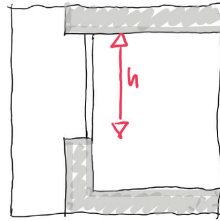


Bei modernen, gut gedämmten Gebäuden, deren Fassadenbauteile mindestens den Anforderungen für Bauschadenfreiheit der SIA 180 genügen, liegt die Schwachstelle bei den Fenstern mit U-Werten zwischen U_w 0.8 bis 1.5 W/(m² K).

Einflussfaktoren

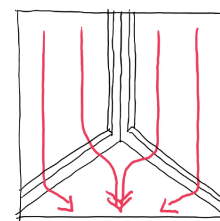
Bauteilhöhe (Fenster inkl. Rahmen)

Die Glasindustrie erlaubt mittlerweile Gläser bis zu 8 m Höhe ohne Unterbrüche. Mit speziellen Unterkonstruktionen (structural glazing) sind noch höhere Verglasungen möglich. Bis und mit 3 m können Fassaden bei niedrigen U-Werten ohne Probleme bewältigt werden.



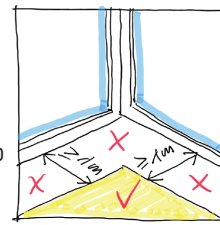
Über Eck-Verglasungen

Bei Verglasungen über Eck können sich die Luftströme der beiden Fassaden in der Diagonale treffen und dort zu höheren Luftgeschwindigkeiten führen. Räume mit Eckverglasungen sind deshalb kritischer als einseitig verglaste.



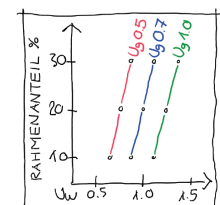
Aufenthaltsbereich

Der Aufenthalt direkt an Fensterflächen ist kritisch, weil dort das Zugluftrisiko am höchsten und zudem die Temperaturasymmetrie der kühlen Oberfläche in Relation zum Raum am grössten ist. SIA 180 geht deshalb davon aus, dass der Aufenthaltsbereich mehr als 1 m von der Fassade entfernt ist.



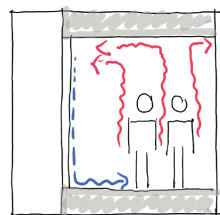
U-Werte

Der U-Wert von modernen Gläsern liegt bei U_g 0.50 bis 0.70 W/(m²K). Wesentlich höher können die U-Werte der Rahmen mit einem U_f von 1.1 bis 1.8 W/(m²K) sein. Im Mittel resultieren unter Berücksichtigung des Glasrandverbundes je nach Rahmenanteil U-Werte von $U_w = 0.75$ bis 1.30 W/(m²K). Als Standard gilt heute ein U_w -Wert von 0.90 W/(m²K).



Interne Wärmequellen

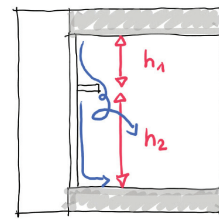
Der Kaltluftabfall wird durch interne Wärmequellen beeinflusst. An Personen, Computern, Beleuchtungskörpern steigt die warme Luft auf. Weil kühle Luft vom Boden nachgezogen wird, ergeben sich Luftwalzen. Diese können den Kaltluftabfall an der Fassade verstärken.



Gestaltungshinweise

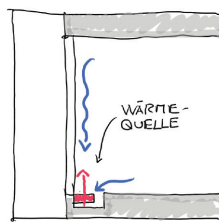
Horizontale Lamellen als Fallbremse

Bei mehrgeschossigen oder sehr hohen Verglasungen können luftdichte Lamellen mit ca. 30 cm Tiefe die Fassade so unterteilen, dass jedes Segment separat beurteilt werden kann. Die Lamelle führt zu einem Strömungsabriss.



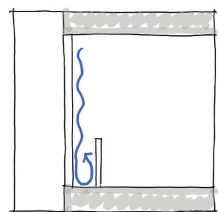
Platzieren von Wärmequellen

Konvektiv wirksame Heizkörper unter der Verglasung verursachen eine Luftströmung nach oben infolge thermischem Auftrieb. In modernen Gebäuden sind die Heizkörper häufig nicht in Betrieb, weil interne Wärmegewinne reichen, um das Gebäude zu heizen. Zudem wird der thermische Auftrieb bei Niedertemperatursystemen überschätzt. Wenig bis keine Wirkung hat eine Bodenheizung; auch mit Randzonenverdichtung.



