



Mögliche klimatische Auswirkungen der geplanten Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach

Auftraggeber: Planungs- und Baurechtsamt
Stadt Heilbronn
Cäcilienstraße 45
74072 Heilbronn

Durchführung: Ingenieurbüro Rau
Bottwarbahnstraße 4
D-74081 Heilbronn

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	3
2	Untersuchungsgebiet.....	4
3	Methodik	7
4	Ergebnisse.....	8
4.1	Thermisches Niveau der austauscharmen Wetterlagen.....	8
4.2	Kaltluftprozesse.....	9
4.2.1	Mesoskalige Kaltluftprozesse.....	9
4.2.2	Lokale Kaltluftprozesse	10
5	Fazit und Empfehlung	15
6	Arbeitsmaterialien und Literatur	16
	Anhang.....	17

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Größe der Kaltluftproduktionsgebiete im Wirkungsbereich des geplanten Bauwerkes zur Querung des Wächtelestals.....	11
Tab. 2:	Theoretische Kaltlufthöhen und -fließgeschwindigkeiten ausgewählter Kaltluftabflussbahnen im Wirkungsbereich des geplanten Bauwerkes zur Querung des Wächtelestals (berechnet nach DEFANT (1933) und BRIGGS (1979)).....	13

Abbildungsverzeichnis

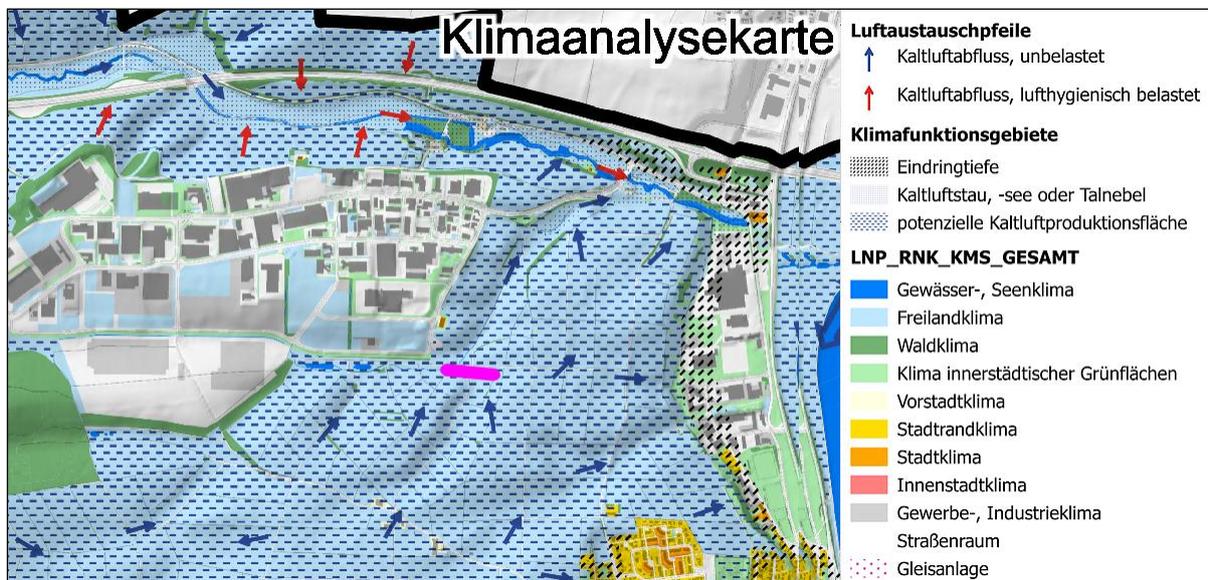
Abb. 1:	Auszug aus der Klimaanalysenkarte Heilbronn (Datenquelle. KLIMAANALYSE HEILBRONN 2016).	3
Abb. 2:	Luftbild (oben) und Relief (unten) des Gebietes im potenziellen Einflussbereich des geplanten Bauwerkes zur Querung des Wächtelestals (Bildquelle: Google Earth, Kartengrundlage: TK10).	5
Abb. 3:	Planentwürfe des Bauwerkes zur Querung des Wächtelestals in verschiedenen maßstabsgerechten Ansichten (a) Aufsicht, b) Aufriss Brückenvariante, c) Aufriss Dammvariante) (STADT HEILBRONN 2017, ergänzt).....	6
Abb. 4:	Mittlere Anomalie der Lufttemperaturverteilung in 2 m ü. Gr. in der 2. Nachthälfte austauscharmer Strahlungstage im Untersuchungsraum Wächtelestal, bezogen auf eine durchschnittliche Gebietsmitteltemperatur von 20,9 °C (Datenquelle. KLIMAANALYSE HEILBRONN 2016).	8

Abb. 5: Mesoskalige Kaltluftströmungen in 10 m ü. Gr. um 1 Uhr nachts während austauscharmer Strahlungswetterlagen im Untersuchungsraum Wächtelstal (Datenquelle. KLIMAANALYSE HEILBRONN 2016)..... 10

Abb. 6: Kaltluftproduktionsgebiete und Kaltluftabflussbahnen im Wirkungsbereich des geplanten Bauwerkes zur Querung des Wächtelstals (Kartengrundlage: TK10). 12

