Ingenieurbüro
Matthias Rau
Wind . Wasser . Umwelt

Untersuchung zur Beurteilung der Auswirkung des B-Plans „Gewerbegebiet Langbrühl Ost“ auf den Kaltluftabfluss

Auftraggeber: RBS Wave GmbH
Mittlerer Pfad 2-4
70499 Stuttgart

Durchführung: Ingenieurbüro Rau
Bottwarbahnstraße 4
D-74081 Heilbronn

Dr. rer. nat. D. Dütemeyer
Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie
Kruppstr. 82-100/ETEC
45145 Essen

Heilbronn, 20.06.2019

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung 1

2 Analyse und Vorgehensweise 2

2.1 Analyse 2

2.2 Vorgehensweise 2

3 Ergebnisse 4

3.1 Analyse Ist- und Planfall 4

3.2 Abschätzung eines möglichen Kaltluftstaus im Plangebiet bzw. in der Umgebung 11

4 Gesamtfazit 14

5 Planungshinweise 14

6 Literatur 17

7 Methodikdetails 18

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Numerische Abschätzung der Kaltluftproduktion im Einzugsgebiet der Zone A des Bauvorhabens nach WIESNER (1986). 7

Tab. 2: Numerische Abschätzung der Kaltluftproduktion im Einzugsgebiet der Zonen A + B des Bauvorhabens nach WIESNER (1986). 7

Tab. 3: Empfehlungen der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ (VDI 2003) zur abschätzenden Beurteilung der Auswirkungen der Veränderungen der Kaltluftproduktion. 8

Tab. 4: Theoretische Kaltlufthöhen und -fließgeschwindigkeiten ausgewählter Kaltluftabflussbahnen im Untersuchungsraum (berechnet nach DEFANT (1933) und BRIGGS (1979)). 9

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Relief und Kaltluftabflussbahnen im Bereich des Plangebietes. 5

Abb. 2: Kaltluftproduktionsflächen und -abflussbahnen im Bereich des Plangebietes. 6

Abb. 3: Kaltluftabflussbahnen und Strömungshindernisse im unmittelbaren Umfeld des Plangebietes. 10

Abb. 4: Vogelperspektive des Plangebietsumfeldes (Blick nach SW). 11

Abb. 5: Geländequerschnitt mit Kaltluftstaubereichen unter Berücksichtigung von Strömungshindernissen. 12

Abb. 6: Beispiel einer großräumigen KL-Abschätzung (STOCKS (2018)). 13

Abb. 7: Strömung lokaler Kaltluft bei einer Gebäudehöhe im Plangebiet von größer 5 m (nordöstlicher Rand) bis 7 m (südöstlicher Rand). 15

Abb. 8: Mögliche Gebäudeanordnung innerhalb des Plangebiets unter Berücksichtigung der Kaltluftströmungen im Bereich des Plangebiets. 16

1 Zielsetzung

Die Gemeinde Hagnau/Bodenseekreis plant ein Gewerbegebiet (Gewerbegebiet Langbrühl Ost). Das Gewerbegebiet befindet sich nördlich von Hagnau, östlich der Ittendorfer Straße und westlich des Apfelwegs. Es liegt an einem Hang, der nach Süden nach Hagnau abfällt.

In typischen Kaltluftnächten (Strahlungswetterlage mit nur geringen übergeordneten Windgeschwindigkeiten) dürften sich im Bereich der unversiegelten Hänge westlich bis östlich des B-Plangebietes nach Sonnenuntergang Hangabwinde ausbilden, die teilweise über das B-Plangebiet abströmen. Diese haben vor allem in den ersten Nachtstunden nur eine geringe Schichtdicke und Fließgeschwindigkeit und reagieren aus diesem Grund besonders empfindlich auf Störungen. Ein Landwirt, der Wirtschaftsflächen oberhalb (nordöstlich) des Plangebietes besitzt, fürchtet, dass durch eine Behinderung des Kaltluftabflusses oder sogar einen Aufstau seine Nutzflächen beeinträchtigt werden. Das Landratsamt Bopdenseekreis hat diesbezüglich nachgefragt und wünscht eine Untersuchung zur Feststellung einer möglichen Beeinträchtigung.

Klimatisch gesehen besteht die Möglichkeit, dass thermisch bedingte Strömungssysteme (Kaltluftabflüsse), die möglicherweise in den nordwestlich bis nordöstlich angrenzenden Freiflächen entstehen, durch eine Bebauung in Hanglage in ihrem Fließverhalten beeinträchtigt und in ihrer Intensität gemindert werden. Bei ungünstiger Anordnung ist auch ein Kaltluftstau in Luv der Bebauung mit einer Temperaturminderung und dadurch ggf. erhöhten Frostgefahr denkbar.

Das IBRau wurde von der wave GmbH gebeten, im Rahmen einer fachlich qualifizierten Abschätzung unter Berücksichtigung vorhandener Sachdaten Aussagen zu folgenden Punkten zu erarbeiten:

- Abschätzung und Beurteilung der KL-Produktion und der Kaltluftströmungen für den Bereich des Plangebietes für den heutigen Istzustand auf Basis der Auswertung des Kartenmaterials sowie auf Basis von empirischen Abschätzverfahren;
- Beurteilung der möglichen Auswirkungen der Planung hinsichtlich der Kaltluftströmung sowie der Kaltluftproduktion;
- Erarbeitung von Vorschlägen zur Gebäudeanordnung, Gebäudestellung, zur Lage und zu den Dimensionen von Lüftungsschneisen; Erarbeitung von Vorschlägen zur Optimierung des Lokalklimas.

2 Analyse und Vorgehensweise

2.1 Analyse

Großräumige und voll ausgeprägte Kaltluftsysteme, die der Mesoskala zugeordnet werden und eher regionalen Charakter haben, sind einigermaßen unempfindlich gegenüber „Eingriffen“, die die Dimensionen wie die hier zu prüfende Planung haben. Kaltluftabflüsse reagieren umso empfindlicher auf Störungen, je geringer die Ausprägung der Kaltluftströmung hinsichtlich der Schichtdicke, der Kaltluftabflussgeschwindigkeit und somit des Kaltluftvolumenstroms sind und wenn die Mächtigkeit der Kaltluftschicht in ähnlicher Größenordnung wie die geplante Bebauung liegt.

Eine erste Analyse des weiteren Untersuchungsgebietes zeigt, dass tatsächlich im Bereich des Plangebietes eher lokale Kaltluftabflüsse zu erwarten sind. Insofern sind die kleinräumigen Verhältnisse im Plangebiet bzw. in der näheren Umgebung so detailliert wie möglich zu analysieren. Dies umso mehr, da zur Beantwortung der Frage, ob in Luv der geplanten Bebauung ggf. ein Kaltluftaufstau entstehen kann, kleinräumige Geländemodifikationen bzw. die kleinräumige Rauigkeits- und Bewuchsstruktur von Bedeutung sind.

2.2 Vorgehensweise

Um die lokale Kaltluft ohne den Einfluss der weiteren Umgebung in einer möglichst hohen räumlichen Auflösung untersuchen zu können, sind die gängigen Kaltluftmodelle eher weniger geeignet. Die lokalen klimatischen Verhältnisse werden im vorliegenden Fall mittels Analogieschlussverfahren auf indirektem Wege über die Analyse der Klimafaktoren erschlossen.

Hierzu werden auf Basis von Topographiedaten und Informationen mittels empirischer, bewährter Verfahren gemäß der „Kaltluftrichtlinie“ VDI 3787/5 (VDI 2003) die Kaltluftproduktion sowie die Kaltluftströme im Einflussbereich des Bauvorhabens und dessen Auswirkungen überschlagsmäßig abgeschätzt.

Dabei wird die Kaltluftproduktion für verschiedene unversiegelte Oberflächen mit dem auf der ÅNGSTRØM-Gleichung basierenden Ansatz von WIESNER (1986) für den Zeitpunkt der maximalen Inversionshöhe berechnet (zum Berechnungsverfahren siehe Kap. 7). Die Berechnung der Kaltluftabflussgeschwindigkeiten und -höhen erfolgt nach den empirischen Ansätzen von DEFANT (1933) und BRIGGS (1979) über die Hangneigung und die Kaltlufttemperatur (zu den Verfahren siehe Kap. 7).

