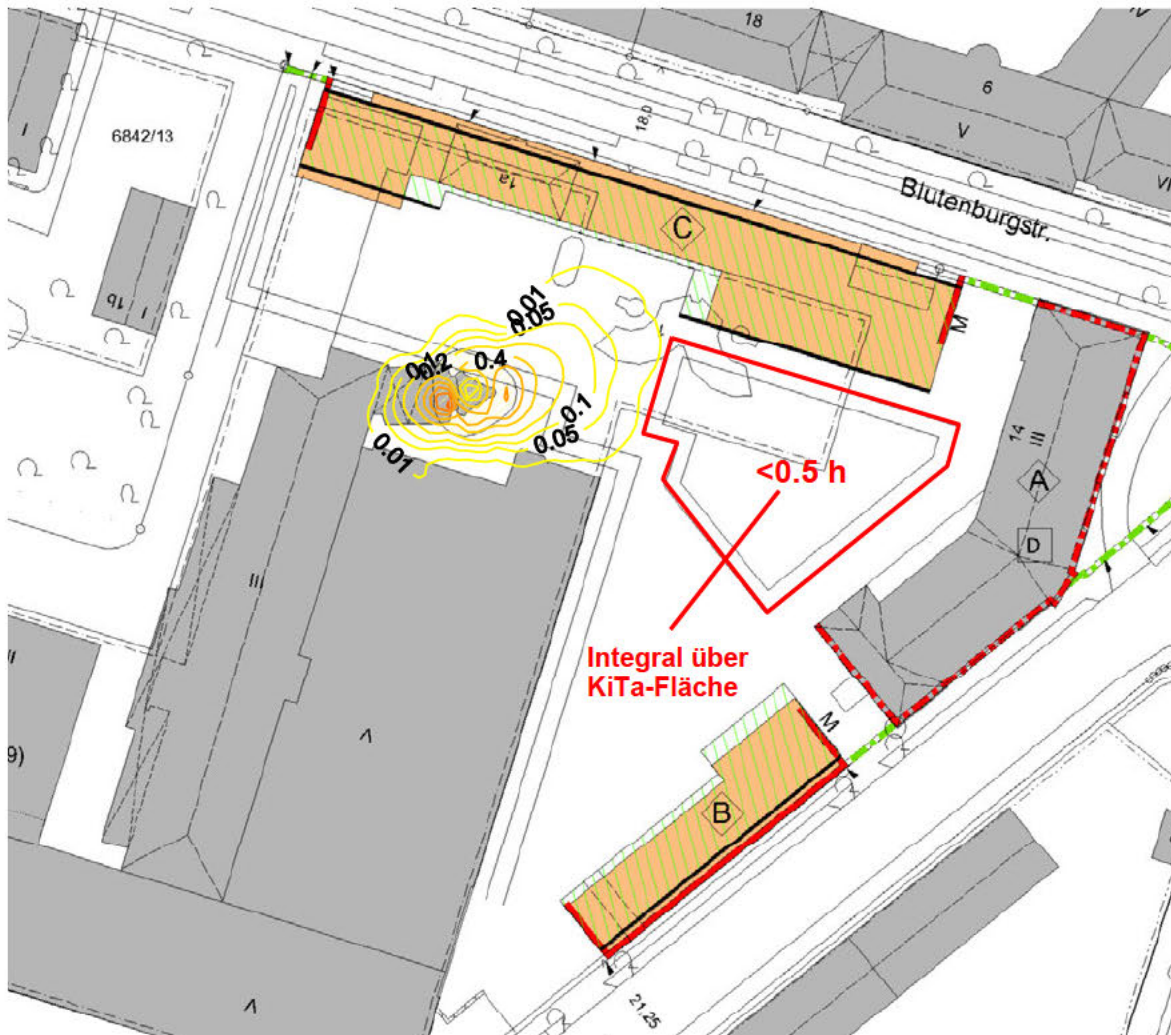


Abb. 4.8: Eisschlag-Risikokarte: Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr mit Windbedingungen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m²) führen könnten; **Voraussetzungen:** - Tage mit geschlossener Schneedecke (> 10 cm); - fallender Eiszapfen (Typ 1) von der oberen Plattform (ca. 60m) (Quelle: WI, 2021)

Markierte KiTa-Fläche entspricht dem ursprünglichen Planstand

Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr, an denen Windbedingungen herrschen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m^2) führen können.