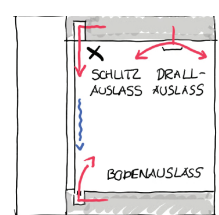
Geometrisch optimierte Übergänge Boden-Fassade

Mit Auffangvolumen zwischen Fassade und Boden kann der Kaltluftabfall aufgefangen und so verwirbelt werden, dass die zulässige Luftgeschwindigkeit eingehalten wird. (Hindernishöhe ca. 20 % der Fensterhöhe)



Luftauslässe

Ungünstig platzierte Luftauslässe wie z.B. Schlitzschienen direkt über der Fassade können die Luftwalze im Raum ebenfalls zusätzlich beschleunigen. Durch eine geschickte Auswahl der Luftauslässe und eine günstige Platzierung lässt sich der Effekt reduzieren.



Quellen und weitere Informationen

Normen	SIA 180: 2014 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» SN EN ISO 7730: 2006 «Ergonomie der thermischen Umgebung»
Haftungsausschluss	Die Informationen in diesem Merkblatt beruhen auf Praxiserfahrungen und sollen als Hilfestellung dienen. Es liegt in der Verantwortung der zuständigen Fachplaner, objektspezifisch korrekte Lösungen zu planen und ausführen zu lassen.
Autoren	Fachgruppe Bauphysik: Daniel Gilgen, Peter Gossweiler, Heinrich Hörth, Stephan Huber, Marcus Knapp, Jean-Marc Paris. Vertreter des Vorstandes: Frank Domschat.
Bezugsquelle	Forum Energie Zürich, Andreasstrasse 5, 8050 Zürich forumenergie.ch, info@forumenergie.ch, Tel.: +41 44 305 93 70

KALTLUFTABFALL IN DER PRAXIS

Merkblatt 1 der Fachgruppe Bauphysik

Die SIA 180 Ausgabe 2014 gibt im Kapitel 4.1.3 «Zugluft infolge Kaltluftabfall» Hinweise, wie diesem Effekt an hohen Glasflächen begegnet werden kann.

In der Praxis zeigt sich, dass wesentlich weniger Probleme vorkommen, als dies bei der strikten Anwendung der Norm zu erwarten wäre. Mitglieder der Fachgruppe Bauphysik und Simulationsspezialisten haben anhand von Praxisbeispielen untersucht, wie sich die Ergebnisse aufgrund der SIA 180 respektive auf Basis von CFD Simulationen unterscheiden.

Grundlagen

Die Basis für die Anforderungen an den thermischen Komfort bilden die Arbeiten von P.O. Fanger, welche in der SN ISO 7730 zusammengefasst sind.

Eine mögliche Ursache von lokaler Unbehaglichkeit ist die Zugluft. Die Komfortbewertung kann in diesem Fall mittels des Zugluftrisikos DR (draught risk) gemacht werden. Damit wird der prozentuale Anteil der Personen bezeichnet, die sich aufgrund der Zugluft unbehaglich fühlen.

Das DR wird als Funktion der lokalen Luftgeschwindigkeit, der Lufttemperatur und des Turbulenzgrades ermittelt. Der Turbulenzgrad beschreibt die Schwankungen der Luftgeschwindigkeit mit der Zeit.

Das DR wird mit folgender Formel für einen lokalen Punkt berechnet:

$$DR = (34 - \vartheta L)(v - 0.05)^{0.62}(0.37 * v * Tu + 3.14)$$

Der Bestwert des Zugluftrisikos ist 5 %.

Nach SN ISO 7730 (Tabelle A.1) werden drei Behaglichkeitskategorien definiert, welche für das Zugluftrisiko Werte bis 10 % (Kat. A), 20 % (Kat. B) und 30 % (Kat. C) erlauben.

Vollzugsrelevant ist derzeit die SIA 180:2014. Nach dieser Norm ist bei Daueraufenthaltsplätzen mit mechanischer Lüftung ein Zugluftrisiko bis 15 % zu tolerieren. Mit natürlicher Lüftung wird ein Zugluftrisiko bis 20 % toleriert.

Die Abhängigkeit der Parameter der lokalen Luftzustände für Temperatur, Geschwindigkeit und Turbulenz ist für ein DR 15 % in der Abb. 1 dargestellt.