1 Einleitung und Zielsetzung

Zwischen dem Heilbronner Industrie-/Gewerbegebiet Neckarau und dem Gewerbegebiet Böllinger Höfe ist der Bau der Verbindungsstraße „Nordumfahrung Frankenbach / Neckargartach“ geplant. Die Nordumfahrung verbindet die Neckartalstraße im Osten mit der B39 westlich der Böllinger Höfe. Die Strecke verläuft dabei im Gewann Wächtelestal über den Wächtelesgraben östlich der Böllinger Höfe. Dieses Gebiet ist laut KLIMAANALYSE HEILBRONN (2016) dem Freilandklimatopbereich zuzuordnen ist (**Abb. 1**). Da dieser Gebietsbereich neben der allgemeinen klimatischen Wohlfahrtswirkung strahlungs nächtliche bodennahe Kaltluftflüsse aufweist, die zur Belüftung des Gebietes Neckarau beitragen können, ist zu prüfen, ob für die Querung des Wächtelesgrabens als Bauwerk eine Brücke oder ein Damm die klimatisch bessere Lösung darstellt. Im Rahmen dieser Stellungnahme wird genau diese Fragestellung untersucht und beantwortet.



Pink: Geplantes Bauwerk zur Querung des Wächtelesgrabens

Abb. 1: Auszug aus der Klimaanalysenkarte Heilbronn (Datenquelle. KLIMAANALYSE HEILBRONN 2016).

2 Untersuchungsgebiet

Das Wächtelestal/Gewann Wächtelesäcker gehört zu den weitläufigen Landwirtschaftsflächen auf den nach Norden abfallenden Anhöhen zwischen Frankenbach im Süden und dem Böllinger Bachtal im Norden (**Abb. 2**). Im Nordwesten des Gebietsbereiches liegt auf einer Kuppe das Gewerbegebiet Böllinger Höfe. Östlich des Gebietsbereichs liegt das Industrie-/Gewerbegebiet Neckarau in der Neckartalsole. Für die Landwirtschaftsflächen zwischen Frankenbach und Böllinger Bachtal stellt das Wächtelestal die einzige Abflussmöglichkeit in das Böllinger Bachtal dar, sodass davon auszugehen ist, dass während austauscharmer Strahlungsnächte bodennahe Kaltluft ausschließlich über diese Route in das Böllinger Bachtal abfließt. Über das Böllinger Bachtal wird zudem das Gebiet Neckarau belüftet.

Die geplante Nordumfahrung quert das Wächtelestal an dessen oberen Talende (zur räumlichen Lage siehe **Abb. 2** unten). Die Querung verläuft maximal 8 m über dem Talgrund und hat eine Länge von 74 m am Talboden und 90 m auf Fahrbahnhöhe (**Abb. 3**). Der vertikale Querschnitt zwischen Talboden und Fahrbahn hat eine Durchtrittsfläche von ca. 650 m². Dabei stehen als Bauweisen sowohl eine Brücke (**Abb. 3a/3b**) als auch ein Damm bzw. eine Aufschüttung (**Abb. 3c**) zur Diskussion. Ein Damm wäre zulässig, wenn die vertikale Mächtigkeit der Kaltluftströme so groß wäre, dass der Damm überströmt werden kann. Sollten die Kaltluftströme jedoch flacher sein als die Höhe des Bauwerkes, ist die Brücke zu favorisieren, damit die Kaltluft abfließen kann.