Im Umfeld des Plangebietes werden diejenigen unbebauten bzw. unversiegelten Flächen bestimmt, die zur Kaltluftproduktion geeignet sind und deren Kaltluftabfluss potenziell auf das Plangebiet einwirken kann. Die Grenze dieser Kaltluftproduktionsgebiete wird durch die Kammlinien bzw. Wasserscheiden des Reliefs oder den Bebauungsrand vorgegeben. Innerhalb der Kaltluftproduktionsgebiete werden die möglichen Kaltluftabflussbahnen anhand der

Hangneigung bestimmt. Zusätzlich werden im potenziellen Wirkbereich der Kaltluftflüsse die den Wind bremsenden Bebauungsränder als Strömungsriegel ausgewiesen.

Auf Basis dieser Informationen wird eine Bewertung vorgenommen. Des Weiteren wird ein Vorschlag zur Gebäudeanordnung und Gebäudestellung sowie der Lage von Lüftungsschneisen erarbeitet, der die Gefahr eines Kaltluftaufstaus in Luv der späteren Bebauung und somit die befürchtete erhöhte Frostgefährdung weitgehend ausschließt.

3 Ergebnisse

3.1 Analyse Ist- und Planfall

Zunächst wurden mittels Reliefanalyse diejenigen Kaltluftproduktionsgebiete bestimmt, aus denen die Kaltluft über das Plangebiet hinweg den tieferen Geländelagen einschließlich der Bebauung zufließen kann. Hierbei handelt es sich um die Hänge von Senken, Mulden und Tälern, deren tiefste Geländerinnen eine durchgehend abschüssige Kaltluftabflussbahn von den oberen Hanglagen über das Baugrundstück bis in die Bebauung bilden. Durch Strömungshindernisse in der Geländerinde, wie z. B. Wälder, Gehölze, Gebäude oder Geländeerhebungen, können Abflussbahnen etwas hangaufwärts verlagert sein.

Anhand der Kammlinien und Wasserscheiden lässt sich das Relief in drei Zonen mit jeweils unterschiedlicher Hauptfließrichtung unterscheiden (Abb. 1).

Zone A ist für das Plangebiet maßgeblich und umfasst das Einzugsgebiet des Dorfweiberbachs, das nach SE entwässert und den tiefsten Geländepunkt am südlich des Plangebietes gelegenen Weiher hat. Von dort aus steigt das Gelände sowohl nach SE als auch nach SW wieder leicht an, um anschließend in die Zonen B und C überzugehen.

In Zone B erfolgt der Kaltluftabfluss ausschließlich über die Südhänge des von NW nach SE verlaufenden Höhenzuges. Diese Zone ist für die Belüftung der Ortschaft maßgeblich. Der Zugang aus der Zone A erfolgt ausschließlich über den Hangdurchbruch an der Ittendorfer Straße. Dieser Durchbruch ist mit einer Breite von ca. 50 m an der Talsohle sowie ca. 110 m in der mittleren Hanghöhe äußerst schmal und enthält neben der ca. 8 m hohen Häuserzeile der Ittendorfer Straße zusätzlich wegbegleitende, ca. 6 m hohe Baumreihen und Gehölze. Der Zugang von Norden ist durch die den Weiher umgebenden Gehölze geprägt. Da diese Gebäude und Gehölze markante Hindernisse für bodennahe Kaltluftströmungen darstellen, ist ein Abfluss aus der Zone A in Zone B fraglich. Die in Abb. 1 dargestellten, großen Abflussbahnen A1-A2-A3, B1-A2-A3 und C1-C2-A3 würden dann am Weiher enden und die Belüftung der Ortschaft dann nur über die Hänge der Zone B (einschließlich Bahn A3) erfolgen.

Die Zone C kann als Verlängerung der Zone A aufgefasst werden, bei der bei ausreichender Kaltluftmächtigkeit die Kaltluft über den Erlengrabenzufluss weiter nach SE Richtung Erlengraben abfließt, ohne allerdings die Bebauung zu erreichen.