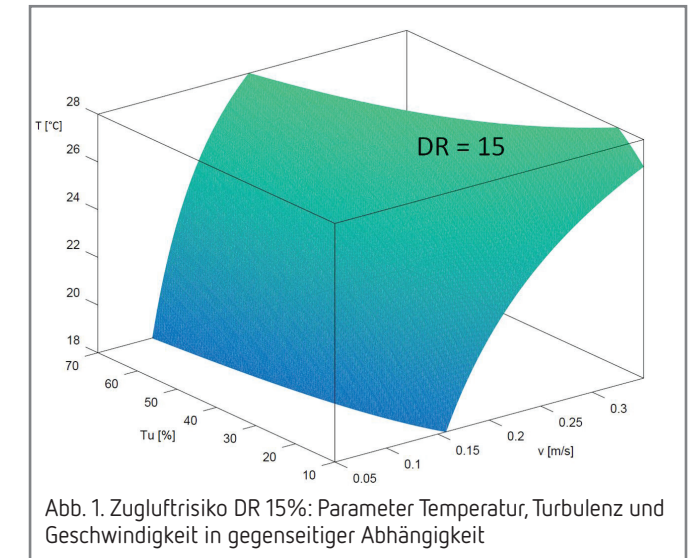


Abb. 1. Zugluftrisiko DR 15: Parameter Temperatur, Turbulenz und Geschwindigkeit in gegenseitiger Abhängigkeit

Nachweis nach SIA 180:2014

Im Anhang B.4 der SIA 180:2014 wird ein Berechnungsverfahren für den maximal zulässigen U-Wert von Bauteilen in Abhängigkeit der Bauteilhöhe und der Aussentemperatur dargestellt.

$$U_{max} \leq \frac{\left(\frac{v_{max}^2 \cdot h_i}{k^2 \cdot H} \right) + q_i \cdot l_s}{\theta_i - \theta_e}$$

U_{max} = zulässiger U-Wert
 v_{max} = max. zul. Luftgeschwindigkeit
 h_i = Wärmeübergangskoeffizient innen
 k = Regressionskoeffizient
 H = Höhe des Bauteils
 q_i = sekundärer Wärmeabgabegrad
 l_s = Globalstrahlungsintensität
 θ_i = Raumtemperatur
 θ_e = Aussentemperatur

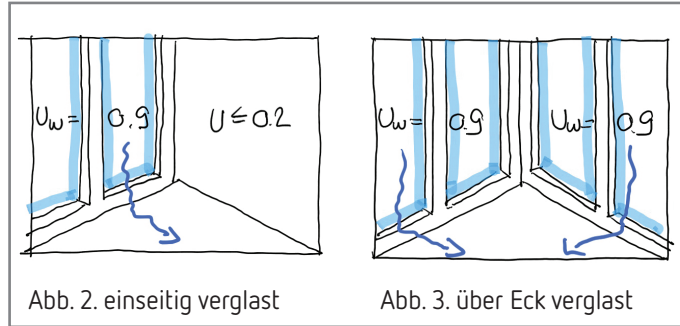
Einen wesentlichen Einfluss hat der Regressionskoeffizient k, welcher die Parameter Wärmelast und Lüftung berücksichtigt. Zur Grundlage der Aussentemperaturbedingungen ist es sinnvoll, eine Häufigkeit von bis 100 h in der Hauptnutzungszeit zu wählen.

Wozu dient eine CFD Simulation

Mit numerischer Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics CFD) können beliebige Situationen bereits in der Planungsphase berechnet werden und hinsichtlich Luftströmung und thermischen Komforts bewertet werden. Zur Bewertung von Kaltluftabfall wird das Zugluftrisiko DR in verschiedenen horizontalen Ebenen über dem Boden beurteilt. Die CFD Simulation gibt Aufschluss über die lokalen Luftzustände.