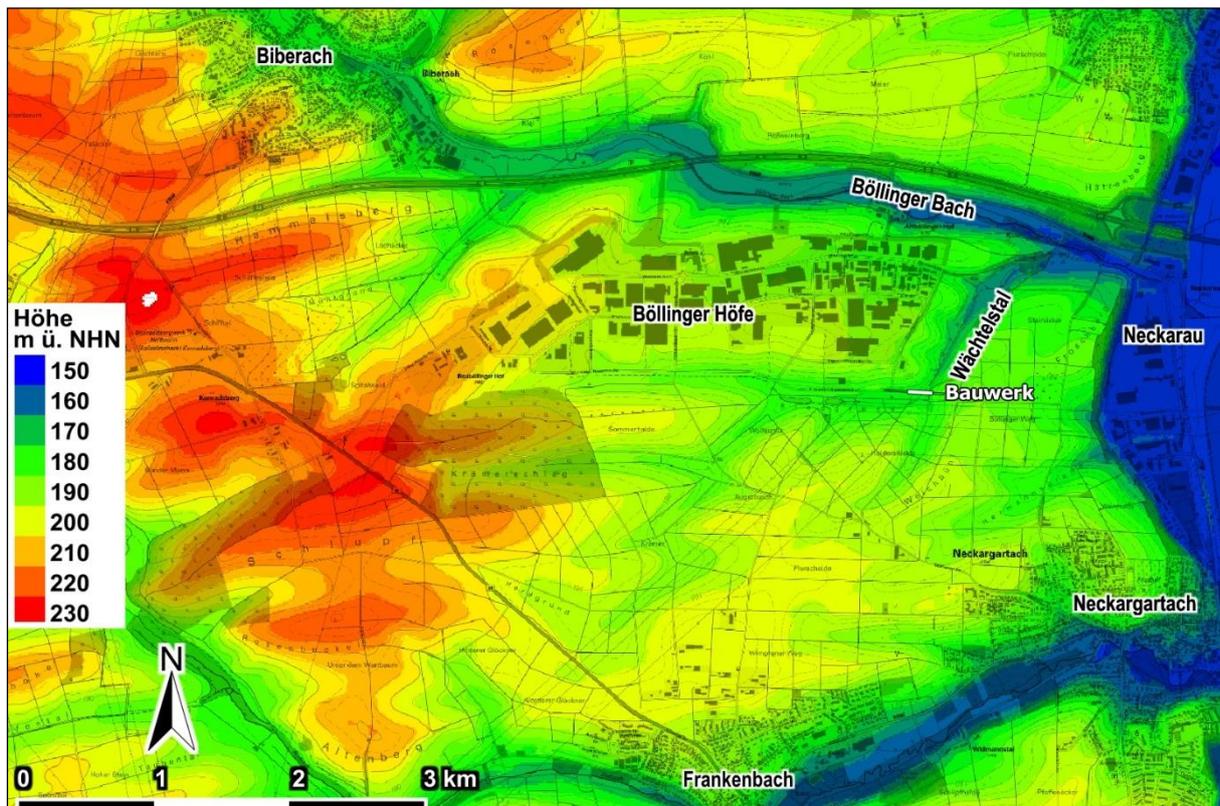


Abb. 2: Luftbild (oben) und Relief (unten) des Gebietes im potenziellen Einflussbereich des geplanten Bauwerkes zur Querung des Wächtelestals (Bildquelle: Google Earth, Kartengrundlage: TK10).

3 Methodik

Bei dieser Ersteinschätzung werden keine experimentellen Methoden oder Messmethoden verwendet. Die Einschätzung erfolgt auf Basis bereits vorhandener klimatischer Sachdaten sowie einiger empirisch-statistischer Schätzverfahren. Diese Datenquellen liefern bereits umfangreiche Informationen, die eine plausible Einschätzung des Planvorhabens erlauben.

In der aktuellen KLIMAANALYSE HEILBRONN (2016) liegen für das Untersuchungsgebiet Lufttemperatur-, Wind- und Kaltluftdaten vor. Sie umfassen die strahlungsnightliche Lufttemperaturverteilung und strahlungsnightliche Kaltluftprozesse auf der Mesoskala. Anhand dieser Daten kann das Klima im Untersuchungsgebiet bereits in Grundzügen beschrieben werden.

Die lokalen klimatischen Verhältnisse werden mittels Analogieschlussverfahren auf indirektem Wege über die Analyse von Klimafaktoren erschlossen. Dabei werden die thermischen und durchlüftungsrelevanten Bedingungen zur strahlungsnightlichen Kaltluftdynamik anhand der Reliefanalyse ermittelt. Im Umfeld des Planvorhabens werden diejenigen un bebauten bzw. unversiegelten Flächen bestimmt, die zur Kaltluftproduktion geeignet sind und deren Kaltluftabfluss potenziell das geplante Bauwerk passieren müssen. Die Grenze dieser Kaltluftproduktionsgebiete wird durch die Kammlinien des Reliefs oder den Bebauungsrand vorgegeben. Innerhalb der Kaltluftproduktionsgebiete werden die möglichen Kaltluftabflussbahnen anhand der Hangneigung bestimmt.

Die lokale Ausprägung von Kaltluftströmungen lässt sich anhand von Lufttemperaturdaten und Reliefdaten empirisch abschätzen (VDI 2003). Danach erfolgt die Berechnung der Kaltluftabflussgeschwindigkeit und -höhe nach den empirischen Ansätzen von DEFANT (1933) und BRIGGS (1979) über die Hangneigung und die Kaltlufttemperatur (zum Berechnungsverfahren siehe Anhang).

4 Ergebnisse

4.1 Thermisches Niveau der austauscharmen Wetterlagen

In austauscharmen Strahlungs Nächten werden die thermischen Effekte der unterschiedlichen Flächennutzungen besonders deutlich. Da die Aufheizung der Oberflächen durch die Sonneneinstrahlung am Tage entfällt, wird das lokale thermische Niveau ausschließlich durch das unterschiedliche Auskühlungsverhalten bzw. der Wärmespeicherfähigkeit der verschiedenen Flächennutzungen geprägt. Bezüglich der Höhenlage kommt ergänzend der Effekt der Lufttemperaturinversion zum Tragen, da aufgrund der am Boden lagernden kühleren Luft die Lufttemperatur mit der Höhe zunimmt.

Das Temperaturfeld im Untersuchungsgebiet während Strahlungsnächten ist für die zweite Nachthälfte in **Abb. 4** dargestellt. Die Lufttemperaturspanne im Untersuchungsraum des Wächtelestals beträgt ca. 5 K, wobei die Landwirtschaftsflächen ca. 3 K bis 4 K kühler sind als das Gewerbegebiet Böllinger Höfe und damit Kaltluftproduktionsflächen darstellen.