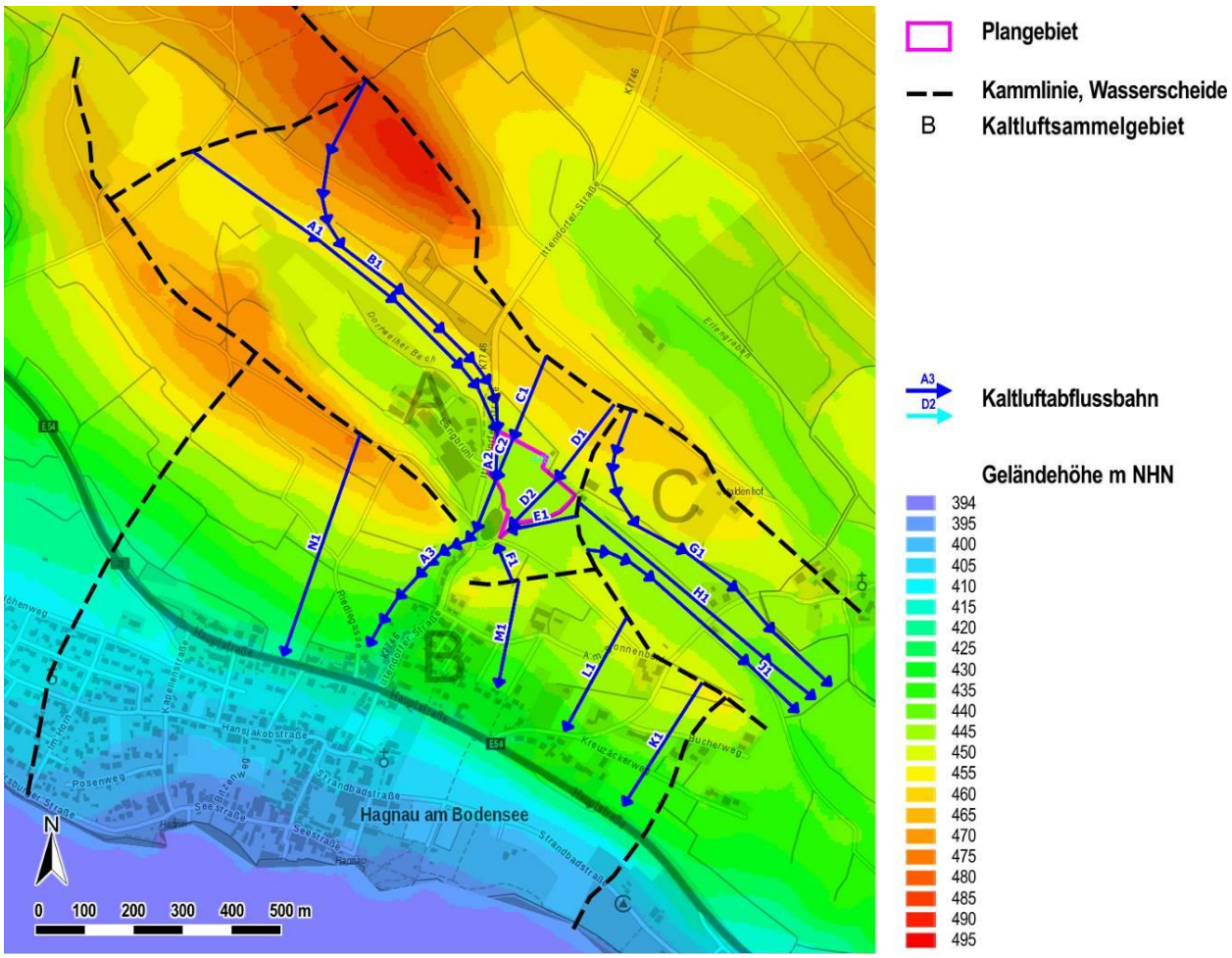
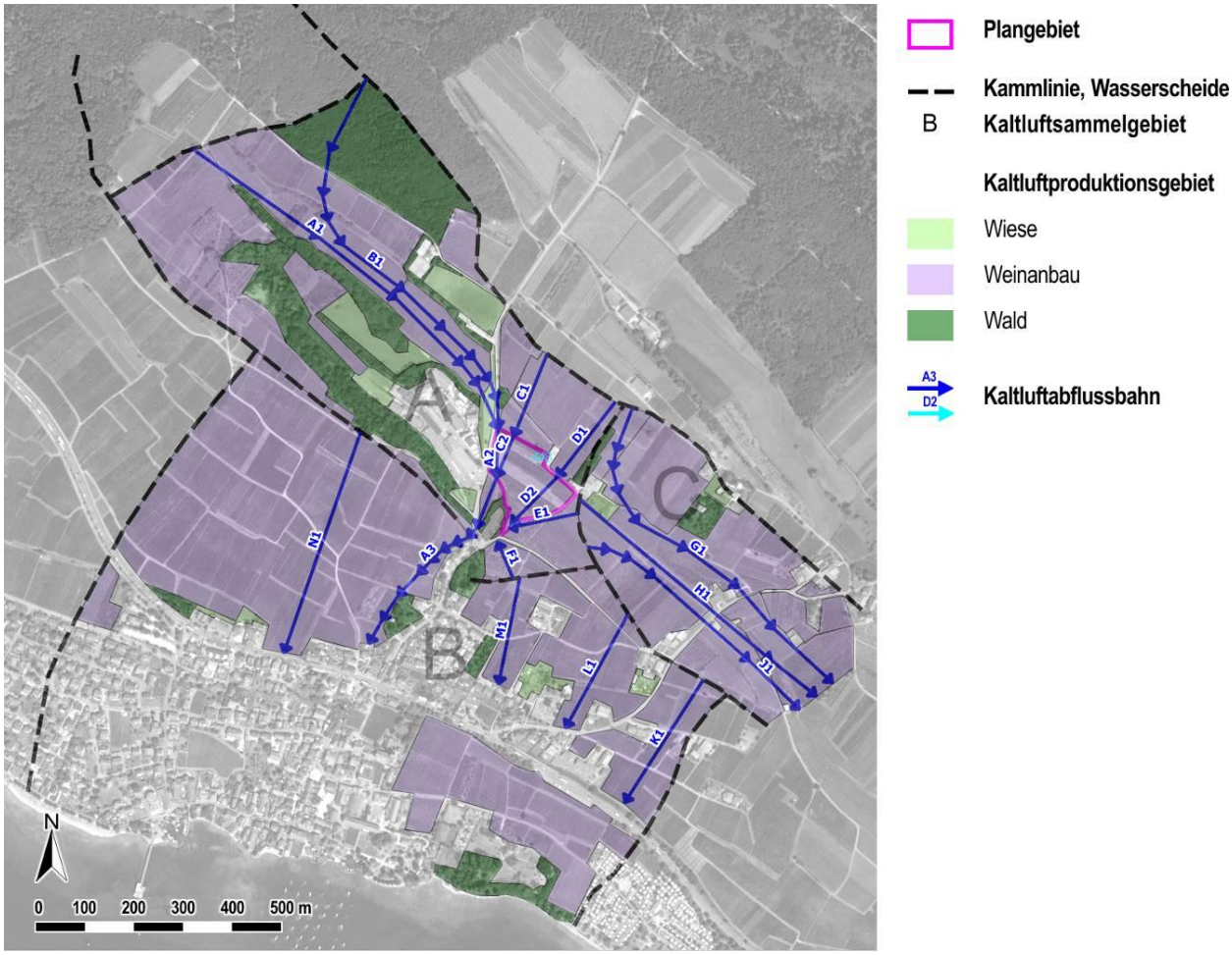


Abb. 1: Relief und Kaltluftabflussbahnen im Bereich des Plangebietes.

Im nächsten Schritt werden für die drei Zonen A, B und C die Kaltlufteinzugsgebiete bestimmt. Hierbei handelt es sich um die Hänge der Kaltluftabflussbahnen, deren äußere Grenzen durch die Kammlinien bzw. Wasserscheiden vorgegeben sind. Dabei werden nur kaltluftproduzierende Flächenbereiche berücksichtigt, hier: Weinbau, Freiland (Wiese) und Wald. Die Kaltluftproduktionsgebiete sind in Abb. 2 dargestellt.

Die Kaltluftproduktionsgebiete in den drei Zonen haben eine Gesamtgröße von 104 ha. Für die Zonen A und B, zu deren Wirkbereich das Plangebiet zählt, wurde nach dem empirisch statistischen Verfahren nach WIESNER (1986) die strahlungsnächtliche Kaltluftproduktion abgeschätzt.



Luftbildquelle: Google Maps/Google Earth 2018, © Google 2018, Kartendaten © 2018 GeoBasisDE/BGK, © 2009 Google

Abb. 2: Kaltluftproduktionsflächen und -abflussbahnen im Bereich des Plangebietes.

In der Zone A ergibt sich für eine Strahlungsnacht im Jahresmittel eine theoretische Kaltluftproduktion von insgesamt 95,5 Mio. m³ (Tab. 1). Im Vergleich dazu beträgt die theoretische Kaltluftproduktion im Plangebiet lediglich 4,3 Mio. m³ bzw. 4,5 % der Kaltluftproduktion im Einzugsgebiet. Im erweiterten Gebietsbereich (Zone A + B, Tab. 2) beträgt im Jahresmittel die theoretische Kaltluftproduktion 200,5 Mio. m³, wobei der Anteil des Plangebietes 2,1 % beträgt. Der Verlust der Planfläche als Kaltluftproduktionsfläche hätte damit keine nennenswerten Auswirkungen auf die Kaltluftproduktion in den Einzugsgebieten, wie die Bewertungstabelle der VDI-Richtlinie (Tab. 3) zeigt: Die Auswirkungen wären mit ≤ 5% als gering einzustufen.

Ferner wurden für die Kaltluftabflussbahnen in den Streckenabschnitten zwischen jeweils höher gelegenem Startpunkt und niedriger gelegenem Endpunkt die Kaltluftschichtdicken und die Strömungsgeschwindigkeiten gemäß der „Kaltluftrichtlinie“ (VDI 2003) empirisch numerisch nach BRIGGS (1979) DEFANT (1933) abgeschätzt (Tab. 4). Dabei wurden die Kaltluftbahnen nach Funktionsgruppen zusammengefasst. Die erste Gruppe umfasst Abflussbahnen der Zone A, die von höheren Hanglagen auf das Plangebiet treffen (Gruppe „Plangebiet Eintrittsseiten (luv)“) und auch im Planfall in ihrer Funktion erhalten bleiben. Im Ist-Zustand durchqueren diese Bahnen das

Plangebiet bis zu dessen leeseitiger Austrittsseite (Gruppe „Plangebiet Austrittsseiten (lee)“), von wo aus ein weiterer Abfluss in Zone B erfolgen könnte (Gruppe „Abfluss aus Plangebiet in Zone B“). Im Planfall würden die Kaltluftbahnen unterbrochen und auf die Bereiche „Plangebiet Eintrittsseiten (luv)“ in Zone A und die Abflussbahn A3 in Zone B reduziert.

Tab. 1: Numerische Abschätzung der Kaltluftproduktion im Einzugsgebiet der Zone A des Bauvorhabens nach WIESNER (1986).