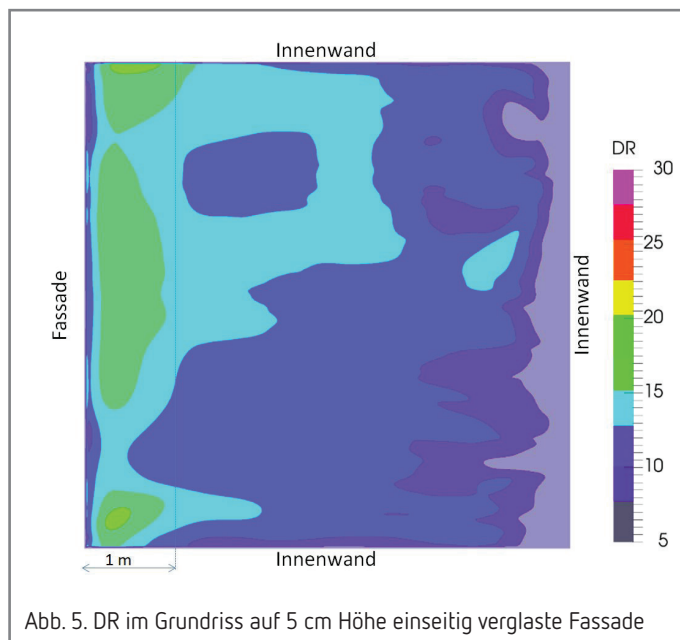
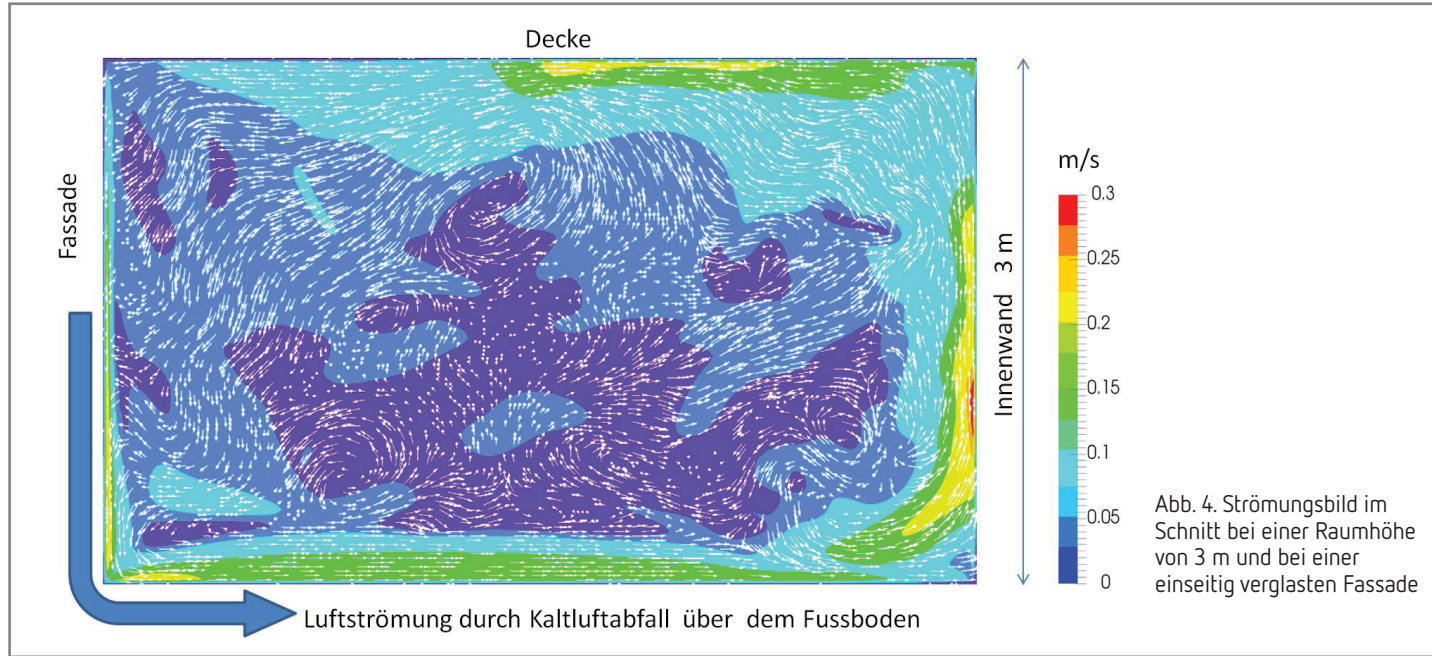
Fallbeispiel

Heute typische bauliche Situationen mit raumhohen Fensterelementen wurden in unterschiedlichen Raumhöhen für einseitige Fassaden und Ecksituationen in «Testmodellen» mit numerischer Strömungssimulation untersucht.