Voraussetzungen:

Tage mit Schnee- oder Eisablagerungen

fallender Eisvorhang (Typ 2) im Plattformbereich

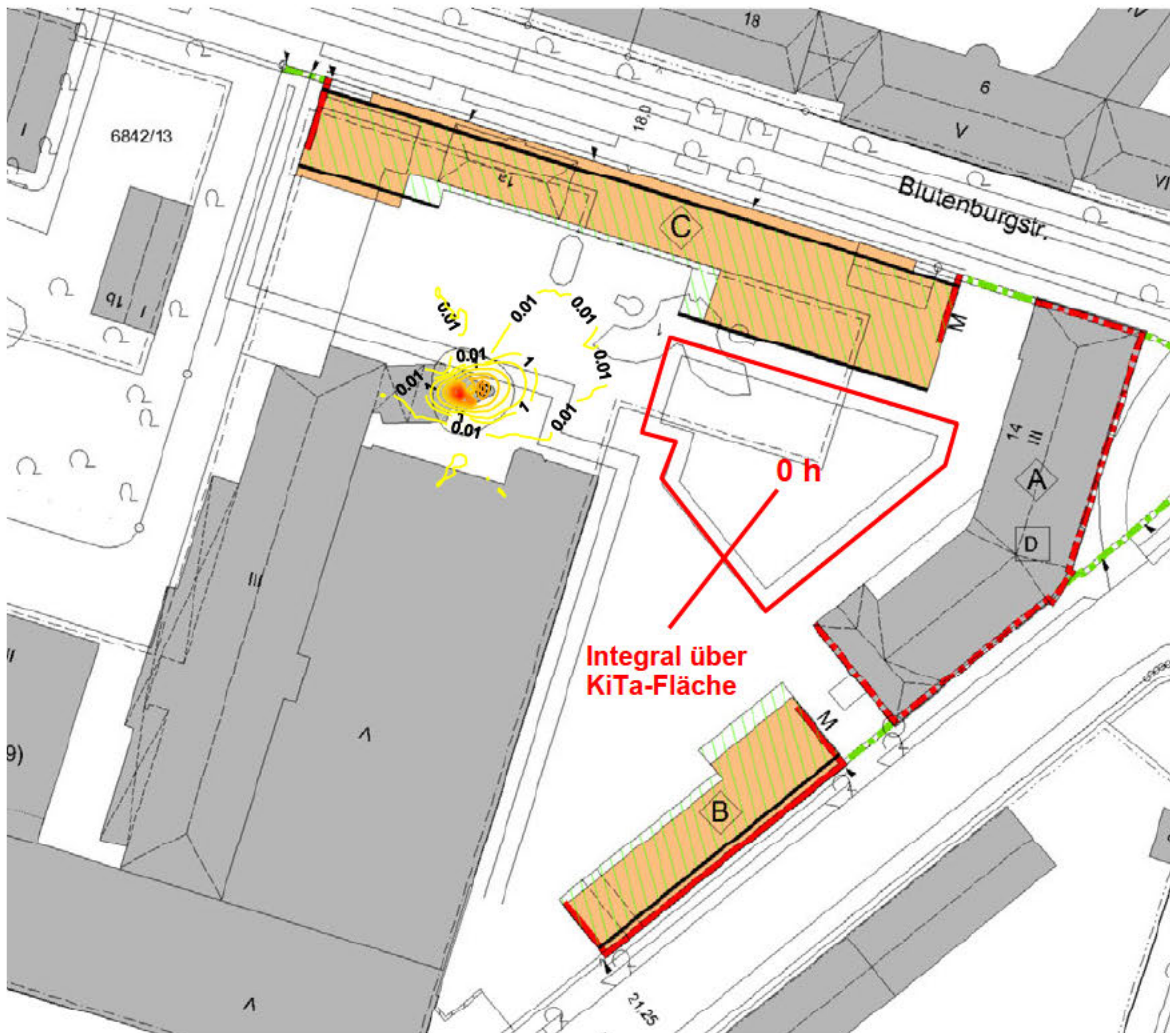


Abb. 4.9: Eisschlag-Risikokarte: Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr mit Windbedingungen, die zu Eisschlag im jeweiligen Bodenbereich (pro m^2) führen könnten; **Voraussetzungen:** - Tage mit Eis- oder Schneeablagerungen; - fallender Eiszapfenvorhang (Typ 2) von der oberen Plattform (ca. 60m) (Quelle: WI, 2021)