Zone A	**Ist-Zustand**				**Plangebiet**	**Anteil**
	Freiland	Weinbau	Laubwald	**Summe**	Weinbau	
Fläche (ha)	2,9	25,7	12,5	41,2	1,8	4,4%
Normvolumen (m³ / (m² h))						
Frühjahr	16,0	15,5	15,7		15,5	
Sommer	14,6	14,6	13,5		14,6	
Herbst	12,8	12,8	11,8		12,8	
Winter	20,1	19,6	19,9		19,6	
Jahresmittel	15,9	15,6	15,2		15,6	
Gesamtnächtliches Volumen der Teilflächen (Mio. m³)						
Frühjahr	6,8	58,0	28,5	93,3	4,1	4,4%
Sommer	4,0	35,7	16,0	55,7	2,5	4,6%
Herbst	5,4	47,9	21,4	74,7	3,4	4,6%
Winter	11,5	98,5	48,4	158,4	7,0	4,4%
Jahresmittel	**6,9**	**60,0**	**28,6**	**95,5**	**4,3**	**4,5%**

Tab. 2: Numerische Abschätzung der Kaltluftproduktion im Einzugsgebiet der Zonen A + B des Bauvorhabens nach WIESNER (1986).

Zone A + B	**Ist-Zustand**				**Plangebiet**	**Anteil**
	Freiland	Weinbau	Laubwald	Summe	Weinbau	
Fläche (ha)	3,7	67,5	15,0	86,2	1,8	2,1%
Normvolumen (m³ / (m² h))						
Frühjahr	16,0	15,5	15,7		15,5	
Sommer	14,6	14,6	13,5		14,6	
Herbst	12,8	12,8	11,8		12,8	
Winter	20,1	19,6	19,9		19,6	
Jahresmittel	15,9	15,6	15,2		15,6	
Gesamtnächtliches Volumen der Teilflächen (Mio. m³)						
Frühjahr	8,6	152,2	34,3	195,0	4,1	2,1%
Sommer	5,1	93,5	19,2	117,9	2,5	2,2%
Herbst	6,9	125,5	25,8	158,2	3,4	2,2%
Winter	14,6	258,3	58,2	331,1	7,0	2,1%
Jahresmittel	**8,8**	**157,4**	**34,4**	**200,5**	**4,3**	**2,1%**

Tab. 3: Empfehlungen der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ (VDI 2003) zur abschätzenden Beurteilung der Auswirkungen der Veränderungen der Kaltluftproduktion.

Prozentuale Änderung gegenüber dem Ist-Zustand	**≤ 5%**	**≤ 10 %**	**> 10 %**
Auswirkung	Gering	mäßig	hoch

Tab. 4: Theoretische Kaltlufthöhen und -fließgeschwindigkeiten ausgewählter Kaltluftabflussbahnen im Untersuchungsraum (berechnet nach DEFANT (1933) und BRIGGS (1979)).

Kaltluftzone	A												A + B				B						C			
Bezugspunkt	Plangebiet Eintrittsseiten (luv)							Plangebiet Austrittsseiten (lee)					Abfluss aus Plangebiet in Zone B													
Ist-Zustand																										
Abflussbahn	A1	B1	C1	D1	E1	F1	Mittel	A1 + A2	B1+A2	C1+C2	D1+D2	Mittel	A1+A2+ A3	B1+A2+ A3	C1+C2 +A3	Mittel	A3	K1	L1	M1	N1	Mittel	G1	H1	J1	Mittel
Relief																										
Höchster Geländepunkt z in m NHN	460,0	487,0	463,0	463,0	448,0	452,0		460,0	487,0	463,0	463,0		460,0	487,0	463,0		445,0	455,0	450,0	452,0	476,0		463,0	448,0	451,0	
Höchster Geländepunkt z in m NHN	447,0	447,0	446,0	448,0	446,0	446,0		445,0	445,0	445,0	446,0		426,0	426,0	426,0		426,0	430,0	435,0	434,0	435,0		442,0	441,0	440,0	
Höhenunterschied dz in m	13,0	40,0	17,0	15,0	2,0	6,0		15,0	42,0	18,0	17,0		34,0	61,0	37,0		19,0	25,0	15,0	18,0	41,0		21,0	7,0	11,0	
Fließstrecke x in m	836	857	178	189	141	80		932	953	266	323		1.360	1.381	694		428	290	259	216	467		755	611	540	
Hangneigung α in °	0,9	2,7	5,5	4,6	0,8	4,3		0,9	2,5	3,9	3,0		2,6	2,5	3,1		2,5	4,9	3,3	4,8	5,0		1,6	0,7	1,2	
Klimatologie																										
Max. Kaltlufthöhe in m ü. Gr.	2,0	4,2	1,4	1,3	0,3	0,5	1,6	2,2	4,5	1,7	1,7	2,5	4,4	6,5	3,7	4,0	2,0	2,1	1,5	1,5	3,5	2,1	2,6	1,2	1,5	1,8
Max. Kaltluftfließgeschwindigkeit in m/s	0,8	2,0	1,7	1,5	0,3	0,9	1,2	0,9	2,0	1,5	1,4	1,5	1,5	2,5	2,0	2,0	1,4	2,0	1,3	1,7	2,5	1,8	1,2	0,5	0,8	0,9
Max. Kaltluftvolumernstrom in m³/(m² h)	5.642	30.449	8.436	6.992	340	1.769	8.938	6.992	32.761	9.192	8.436	14.345	23.862	57.343	27.089	36.098	9.968	15.045	6.992	9.192	31.598	14.559	11.583	2.229	4.391	6.068
Plan-Zustand																										
Abflussbahn	A1	B1	C1	D1	E1	F1	Mittel	A1	B1	C1	D1	Mittel	A3	A3	A3	Mittel	A3	K1	L1	M1	N1	Mittel	G1	H1	J1	Mittel
Relief																										
Höchster Geländepunkt z in m NHN	460,0	487,0	463,0	463,0	448,0	452,0		460,0	487,0	463,0	463,0		487,0	487,0	463,0		445,0	455,0	450,0	452,0	476,0		463,0	448,0	451,0	
Höchster Geländepunkt z in m NHN	447,0	447,0	446,0	448,0	446,0	446,0		447,0	447,0	446,0	448,0		426,0	426,0	426,0		426,0	430,0	435,0	434,0	435,0		442,0	441,0	440,0	
Höhenunterschied dz in m	13,0	40,0	17,0	15,0	2,0	6,0		13,0	40,0	17,0	15,0		61,0	61,0	37,0		19,0	25,0	15,0	18,0	41,0		21,0	7,0	11,0	
Fließstrecke x in m	836	857	178	189	141	80		836	857	178	189		1.360	1.381	694		428	290	259	216	467		755	611	540	
Hangneigung α in °	0,9	2,7	5,5	4,6	0,8	4,3		0,9	2,7	5,5	4,6		2,6	2,5	3,1		2,5	4,9	3,3	4,8	5,0		1,6	0,7	1,2	
Klimatologie																										
Max. Kaltlufthöhe in m ü. Gr.	2,0	4,2	1,4	1,3	0,3	0,5	1,6	2,0	4,2	1,4	1,3	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	1,5	1,5	3,5	2,1	2,6	1,2	1,5	1,8
Max. Kaltluftfließgeschwindigkeit in m/s	0,8	2,0	1,7	1,5	0,3	0,9	1,2	0,8	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	2,0	1,3	1,7	2,5	1,8	1,2	0,5	0,8	0,9
Max. Kaltluftvolumernstrom in m³/(m² h)	5.642	30.449	8.436	6.992	340	1.769	8.938	5.642	30.449	8.436	6.992	12.880	9.968	9.968	9.968	9.968	9.968	15.045	6.992	9.192	31.598	14.559	11.583	2.229	4.391	6.068
Bilanz																										
Bilanz absolut																										
Max. Kaltlufthöhe in m ü. Gr.	Keine Veränderung							-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-2,3	-4,5	-1,7	-2,8	Keine Veränderung					Keine Veränderung				
Max. Kaltluftfließgeschwindigkeit in m/s								-0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,1	-1,1	-0,7	-0,6										
Max. Kaltluftvolumernstrom in m³/(m² h)								-1.351	-2.312	-755	-1.444	-1.465	-13.894	-47.375	-17.121	-26.130										
Bilanz relativ																										
Max. Kaltlufthöhe in m ü. Gr.	Keine Veränderung							-12,3%	-6,6%	-15,8%	-23,1%	-12,2%	-53,9%	-68,9%	-45,4%	-58,4%	Keine Veränderung					Keine Veränderung				
Max. Kaltluftfließgeschwindigkeit in m/s								-8,0%	-0,5%	9,0%	7,7%	2,8%	-9,5%	-44,1%	-32,6%	-31,5%										
Max. Kaltluftvolumernstrom in m³/(m² h)								-19,3%	-7,1%	-8,2%	-17,1%	-10,2%	-58,2%	-82,6%	-63,2%	-72,4%										

Am luvseitigen Rand des Plangebietes kommen die Kaltluftflüsse mit einer Fließgeschwindigkeit von bis zu 2 m/s mit einer mittleren Höhe von 1,6 m bis maximal 4,2 m an. Nach Durchströmen des Plangebietes erreicht an dessen Austrittseiten die Kaltluft eine geringfügig höhere Maximalmächtigkeit von 4,5 m. Dieses entspricht einem Anstieg des Kaltluftvolumenstroms von ca. 10 %, der im Planzustand verloren ginge.