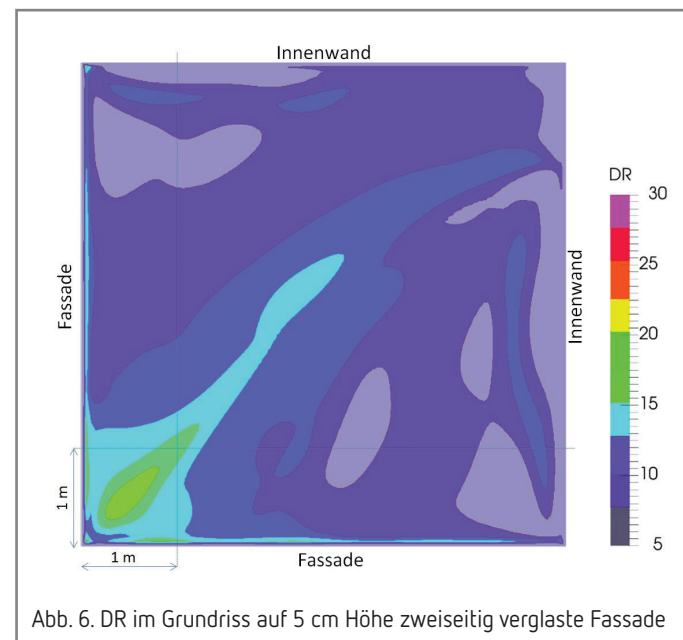


Die folgenden Parameter wurden in den Berechnungen berücksichtigt:

- DR soll kleiner sein als 15 %
- Aussentemperatur -6°C für Wohnen und -4°C für Büro (100h)
- Aufenthaltsbereich gemäss SIA 180
- Globalstrahlung nicht berücksichtigt
- U-Wert Bauteil 0.90 W/(m²K) inkl. Glas und Rahmen (z.B. $U_w=0.90$ W/(m²K), $U_g=0.60$ W/(m²K), $U_f=1.2$ W/(m²K), $F_f=20$ %)
- U-Wert angrenzende Bauteile 0.20 W/(m²K)
- Bodenheizung für Wohnen und Deckenheizung für Büro



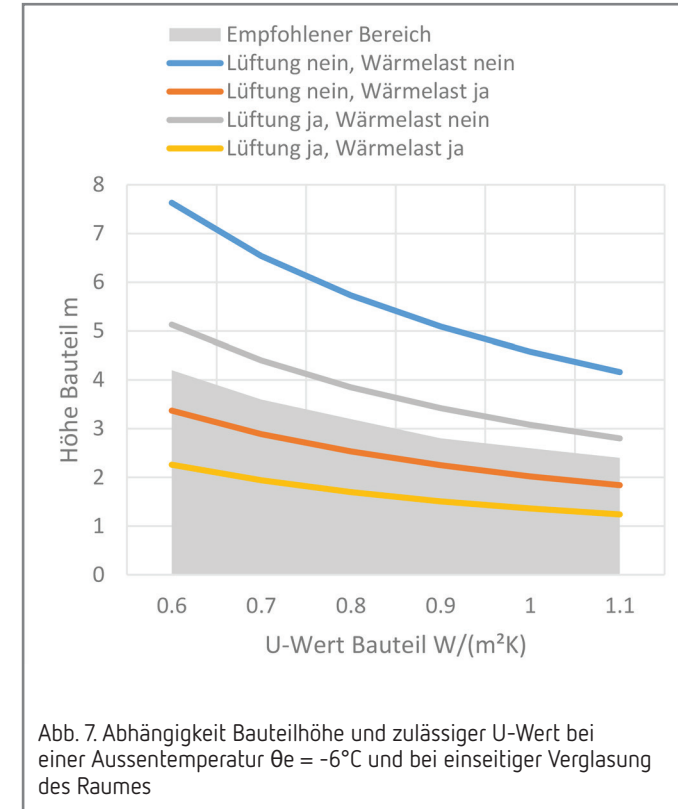
Im Aufenthaltsbereich bis zu einem Abstand von ≥ 1 m ab Fassade liegt das DR immer tiefer als 15 %. In diesem Bereich sind die Anforderungen eingehalten



Im Aufenthaltsbereich bis zu einem Abstand von ≥ 1 m ab Fassade liegt das DR immer tiefer als 15 %. In diesem Bereich sind die Anforderungen eingehalten. Aus der Ecke sind die kumulierten Luftströmungen sichtbar

Beurteilung gemäss SIA 180:2014

Die Situation wird auch mit der Formel zur Bestimmung des maximal zulässigen U-Wertes aus SIA 180 B4.4. geprüft.