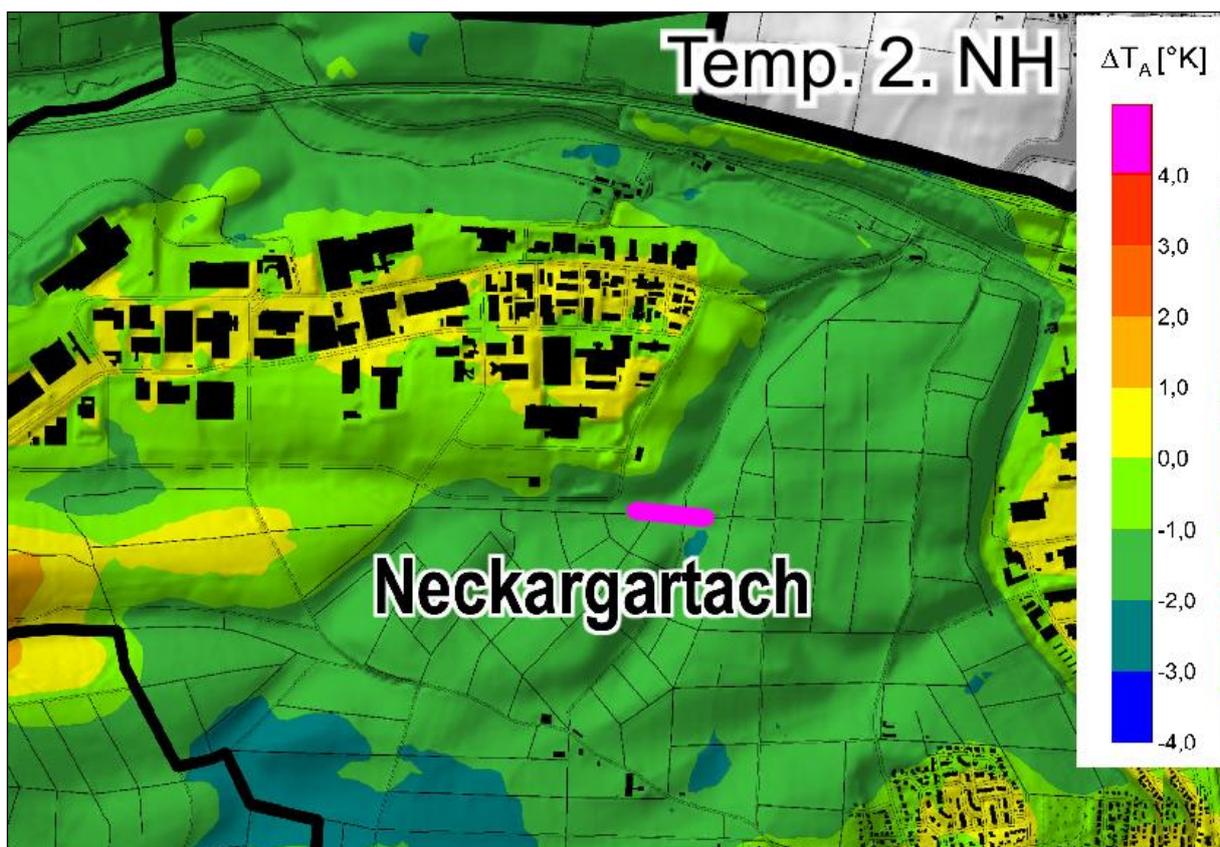


Abb. 4: Mittlere Anomalie der Lufttemperaturverteilung in 2 m ü. Gr. in der 2. Nachthälfte austauscharmer Strahlungstage im Untersuchungsraum Wächtelestal, bezogen auf eine durchschnittliche Gebietsmitteltemperatur von 20,9 °C (Datenquelle: KLIMAANALYSE HEILBRONN 2016).

4.2 Kaltluftprozesse

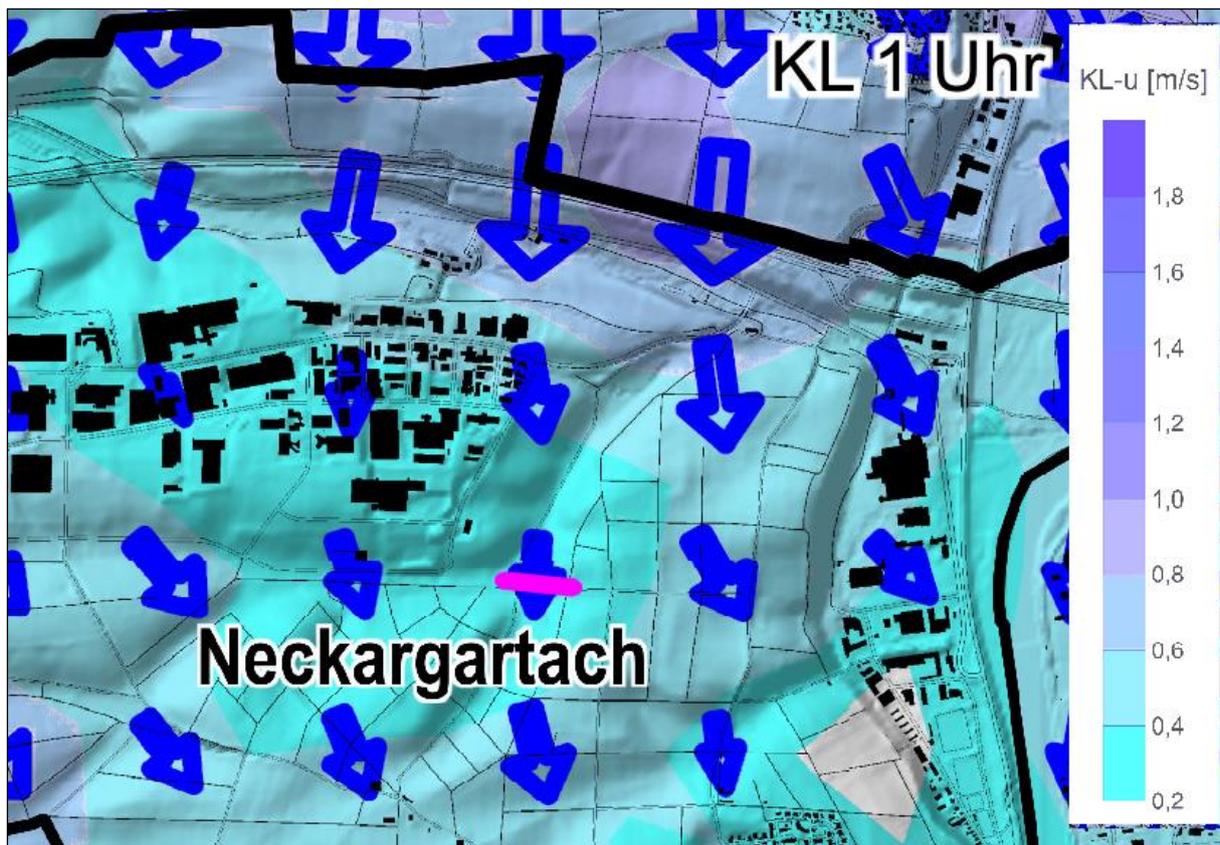
Da die kühle Luft der Freiflächen relativ schwer ist und damit am Boden lagert, ist davon auszugehen, dass sie im Bereich der Hanglagen der Geländeneigung folgend in die jeweiligen Talsohlen fließt, sich dort sammelt und anschließend zum tiefsten Geländebereich (hier Wächtelestal und anschließend Böllinger Bachtal) abfließt.