Der weitere Abfluss über die Ittendorfer Straße nach SW in die Zone B in Richtung Bebauung würde aufgrund der sehr langen Fließstrecken A1-A2-A3, B1-A2-A3 und C1-C2-A3 am Bebauungsrand einen deutlichen Anstieg der Kaltluftmächtigkeit auf bis zu 6 m sowie des Kaltluftvolumenstroms um ca. 58 % bedeuten. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit dieses Abflusses sehr gering, wie Abb. 3 zeigt.

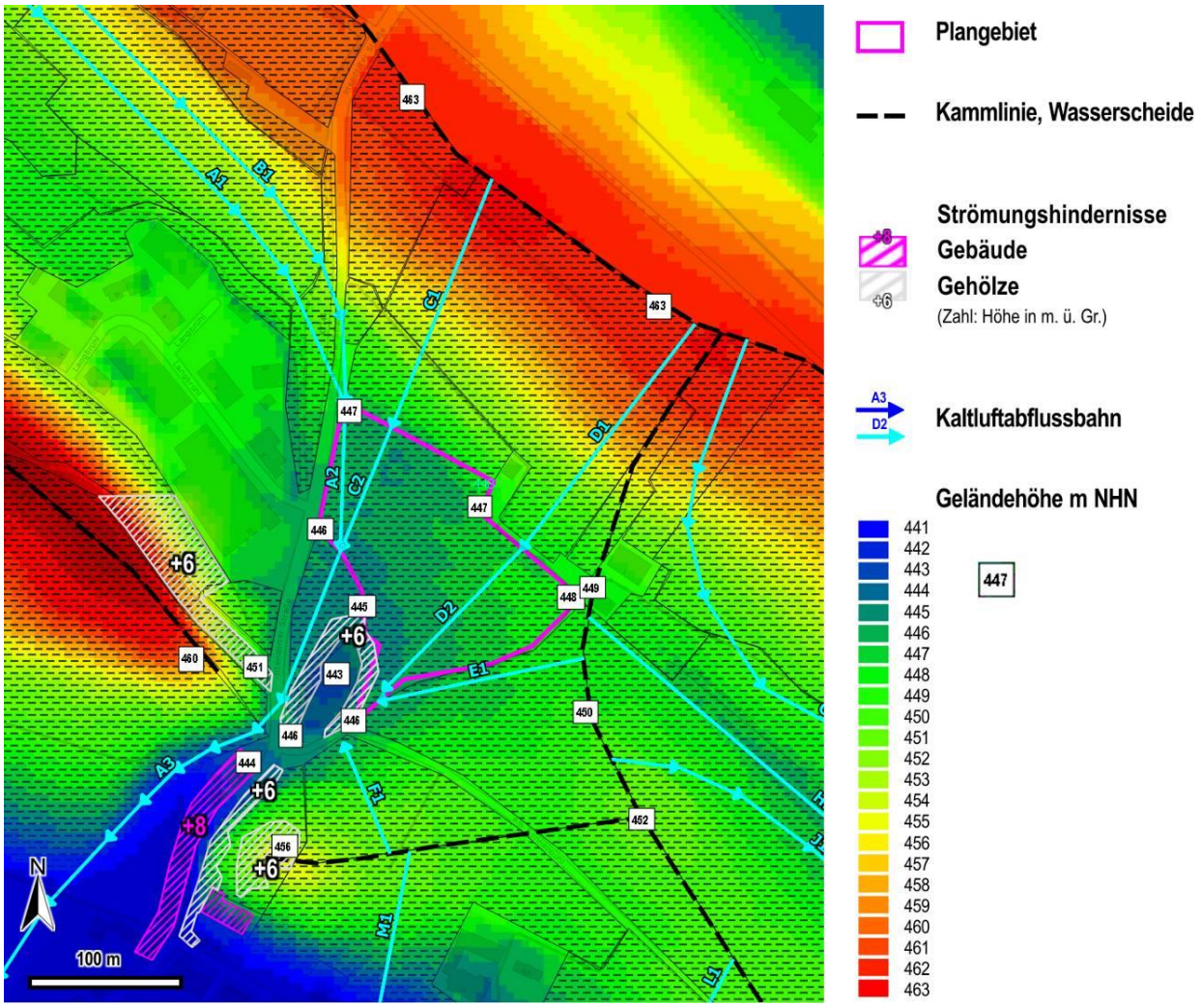
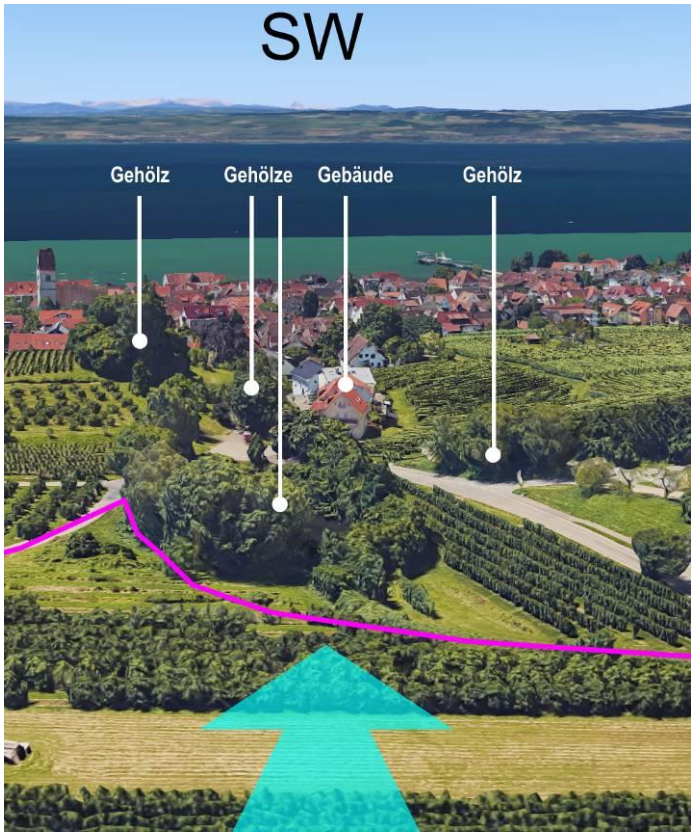


Abb. 3: Kaltluftabflussbahnen und Strömungshindernisse im unmittelbaren Umfeld des Plangebietes.

Zunächst liegt der Höhendurchbruch an der Ittendorfer Straße ca. 3 m höher als der Weiher und ist mit einer Breite von ca. 50 m an der Talsohle sowie ca. 110 m in der mittleren Hanghöhe äußerst schmal, sodass der vertikale Strömungsquerschnitt sehr eingeengt ist. Ferner befinden sich in der Talsohle die ca. 8 m hohe Häuserzeile der Ittendorfer Straße sowie ca. 6 m hohe

Gehölze entlang der Straße und auf den unteren Hängen, die zusammen mit den Gehölzen des Weihers markante Strömungshindernisse darstellen, die den Hangdurchbruch blockieren (Abb. 4).