Markierte KiTa-Fläche entspricht dem ursprünglichen Planstand

4.6. Ergebnisse (neu geplante KiTa-Fläche)

Die in Kap. 4.5 dargestellten Ergebnisse für die ursprüngliche KiTa-Fläche zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit eines Eisschlags im Bereich der ursprünglichen KiTa-Fläche äußerst gering ist. Dennoch kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass ein fallender Eiszapfen vom Funkturm bei entsprechend ungünstigen Windbedingungen die ursprünglich geplante KiTa-Fläche erreichen kann.

Daraufhin soll die KiTa-Fläche nun in den südlichen Innenhofbereich verschoben werden und ein angrenzender Bereich nördlich als mögliche Spielplatzfläche vorgesehen werden.

Die Flugbahnsimulationen für fallende Eiszapfen wurden daraufhin hinsichtlich der angesprochenen Bereiche nochmals analysiert. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass bei allen Untersuchungsvarianten die Wahrscheinlichkeit von Windbedingungen, bei denen ein fallender Eiszapfen vom Funkturmmast oder von den Plattformen in diesen Bereichen auftreten würde, kleiner als 0.01 Stunden pro Jahr pro m² ist.

Das bedeutet, wenn sich eine Person in diesem Bereich an einem bestimmten Punkt bei Eisablagerungsbedingungen aufhält, würden seltener als etwa alle 100 Jahre einmal Windbedingungen in einer Stunde herrschen, bei denen die Person getroffen werden würde, wenn gleichzeitig ein Eiszapfen vom Turm fällt. Die Wahrscheinlichkeit, dass gleichzeitig ein Eiszapfen fällt, wenn die kritischen Windbedingungen herrschen, lässt sich leider nicht quantifizieren. Das Gesamtrisiko reduziert sich aber dadurch nochmal erheblich.

Voraussetzungen:

Tage mit Schnee- oder Eisablagerungen fallender Eiszapfen vom Funkturmmast

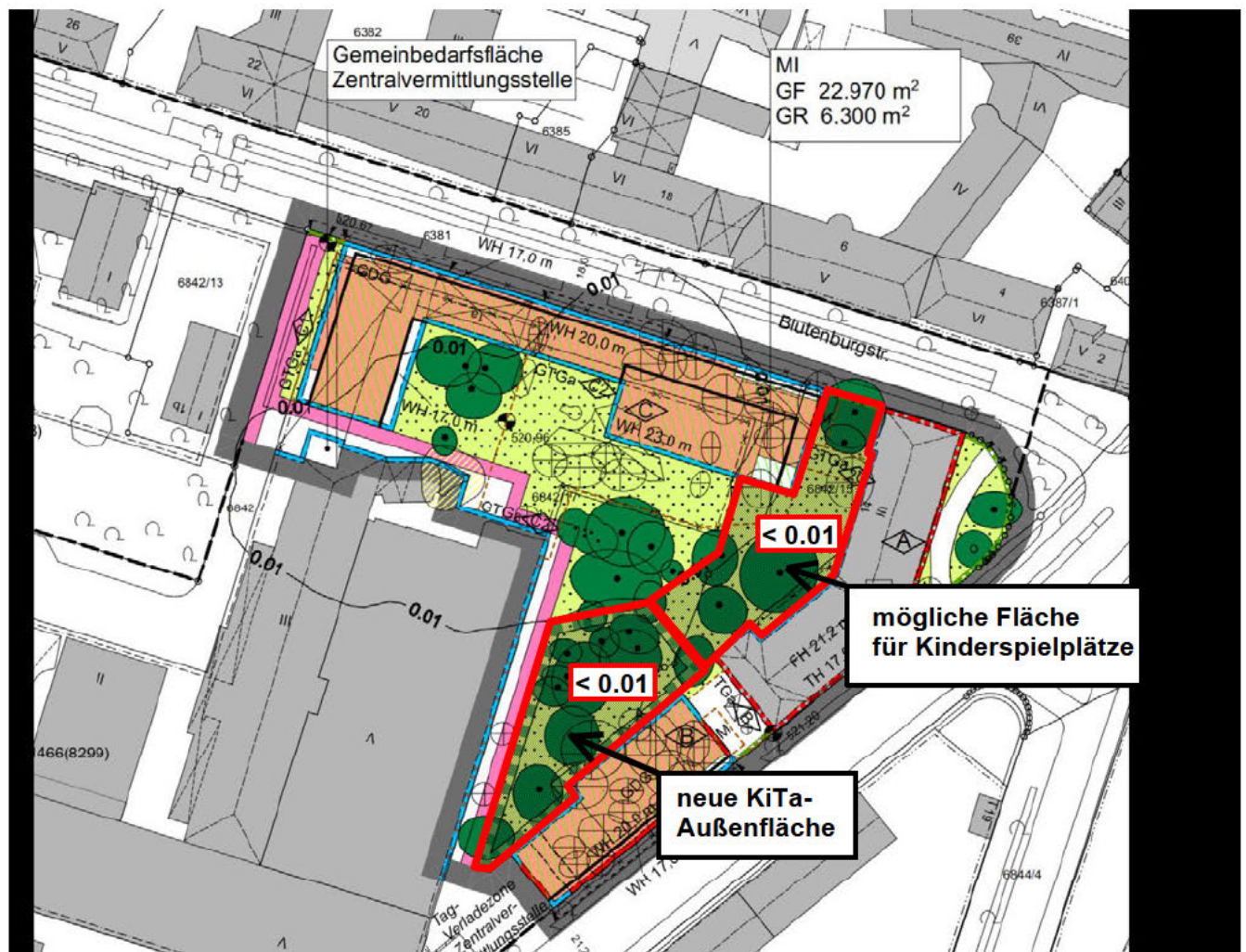


Abb. 4.10: Eisschlag-Risikokarte für die neue KiTa-Fläche und der neuen Kinderspielplatzfläche:
Durchschnittliche Anzahl von Stunden im Jahr mit Windbedingungen, die zu Eisschlag im Bodenbereich (pro m²) der neu geplanten KiTa-Fläche und der möglichen Fläche für Kinderspielplätze führen könnten; **Voraussetzungen:** - Tage mit Eis- oder Schneeablagerungen; - fallender Eiszapfen vom Funkturmmast oder von den Plattformen (Quelle: WI, 2021)

5. SCHLUSSFOLGERUNG / FAZIT

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass im Untersuchungsgebiet relativ häufig Bedingungen herrschen, die zu Schnee- oder Eisablagerungen führen können. Damit sich aber gefährliche Eisplatten oder Eiszapfen bilden können, muss sich zum einen eine ausreichende Eis- oder Schneemasse anhäufen und zum anderen müssen Tau- und Gefrierprozesse dafür sorgen, dass sich die Eisplatten lösen oder das abfließende Schmelzwasser sich an den Rändern sammelt und Eiszapfen bildet. Hierzu sind in der Regel längere Phasen (mehrere Tage) mit Eis- oder Schneeablagerungen notwendig. Solche längeren Phasen von Schnee- und Eisablagerungen (> 5 Tage), die die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Eiszapfen, Eisplatten u.ä. entsprechend erhöhen, kommen durchschnittlich etwa einmal in jedem Wintermonat vor. Entsprechende Phasen nur unter Berücksichtigung von Eisbildung treten etwa jedes 2. Jahr einmal auf.