Diese Prozesse der Kaltluftbildung und des Kaltlufttransportes wurden in der KLIMAANALYSE HEILBONN (2016) mit dem numerischen Modell METRAS untersucht. Die Ergebnisse werden nachfolgend in Kap. 4.2.1 dargestellt. Die Analyse der Kaltluftprozesse erfolgte unter der Annahme des Fehlens eines übergeordneten, regionalen Windes, um potenzielle Einflüsse etwaiger nicht-lokaler Strömungen bzw. Winde ausschließen zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Berechnungen für den Großraum Heilbronn auf der Mesoskala mit einer relativ groben Auflösung von 100 m durchgeführt wurden, sodass im hiesigen Untersuchungsgebiet die Kaltluftprozesse bereits durch diejenigen der weiteren, hier nicht dargestellten, Umgebung beeinflusst sind und gleichzeitig eine räumliche Ungenauigkeit aufweisen.

Um die lokalen Kaltluftprozesse im hiesigen Untersuchungsraum ohne den Einfluss der weiteren Umgebung und in einer höheren räumlichen Auflösung untersuchen zu können, wurden gemäß der „Kaltluftrichtlinie“ (VDI 2003) zusätzlich statistische Schätzverfahren unter Einbeziehung einer Reliefanalyse angewendet (Kap. 4.2.2).

4.2.1 Mesoskalige Kaltluftprozesse

Während austauscharmer Strahlungstage sind um 1 Uhr nachts die mesoskaligen Kaltluftprozesse vollständig entwickelt (**Abb. 5**). Sämtliche Kaltluftflüsse sind dabei dem Schwachwindbereich ($\leq 1,5$ m/s) zuzuordnen. Hauptmerkmal der Kaltluftprozesse im Untersuchungsraum ist eine von der nördlichen Abdachung des Neckarbeckens bei Biberach nach Süden fließende schwache Kaltluftströmung mit $< 1,0$ m/s, die bis in die Ortsteile Frankenbach und Neckargartach (in der Abb. nicht mehr dargestellt) vordringt. Das eingeschnittene Wächtelestal (vgl. **Abb. 2** unten) bewirkt eine Abschirmung der Strömung, sodass die Kaltluftgeschwindigkeit auf $< 0,4$ m/s absinkt. Durch den permanenten, flächendeckenden Kaltluftnachschieb ist jedoch gewährleistet, dass auch bei Realisierung der Wächtelestalquerung der Kaltluftabfluss nach Süden nicht blockiert wird



Pink: Geplantes Bauwerk zur Querung des Wächtelestals

Abb. 5: Mesoskalige Kaltluftströmungen in 10 m ü. Gr. um 1 Uhr nachts während austauscharmer Strahlungswetterlagen im Untersuchungsraum Wächtelestal (Datenquelle. KLIMAANALYSE HEILBRONN 2016).

4.2.2 Lokale Kaltluftprozesse

In diesem Abschnitt sollen in der näheren Umgebung des Bauvorhabens mögliche lokale Kaltluftprozesse untersucht werden, die unbeeinflusst vom Kaltluftgeschehen der weiteren Umgebung sind. Dieses ist erforderlich, da neben der im vorigen Kapitel beschriebenen Situation Kaltluftflüsse auch unter anderen Witterungsbedingungen auftreten können. Beispielsweise würde bei einer übergeordneten Westströmung der große nördliche Kaltluftfluss im Neckarbecken entfallen, sodass sich lokale Kaltluftprozesse stärker herausbilden würden.

Zur Untersuchung der lokalen Kaltluftprozesse wird ein etablierter, theoretischer Ansatz gemäß der „Kaltlufttrichtlinie“ (VDI 2003) zur Ersteinschätzung verwendet, der sich primär auf die Relief- und Flächennutzungsanalyse stützt.

Im Umfeld des Bauvorhabens wurden diejenigen unbebauten bzw. unversiegelten Flächen bestimmt, die zur Kaltluftproduktion geeignet sind und deren potenzieller Kaltluftabfluss über das Wächtelestal in das Böllinger Bachtal erfolgt. Da das Böllinger Bachtal seinerseits eine Kaltluftabflussbahn zur Belüftung des Ortsteils Neckarau darstellt, deren Kaltluft jedoch als lufthygienisch belastet eingestuft wird (vgl. Abb. 1 weiter oben), wird hier ergänzend untersucht,

welchen Anteil der Kaltluftabfluss aus dem Wächtelestal an dem Kaltluftstrom im Böllinger Bachtal hat. Hierzu wird das Kaltlufteinzugsgebiet des Böllinger Bachtals südlich von Biberach berücksichtigt. Die Grenzen dieser Kaltluftproduktionsgebiete werden durch die Kammlinien des Reliefs oder den Bebauungsrand vorgegeben.