Bei einem U-Wert von 0.90 W/(m²K) beträgt das Spektrum der zulässigen Bauteilhöhe bei Variation von Wärmelast und Lüftung zwischen 1.5 m und 5.0 m, was nicht nachvollziehbar ist und zu einer Planungsunsicherheit führen kann. Die Erfahrungen aus den CFD Simulationen zeigen, dass bei einseitig verglasten Räumen Fensterhöhen im grau hinterlegten Bereich liegen sollten, um Komfortprobleme zu vermeiden. Bei zweiseitig verglasten Räumen ist die Bauteilhöhe um 10 % zu reduzieren oder es sind weiterführende Massnahmen nötig. Siehe dazu auch Abb. 8.

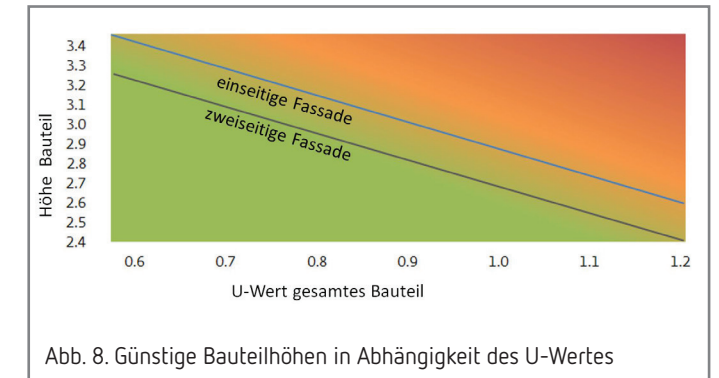
Vor- und Nachteile der beiden Methoden

Kriterium	CFD Simulation	SIA 180 Berechnung
Vorteil	Nahezu beliebige Situationen prüfbar, verschiedene Klimamodelle möglich	Schnelle Aussagen
Nachteil	Aufwändig und teuer	Keine Aussage bezüglich Eck-Situation, auf die sichere Seite gerechnet
Fazit	Nur in Spezialfällen sinnvoll	In Standardfällen sinnvoll

Hinweise

Für praxisnahe Nachweise gemäss SIA 180 oder CFD-Simulationen werden folgende Randbedingungen empfohlen:

- Aussentemperatur im gesamten Flachland nördlich der Alpen bis 900 m. ü. M. für Wohnen -6°C, für Büro -4°C. Für andere Orte der tiefste Mittelwert während 100 Nutzungsstunden am Klimastandort.
 - Aufenthaltsbereich gemäss SIA 180
 - Globalstrahlung nicht berücksichtigen
 - Relevante interne Wärmequellen berücksichtigen
 - DR im Aufenthaltsbereich soll kleiner sein als 15 %
 - Die operative Temperatur ist gesondert zu beurteilen
- Aus der Reihenuntersuchung mit CFD ergeben sich folgende Anforderungen an die Kombination U-Wert und Bauteilhöhe.



Fazit

Störender Kaltluftabfall ist bei normalen Bauteilhöhen bis netto 3 m und guten Verglasungen mit einem gesamten U-Wert U_w von ≤ 0.90 W/(m² K) nicht zu erwarten. In über Eck verglasten Räumen ist die Höhe um ca. 10 % zu reduzieren. Auf einen rechnerischen Nachweis kann in diesem Fall verzichtet werden.

Rechnerische Nachweise gemäss SIA 180 sind möglich, es sind jedoch Interpretationen bezüglich Lüftung und Wärmelasten erforderlich.

Bei einer Fensterhöhe von mehr als 3 m sind Begleitmassnahmen notwendig, um den Kaltluftabfall zu bremsen. Diese können beispielhaft der Seite 4 dieses Merkblattes entnommen werden.

In Spezialfällen, bei denen mehrere ungünstige Faktoren zusammenkommen und/oder bei grossen Bauprojekten lohnt sich der Aufwand für eine Simulation der Luftströmungen mit einem CFD-Programm.