Luftbildquelle: Google Maps/Google Earth 2018, © Google 2018, Kartendaten © 2018 GeoBasis-DE/BGK, © 2009 Google

Abb. 4: Vogelperspektive des Plangebietsumfeldes (Blick nach SW).

Die großen Abflussbahnen A1-A2-A3, B1-A2-A3 und C1-C2-A3 enden daher am Weiher. Die Belüftung der Ortschaft erfolgt nur über die Hänge der Zone B (einschließlich Bahn A3), während die Kaltluftabflüsse aus der Zone A über das Plangebiet hinweg nach SW in Zone C (Erlengraben) umgelenkt würden.

3.2 Abschätzung eines möglichen Kaltluftstaus im Plangebiet bzw. in der Umgebung

Für den **Planfall** ist von Interesse, inwieweit durch eine etwaige Bebauung mit einem **Kaltluftstau** im Plangebietsbereich zu rechnen ist, der die umliegende Landwirtschaft beeinträchtigen könnte. Im günstigsten Fall liegt bereits im Ist-Zustand ein Kaltluftstau vor, und die Höhe der neuen Gebäude ist niedriger als die Mächtigkeit des gestauten Kaltluftsees, sodass die neuen Gebäude vollständig im Kaltluftsee liegen. In diesem Fall hätte das Bauvorhaben keine Folgen für die umliegenden Landwirtschaftsflächen. Die Möglichkeiten eines Kaltluftstaus im Ist-Zustand sind in Abb. 5 dargestellt.

Bei ausschließlicher Berücksichtigung des Reliefs würde sich lediglich im Bereich der Senke des Weihers ein 3 m mächtiger Kaltluftsee (A) bilden, der etwa zur Hälfte in das Plangebiet hineinreicht. Da aber die Gebäude und Gehölze am Hangdurchbruch an der Ittendorfer Straße einen Strömungsriegel für einen ungehinderten Kaltluftabfluss bilden (vgl. vorige Seite), wird sich die Kaltluft mindestens bis zur Höhe der Strömungsriegel aufstauen. Die Stauhöhe im Plangebietsbereich reicht, bezogen auf die Weihergehölze als Stauelement, von 4 m ü. Gr. am oberen Hang bis 6 m ü. Gr. am unteren Hang (Kaltluftsee B). Bei Einbeziehung des Hangdurchbruchs an der Ittendorfer Straße entsteht der Kaltluftsee C, der im Plangebietsbereich eine Stauhöhe von 5 m ü. Gr. am oberen Hang bis 7 m ü. Gr. am unteren Hang aufweist.

Wenn somit die geplanten Gebäude bezogen auf den oberen Hang eine Höhe von 5 m nicht überschreiten, sollten keine Auswirkungen bezüglich eines Kaltluftstaus auftreten.

Sollten die Gebäude am oberen Hang höher als 5 m sein, würde ein Kaltluftstau lediglich an der NW-Seite im Bereich der Gebäude gegenüber dem Zufahrtsbereich an der Ittendorfer Straße auftreten (vgl. Abb. 3), sodass dort keine Landwirtschaftsflächen betroffen wären. Für die nordwestlich und südöstlich an das Plangebiet grenzenden Landwirtschaftsflächen ist bei höheren Gebäuden ebenfalls nicht mit einem Kaltluftstau zu rechnen, da durch das Relief eine Umlenkung des Kaltluftstroms nach Südost Richtung Erlengraben wahrscheinlich ist.

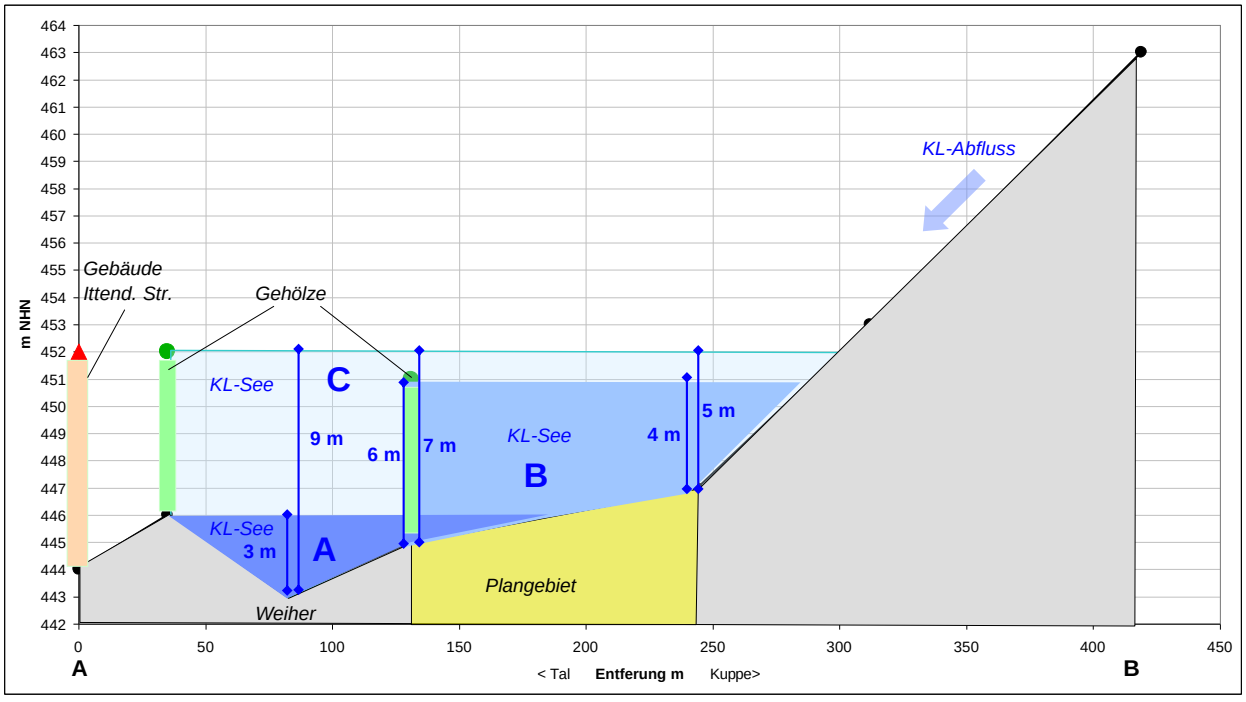


Abb. 5: Geländequerschnitt mit Kaltluftstaubereichen unter Berücksichtigung von Strömungshindernissen.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die hiesige Untersuchung ausschließlich lokale Kaltluftprozesse berücksichtigt. Frühere Untersuchungen zeigen jedoch, dass auch im größeren (regionalen) Umkreis Kaltluftprozesse stattfinden, welche die hiesigen lokalen Kaltluftprozesse überlagern können, indem sie aufgrund höherer Kaltluftschichtdicken und Fließgeschwindigkeiten die lokale Kaltluft umlenken. Das Beispiel in Abb. 6 zeigt eine Umlenkung der lokalen Kaltluftströme nach Süden. In dem Beispiel scheint die Kaltluftströmung mächtig genug zu sein, um in Richtung Süden den von NW nach SE verlaufenden Höhenzug zu überwinden. Da der Höhenzug höher als die neu geplanten Gebäude sein dürfte, wäre auch in diesem Fall nicht mit einem Kaltluftstau im Plangebietsbereich zu rechnen.