Die betreffenden Flächen sind in **Abb. 6** dargestellt. Dort sind die Kaltlufteinzugsgebiete des Wächtelestals mit „Süd“ sowie diejenigen des übrigen Böllinger Bachtals als „Nord“ gekennzeichnet. Beide Kaltlufteinzugsgebiete haben zusammen eine Gesamtgröße von ca. 762 ha (**Tab. 1**). Der Anteil des Einzugsgebietes „Süd“ für das Wächtelestal beträgt ca. 276 ha bzw. ca. 36 %. Damit speist der Kaltluftstrom aus dem Wächtelestal zu mehr als einem Drittel den Kaltluftstrom im Böllinger Bachtal, der den Ortsteils Neckarau belüftet.

In Anbetracht der lufthygienischen Belastung der Kaltluft im Böllinger Bachtal ist daher der Zustrom sauberer Kaltluft über das Wächtelestal als klimatisch relevant zu beurteilen. Eine potenzielle Schwächung dieses Zustroms durch die Wächtelestalquerung der Nordumfahrung wäre daher als klimatisch ungünstig einzustufen.

Tab. 1: Größe der Kaltluftproduktionsgebiete im Wirkungsbereich des geplanten Bauwerkes zur Querung des Wächtelestals.

Fläche	abs. Größe	rel. Größe
Nord	485,6 ha	63,8 %
Süd	276,1 ha	36,2 %
Gesamt	761,7 ha	100,0 %

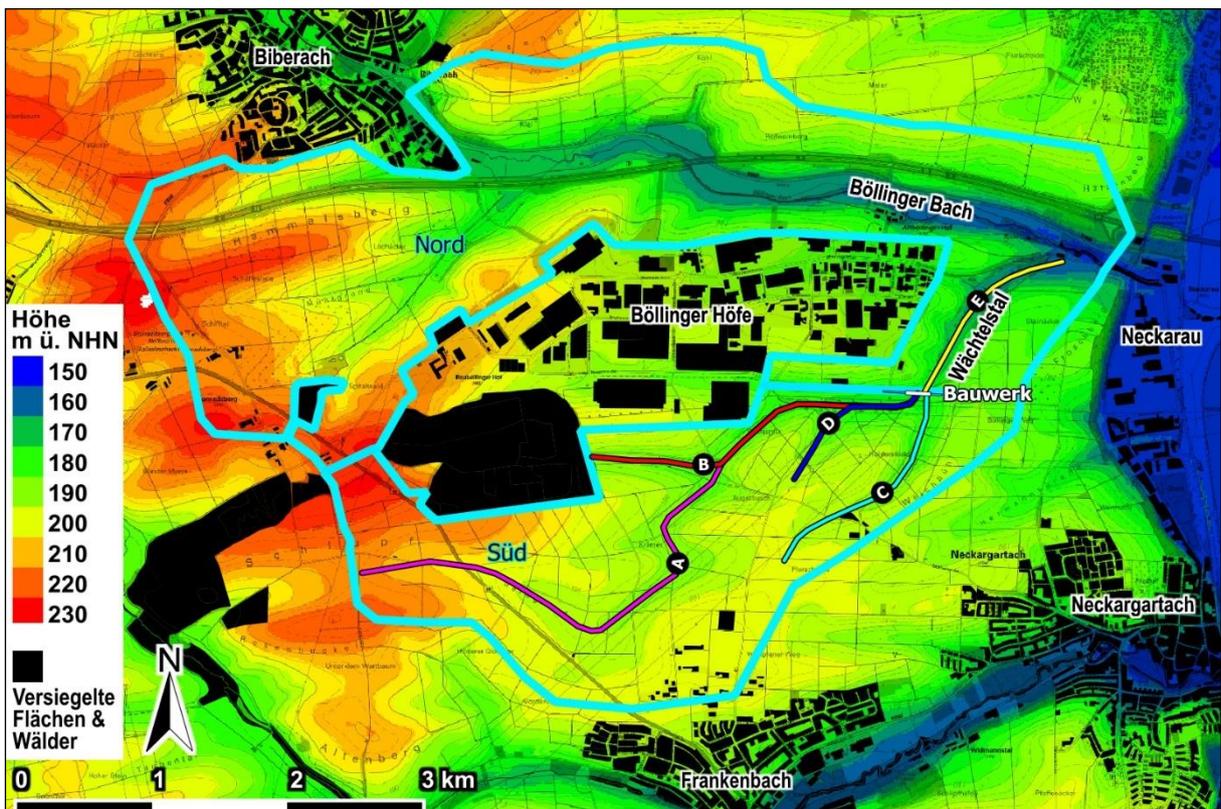
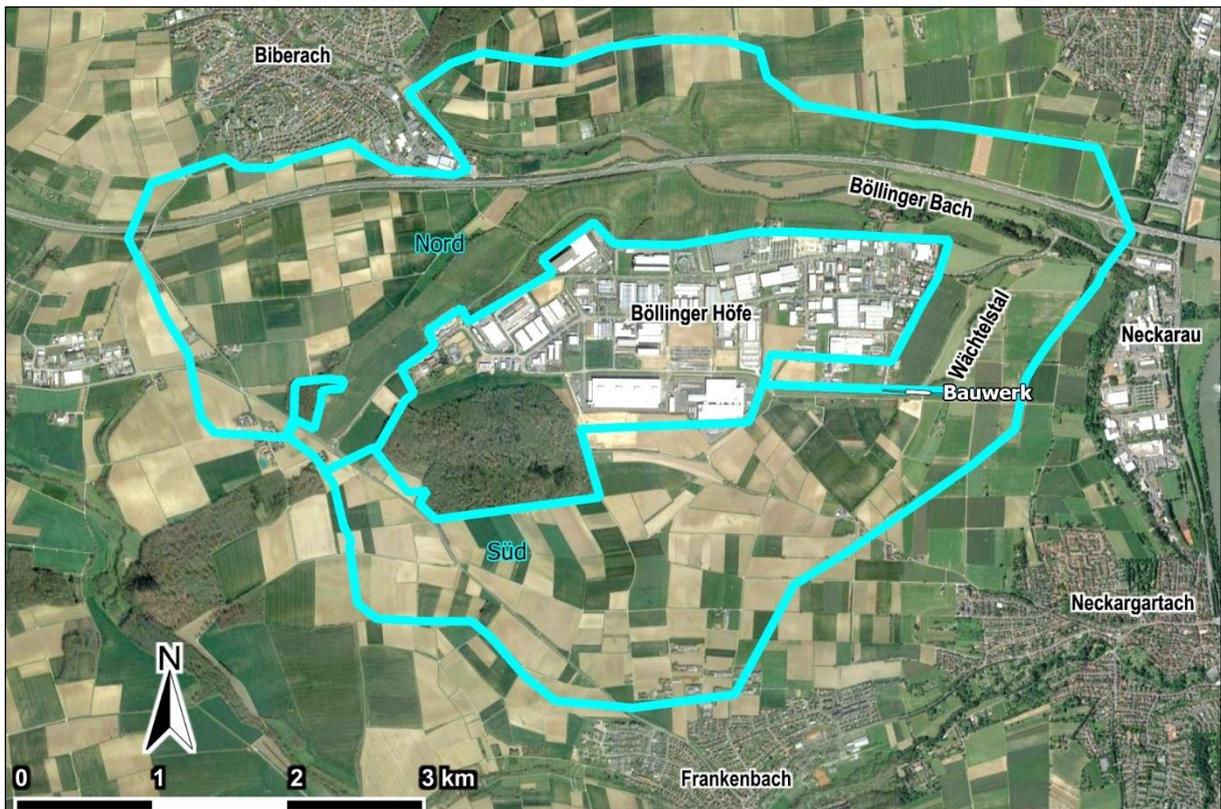