Das zu schützende Außenareal der Kindertagesstätte (in der ursprünglichen Planung) soll etwas östlich des Funkturmes errichtet werden, so dass es sich außerhalb des direkten Einflussbereichs des Funkturms befindet. Das ist positiv zu bewerten, da dadurch eine Gefährdung durch herabfallende Eisstrukturen nur bei gleichzeitiger signifikanter Windwirkung aus Westen, die ein entsprechendes Ablenken der Eisteile bewirkt, gegeben ist. Die diesbezüglich durchgeführte Flugbahnstudie hat gezeigt, dass der Großteil der herabfallenden Eisfragmente bereits vor dem (ursprünglich geplanten) KiTa-Gelände auf den Boden auftreffen wird. Grenzt man die Wetterbedingungen im Hinblick auf die mögliche Bildung von Eiszapfen sinnvoll ein, so treten Windbedingungen, bei denen ein Eisschlagrisiko im Bereich des ursprünglich geplanten KiTa-Außengeländes besteht, an durchschnittlich etwa 8 Stunden im Jahr auf, wenn ein Eiszapfen vom oberen Mastbereich fällt und an knapp 2 Stunden, wenn ein Eisfragment sich von den Plattformen löst.

Die Wahrscheinlichkeit, dass während dieser insgesamt 10 Stunden auch tatsächlich ein Eiszapfen fällt ist natürlich nochmal geringer, so dass insgesamt ein relativ geringes Eisschlagrisiko für den ursprünglichen KiTa-Bereich besteht. Hinzu kommt, dass in der Auswertung keine Unterscheidungen hinsichtlich der Tageszeit oder des Wochentages vorgenommen wurden, d.h. eine Beschränkung auf die typischen Öffnungszeiten der KiTa erfolgte nicht.

Um dem verbliebenen theoretischen Eisschlagrisiko auf der ursprünglich geplanten KiTa-Fläche dennoch Rechnung zu tragen, wurde planerseite beschlossen, die KiTa-Fläche in den südlichen Bereich der Außenanlagen zu versetzen und eine mögliche Spielplatzfläche auf den nördlichen und östlichen Randbereich zu beschränken.

Dadurch erreicht man nochmal eine deutliche Reduzierung des theoretischen Eisschlagrisikos auf weniger als 0,01 Stunden pro Jahr und Quadratmeter (seltener als alle 100 Jahre einmal). Da sich neben dem Auftreten der ungünstigen Windbedingungen auch noch gleichzeitig ein Eiszapfen vom Mastbereich lösen müsste, ist das Gesamtrisiko im Bereich der versetzten KiTa-Fläche und auch im Bereich der neu geplanten Spielplatzfläche von einem fallenden Eiszapfen (ausgehend vom Funkturm) getroffen zu werden, nochmal deutlich geringer als alle 100 Jahre einmal. Es ist daher auch im Vergleich zum allgemeinen Dachlawinen- oder Eisschlagrisiko im Stadtgebiet als vernachlässigbar einzustufen.

6. VERWENDETE UNTERLAGEN

Andersen, A., Persavento, U., Wang, Z., 2005: “Unsteady aerodynamics of fluttering and tumbling plates”. J. of Fluid Mechanics, vol. 541, pp 65-90.

ISO 12494, 2001: “Atmospheric icing of structures”, International Standard Organization (ISO)

National Safety, Inc., 2012: “Dangers of falling ice”. National Safety, Inc.

Plate, E.J., 1982: "Wind tunnel modelling of wind effects in engineering". In E.J. Plate (ed.), Engineering Meteorology, Chapter 13, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York, pp. 573-639.

Sadraey, M., 2009: “Aircraft performance analysis”. VDM Verlag Dr. Müller, Chapter 3.

STRABAG 2019-2021: "Planunterlagen, Informationen, Kommunikation zur Bebauungsplanänderung Blütenburgstrasse – Pappenheimstrasse, München“, STRABAG Real Estate GmbH, Bereich München, München.

WI 2021: "Tabellen und Diagramme zum Projekt Bebauungsplanänderung Blütenburgstrasse – Pappenheimstrasse, München – Bewertung des Eisschlagrisikos durch den Funkturm (verwendete Planunterlagen wurden von STRABAG 2019-2021 zur Verfügung gestellt)“, Wacker Ingenieure GmbH, Birkenfeld.