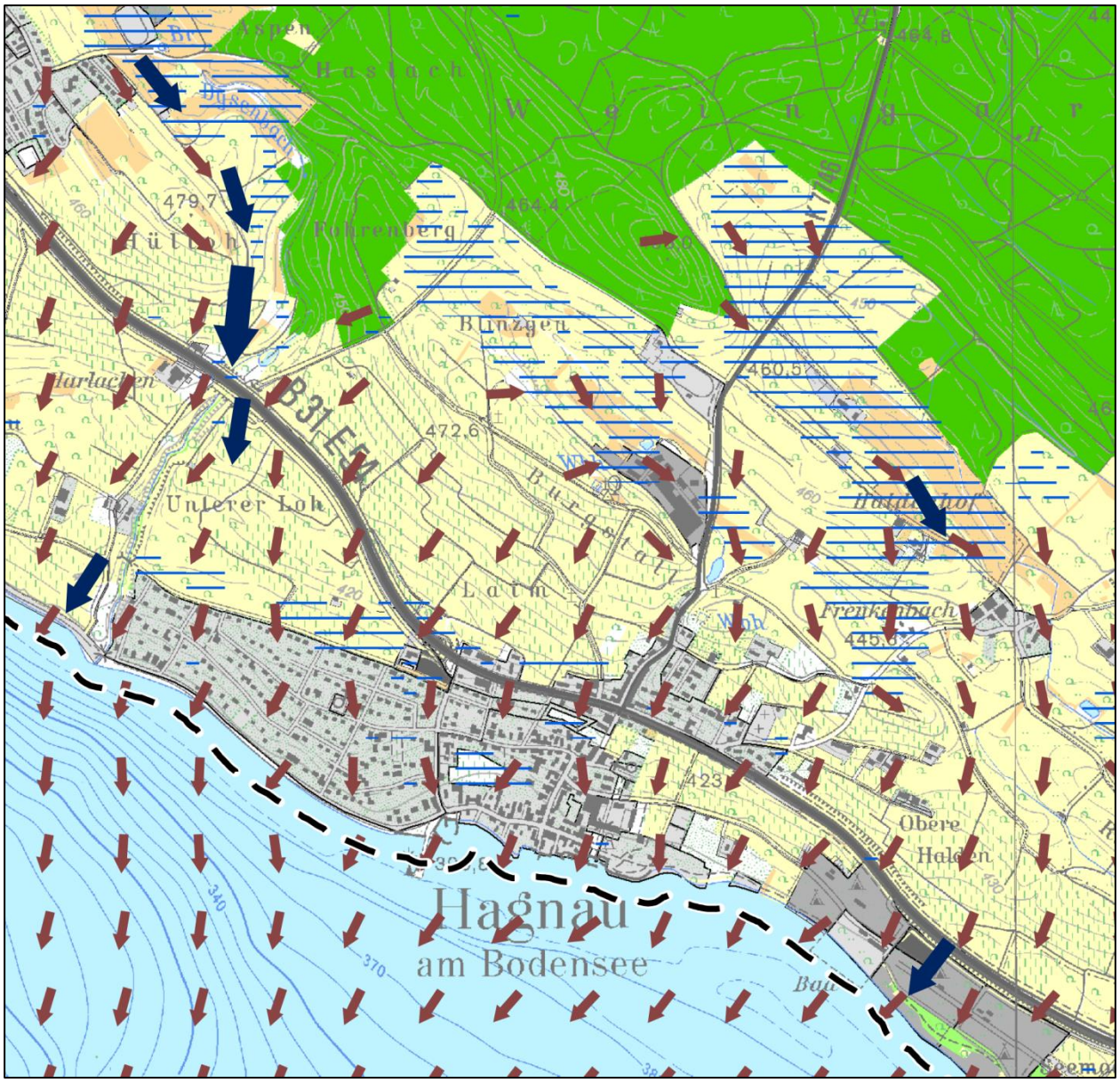


Abb. 6: Beispiel einer großräumigen KL-Abschätzung (STOCKS (2018)).

4 Gesamtfazit

Die detaillierte Betrachtung des lokalen Kaltluftgeschehens unter Berücksichtigung der kleinräumigen Topographie, des Bewuchses und der Bebauung des Istzustandes zeigt Folgendes:

- Bereits im heutigen Istzustand kann sich in Kaltluftnächten im Plangebiet ein Kaltluftsee ausbilden. Durch eine Bebauung mit einer Gebäudehöhen von 12,5 m am oberen (nordöstlichen) Hang ist lokal eine Vergrößerung des Kaltluftsees möglich, die aber lediglich die Gebäude gegenüber dem Zufahrtsbereich an der Ittendorfer Straße tangiert und nicht die nordöstlich gelegenen Rebflächen.
- Bei einer Bebauungshöhe von 12,5 m (wie geplant) wird die Kaltluft entweder entlang der nordöstlichen Plangebietsgrenze oder aber über die Ittendorfer Straße abströmen, wie in Abb. 7 dargestellt. Ein Abfluss ist somit unter Berücksichtigung der kleinräumigen Topographie gewährleistet.

5 Planungshinweise

- Eine Orientierung der Längsachsen der geplanten Gebäude in NW-SO-Richtung (entsprechend der Strömungsrichtung am nordöstlichen Rand des Plangebietes) wird empfohlen, um einer Über- bzw. Umströmung des Plangebietes möglichst wenig Widerstand entgegenzusetzen.
- Eine Lüftungsschneise innerhalb des Plangebiets ist nicht dringend erforderlich, wird aber aus Gründen des Komforts innerhalb des Plangebiets empfohlen.
- Innerhalb des Plangebiets ist zur Optimierung der lokalklimatischen Verhältnisse auf eine ausreichende Begrünung zu achten. Denkbar wären Fassadenbegrünungen an den nach Südwest orientierten Fassaden, alternativ Baumpflanzungen. Dachbegrünungen von Hallendächern fungieren als Retentionsflächen bei Regen und liefern einen Beitrag zur Verringerung der Wärmelast bei Sonneneinstrahlung. Bei Parkierungsflächen sind unversiegelte Flächen mit der Möglichkeit der Wasserversickerung und –speicherung in Betracht zu ziehen.

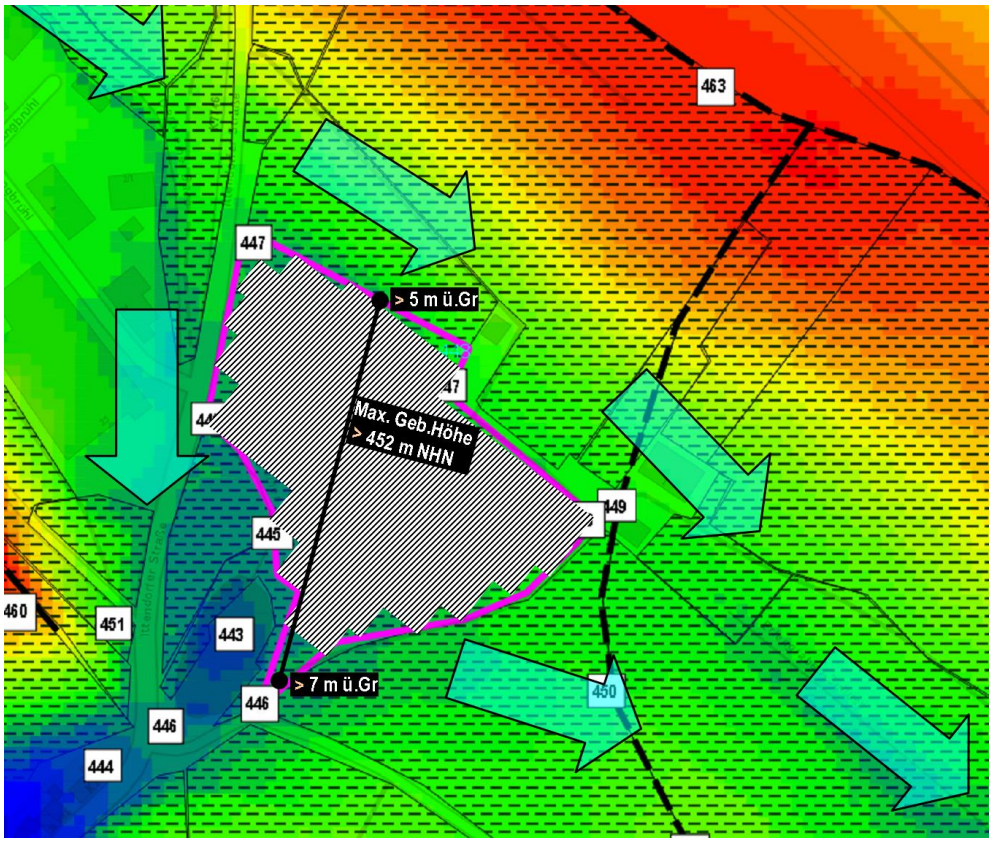


Abb. 7: Strömung lokaler Kaltluft bei einer Gebäudehöhe im Plangebiet von größer 5 m (nordöstlicher Rand) bis 7 m (südöstlicher Rand).