Abb. 6: Kaltluftproduktionsgebiete und Kaltluftabflussbahnen im Wirkungsbereich des geplanten Bauwerkes zur Querung des Wächtelestals (Kartengrundlage: TK10).

Im nächsten Schritt wurden daher innerhalb des Kaltlufteinzugsgebietes „Süd“ des Wächtelestals potenzielle Kaltluftabflussbahnen anhand der Hangneigung bestimmt (**Abb. 6 unten**). Hierbei handelt es sich um vier Bahnen A bis D, die in das Wächtelestal und im weiteren Verlauf in das Böllinger Bachtal (Streckenabschnitt E) münden. Für jede der Abflussbahnen wurden die am Ende der Bahnen zu erwartenden theoretischen maximalen Kaltlufthöhen und Kaltluftfließgeschwindigkeiten nach den Verfahren von DEFANT (1933) und BRIGGS (1979) (siehe Anhang) berechnet. Die Berechnung erfolgte sowohl ohne Berücksichtigung des Querungsbauwerkes vom jeweils höchsten Geländepunkt bis zum niedrigsten Geländepunkt im Böllinger Bachtal (E) (Ist-Zustand) als auch mit Berücksichtigung des Bauwerkes, der dann das Ende der Kaltluftbahnen markiert (Plan-Zustand). Für die hierbei benötigte Lufttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebungsluft wurde exemplarisch ein typischer Wert von 5 K angenommen. Die Ergebnisse der Berechnungen sind **Tab. 2** dargestellt.

Tab. 2: Theoretische Kaltlufthöhen und -fließgeschwindigkeiten ausgewählter Kaltluftabflussbahnen im Wirkungsbereich des geplanten Bauwerkes zur Querung des Wächtelestals (berechnet nach DEFANT (1933) und BRIGGS (1979)).

Kaltluftabflussbahn	Ist-Zustand				Plan-Zustand				
	A – Talsohle Böllinger Bach (E)	B – Talsohle Böllinger Bach (E)	C – Talsohle Böllinger Bach (E)	D – Talsohle Böllinger Bach (E)	A – Bauwerk	B – Bauwerk	C – Bauwerk	D – Bauwerk	Bauwerk – Talsohle Böllinger Bach (E)
Relief									
Geländehöhe z oberer Punkt in m	213,3	187,4	196,1	194,2	213,3	187,4	196,1	194,2	171,5
Geländehöhe z unterer Punkt in m	156,5	156,5	156,5	156,5	171,5	171,5	171,5	171,5	156,5
Geländehöhe dz in m	56,8	30,9	39,6	37,7	41,8	15,9	24,6	22,7	15,0
Fließstrecke x in m	4.426	2.687	2.108	1.767	3.455	1.716	1.137	796	971
Hangneigung in %	1,3%	1,2%	1,9%	2,1%	1,2%	0,9%	2,2%	2,8%	1,5%
Hangneigung α in °	0,7	0,7	1,1	1,2	0,7	0,5	1,2	1,6	0,9

Klimatologie									
Kaltlufttemperatur t_{KL} in °C	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
Lufttemperatur außerhalb der Kaltluft t_L in °C	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Kaltluftuntertemperatur in K	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
Kaltluftmächtigkeit h_{KL} in m	9,1	5,1	5,6	5,1	6,8	2,8	3,3	2,8	2,3
Kaltluftfließ- geschwindigkeit u_{KL} in m/s	3,1	2,2	3,0	3,0	2,6	1,5	2,5	2,6	1,7

Die meisten Abflussbahnen (B bis D) weisen im **Ist-Zustand** am Ende der Bahnen im Böllinger Bachtal maximale theoretische Kaltluftmächtigkeiten von 5,0 bis 5,6 m Höhe auf. Lediglich auf der Abflussbahn A beträgt aufgrund der langen Fließstrecke die Kaltluftschichtdicke am Ende der Bahn 9,1 m. Die theoretischen Fließgeschwindigkeiten betragen zwischen 2,2 m/s und 3,1 m/s.

Bei Verkürzung der Abflussbahnen bis zum Ort des geplanten Querungsbauwerkes (**Planzustand**) nehmen sowohl die theoretischen Kaltluftmächtigkeiten als auch die Fließgeschwindigkeiten deutlich ab. Die Kaltluftschichtdicke beträgt maximal 6,8 m entlang der Bahn A (-25 % im Vergleich um Ist-Zustand) sowie für die übrigen Bahnen 2,8 bis 3,3 m (-41 % bis -45 %). Damit wäre im Fall der Realisierung der Querung als 8 m hoher Damm bzw. Wall der Kaltluftabfluss unterbunden. Der verbleibende Kaltluftabfluss im Abschnitt vom Bauwerk bis zum Böllinger Bachtal (Teilstrecke E) würde auf eine Mächtigkeit von lediglich 2,3 m Höhen reduziert. Gegenüber dem Ist-Zustand wäre das je nach Bahn eine Reduktion um -56 % (Bahnen B und D), -60 % (C) bzw. -75 % (A). Auch die Strömungsgeschwindigkeiten würden um -15 % bis -30 % auf nur noch 1,5 m/s bis 2,6 m/s reduziert.

5 Fazit und Empfehlung

Eine Unterbrechung der Kaltluftströme aus dem Einzugsgebiet des Wächtelestals durch einen Damm bzw. eine Aufschüttung würde den Zustrom frischer Kaltluft am Einmündungspunkt in das Böllinger Bachtal um 56 % bis 75 % reduzieren. Da das Kaltlufteinzugsgebiet des Wächtelestals im derzeitigen Ist-Zustand zu 36 % den Kaltluftstrom des Böllinger Bachtals speist, würde dieser um insgesamt 20 % bis 27 % geschwächt werden.

Unter der Berücksichtigung, dass der Kaltluftstrom des Böllinger Bachtals lufthygienisch vorbelastet ist und gleichzeitig für die Belüftung des Gebietes Neckarau von Bedeutung ist, wird die Planungsvariante mit Damm bzw. Aufschüttung als klimatisch ungünstig und bedenklich eingestuft.

Aus diesem Grund wird die Umsetzung des Bauvorhabens als Brücke ausdrücklich empfohlen, da hierbei der Kaltluftabfluss aus dem Einzugsgebiet des Wächtelestals in das Böllinger Bachtal gewährleistet bleibt.

6 Arbeitsmaterialien und Literatur

Arbeitsmaterialien

KLIMAANALYSE HEILBRONN (2016) – Bearbeitet von R. Rau, D. Düttemeyer und K. Bigalke.
Stadt Heilbronn, Planungs- und Baurechtsamt. In Bearbeitung.

STADT HEILBRONN (2017): Nordumfahrung Frankenbach / Neckargartach – Entwurfsplanung
Projekt 16016: Brücke Wächtelsäcker. Stadt Heilbronn, Amt für Straßenwesen

Literatur

BRIGGS, G. A. (1979): Analytic modelling of drainage flows. Washington (= Draft document, atmospheric turbulence 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, Physikalisch-mathematische Klasse 18 (1933), S. 624/635.

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

Anhang

Berechnung der Kaltfluthöhe und -fließgeschwindigkeit nach Defant und Briggs

Die Kaltluftabflussgeschwindigkeit wird nach folgender Gleichung von Defant (1933) abgeschätzt:

$$v_A = \sqrt{\frac{gh_{KL}}{\mu} \frac{\theta - \theta_{KL}}{\theta} \sin \alpha_H} \quad [\text{m s}^{-1}]$$

mit v_A	: Abflussgeschwindigkeit	[m s ⁻¹]
g	: Normschwerebeschleunigung; $g = 9,80665$	[m s ⁻²]
h_{KL}	: vertikale Kaltluftmächtigkeit	[m]
μ	: DEFANTSche Reibungskonstante; $0,050 \leq \mu \leq 0,100$ für Wald, sonst $\mu = 0,002$	[1]
θ	: potenzielle Lufttemperatur (über der Kaltluft)	[K]
θ_{KL}	: potenzielle Kaltlufttemperatur	[K]
α_H	: Hangneigung	[°]

Die hierbei zu bestimmende Vertikalmächtigkeit der hangabfließenden, bodennahen Kaltluftteilschicht h_{KL} lässt sich mit hinreichender Genauigkeit für raugkeitsarme Flächen mit einer Steigung $\leq 5^\circ$ 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]