In Abb. 8 ist zur Verdeutlichung eine mögliche Bebauung unter Berücksichtigung der Empfehlungen dargestellt. Die Gebäude sind an der nordöstlichen Bebauungsgrenze so orientiert, dass die Kaltluft wie in Abb. 7 dargestellt auch bei einer Gebäudehöhe von 12,5 m nach Südost abfließen kann und sich nicht in Richtung Nordost staut. Des Weiteren ist im Bereich des Wendehammers eine Durchströmung des Gebiets zwischen den nordöstlichen und südlichen Gebäuden möglich.

Heilbronn, 20.06.2019

M. Rau

(Dipl.-Ing. M. Rau)

Abb. 8: Mögliche Gebäudeanordnung innerhalb des Plangebiets unter Berücksichtigung der Kaltluftströmungen im Bereich des Plangebiets.

6 Literatur

BRIGGS, G. A. (1979): Analytic modelling of drainage flows. Washington (= Draft document, atmospheric turbu-lence and diffusion laboratory, NOAA), 1979

DEFANT, F. (1933): Der Abfluss schwerer Luftmassen auf geneigtem Boden nebst einigen Bemerkungen zur Theorie stationärer Luftströme. In: Sitzungsberichte der preußischen Akademie der Wissenschaften, Physika-lisch-mathematische Klasse 18 (1933), S. 624/635

STOCKS, B. (2018): Umweltverträglichkeitsstudie zur Linienfindung – B31 neu, Meersburg / West-Immenstaad; Karte 7: Schutzgut Luft und Klima. Büro für Umweltsicherung und Infrastrukturplanung.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2003) –: VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5, Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. Düsseldorf.

WIESNER, K. P. (1986): Programme zur Erfassung von Landschaftsdaten, eine Bodenerosionsgleichung und ein Modell der Kaltluftentstehung. = Heidelberger Geogr. Arb., 79. Heidelberg, 83 S.

7 Methodikdetails

A) Berechnung der Kaltluftproduktion nach Wiesner

Die Kaltluftproduktion auf verschiedenen Oberflächen wird nach Wiesner (1986) für den Zeitpunkt der maximalen Inversionshöhe folgendermaßen berechnet:

$$V_{KL} = \frac{\alpha_{ST}\varepsilon(a - b10^{-ce})(T_{KL} - T_B)\Delta t A_F}{\rho_L c_p \Delta T_R} \quad [m^3]$$

mit	V_{KL}	: Kaltluftvolumen	[m^3]
	α_{ST}	: Strahlungsübergangskoeffizient	[W m^{-2} K^{-1}]
	ε	: thermischer Emissionskoeffizient	[1]
	a, b, c	: empirische Ångstrøm-Konstanten der langwelligen Ausstrahlung; a = 0,820; b = 0,250; c = 0,126	[1]
	e	: aktueller Dampfdruck	[hPa]
	T_{KL}	: absolute Kaltlufttemperatur	[K]
	T_B	: absolute Lufttemperatur in Bodennähe	[K]
	Δt	: Andauer der Ausstrahlung	[s]
	A_F	: Ausstrahlungsfläche	[m^2]
	ρ_{KL}	: Kaltluftdichte	[kg m^{-3}]
	c_p	: spezifische Wärmekapazität trockener Luft bei konstantem Druck; c_p = 1004,67	[J kg^{-1} K^{-1}]
	ΔT_R	: Betrag der Strahlungsabkühlung der Luft	[K]

Verwendete Konstanten:

Spez. Wärme	[J m^{-3} K^{-1}]	1004,67
Ångstrøm - konstanten [1]	a	0,820
	b	0,250
	c	0,126

		Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Thermischer Emissions-koeffizient [1]	Wiese	0,975	0,975	0,975	0,975
	Brach	0,950	0,950	0,950	0,950
	Acker	0,940	0,960	0,960	0,940
	Laubwald	0,940	0,900	0,900	0,940
	Nadelwald	0,900	0,900	0,900	0,900
	Wasser	0,930	0,930	0,930	0,930
Strahlungsübergangskoeffizient	[W m^{-2} K^{-1}]	5,090	5,930	5,370	4,560
T_{KL}-T_B	[K]	3,00	1,70	2,40	3,90
Strahlungsabkühlung	[K]	2,00	1,50	2,10	1,80
Dampfdruck	[hPa]	8,00	12,60	8,00	6,30
Nachtlänge	[h]	14,00	9,00	14,00	17,00

B) Berechnung der Kaltlufthöhe und -fließgeschwindigkeit nach Defant und Briggs

Die Kaltluftabflussgeschwindigkeit wird nachfolgender Gleichung von Defant (1933) abschätzt:

$$\upsilon_A = \sqrt{\frac{g h_{KL}}{\mu} \frac{\theta - \theta_{KL}}{\theta} \sin \alpha_H} \qquad [m\ s^{-1}]$$

mit υ_A : Abflussgeschwindigkeit [m s^{-1}]

g : Normschwerebeschleunigung; g = 9,80665 [m s^{-2}]

h_{KL} : vertikale Kaltluftmächtigkeit [m]

μ : DEFANTsche Reibungskonstante; hier: 0,008 [1]

θ : potenzielle Lufttemperatur (über der Kaltluft), hier: 16 °C [K]

θ_{KL} : potenzielle Kaltlufttemperatur, hier 11 °C [K]

α_H : Hangneigung [°]

Die hierbei zu bestimmende Vertikalmächtigkeit der hangabfließenden, bodennahen Kaltluftteilschicht h_{KL} lässt sich mit hinreichender Genauigkeit für rauigkeitsarme Flächen mit einer Steigung ≤ 5° nach dem Ansatz von Briggs (1979) berechnen:

$$h_{KL} = 0{,}0375 \sin \alpha_H{}^{2/3} x_{KL} \quad [\text{m}]$$

mit	h_{KL}	:	strömungswirksame Kaltluftmächtigkeit	[m]
	α_H	:	Hangneigung	[°]
	x_{KL}	:	zurückgelegte Fließstrecke	[m]

C) Berechnung der Flurwindgeschwindigkeit nach Dütemeyer

Die sich während eines Flurwindereignisses ergebende theoretisch maximale Windgeschwindigkeit ist u. a. abhängig von dem horizontalen Temperaturgradienten zwischen Stadt und Umland und lässt sich nach Dütemeyer (2000a) wie folgt berechnen

$$u_{\text{FWmax}} = \sqrt{21{,}672 \cdot \frac{\partial T_{\text{L(S-U)}}}{\partial x_{\text{(S-U)}}}} \quad [\text{m s}^{-1}]$$

Die reale Flurwindgeschwindigkeit lässt sich unter Berücksichtigung der maximalen aerodynamischen Oberflächenrauigkeit entlang der Fließstrecke abschätzen Dütemeyer (2000b)

$$u_{FWreal} = \sqrt{\frac{\frac{\partial T_{\text{L(S-U)}}}{\partial x_{\text{(S-U)}}}}{4 \cdot \sqrt[5]{z_{0\,\text{max.}}}}\ 0.71} \quad [\text{m s}^{-1}]$$

mit	u_{FWmax}	:	maximale Flurwindgeschwindigkeit	[m s^{-1}]
	u_{FWreal}	:	reale Flurwindgeschwindigkeit	[m s^{-1}]
	$\frac{\partial T_{\text{L(S-U)}}}{\partial x_{\text{(S-U)}}}$	:	Lufttemperaturgradient zwischen Stadt und Umland	[K km^{-1}]
	$Z_{0\text{max.}}$	:	maximale aerodynamische Oberflächenrauigkeit entlang der Fließstrecke	[m]