

Anlage 15

Betr.: Genehmigungsantrag vom 26.09.2023

Az.: 404-3816-63 USG

**Antrag gem. § 68 WHG über die Vertiefung des Steinbruchs Asbeck (K10)
auf 120 m üNN im Werk Hönnetal der Rheinkalk GmbH**

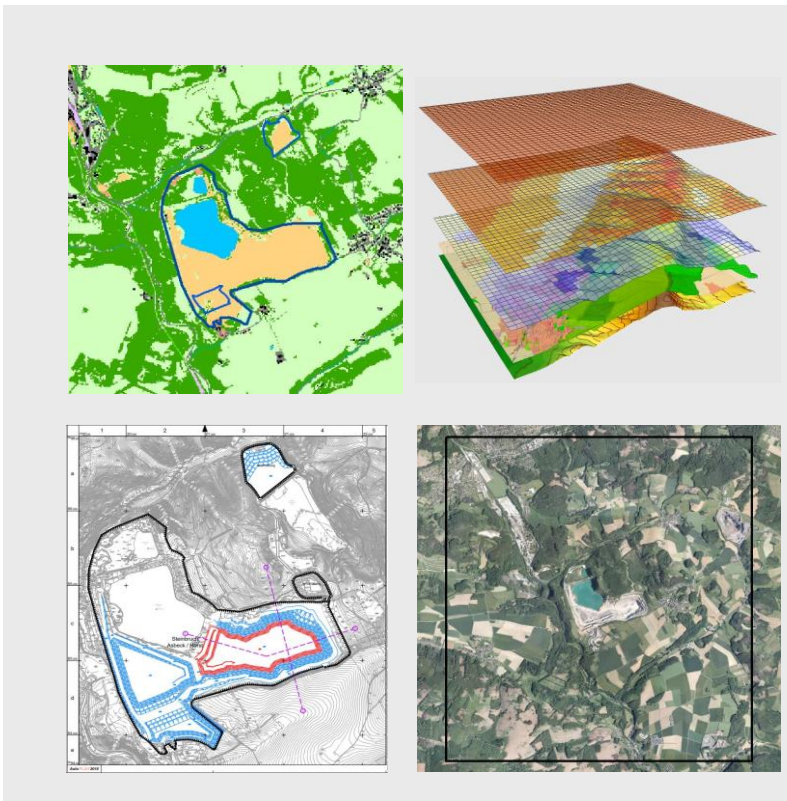
**Klimaexpertise
(GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover)**

Rheinkalk GmbH


Gödde


Vogt

Klimaexpertise zur Vertiefung des Steinbruchs Asbeck



Auftraggeber:

Rheinkalk GmbH
Werk Hönnetal
Am Kalkstein 1
Wülfrath



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit: Prof. Dr. Günter Groß
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG)
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und
Kleinklima der IHK Hannover und Hildesheim

Hannover, Juli 2023

1. Einleitung

Im Auftrag der Rheinkalk GmbH wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen der geplanten Vertiefung des Steinbruchs Asbeck durchgeführt. Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Die zu klärenden Fragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, beziehen sich auf das nähere Umfeld des geplanten Bauvorhabens:

- Welche Belüftungssituation liegt innerhalb sowie in der Umgebung der Vorhabenfläche vor?
- Wie ist die bioklimatische Situation zu beurteilen?
- Wie wird sich das Planungsvorhaben voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse, auswirken?

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes innerhalb des Vorhabensgebietes sowie insbesondere dessen Auswirkungen auf die Umgebung gelegt. Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „WorstCase“-Betrachtung dar (**Abbildung 1**).

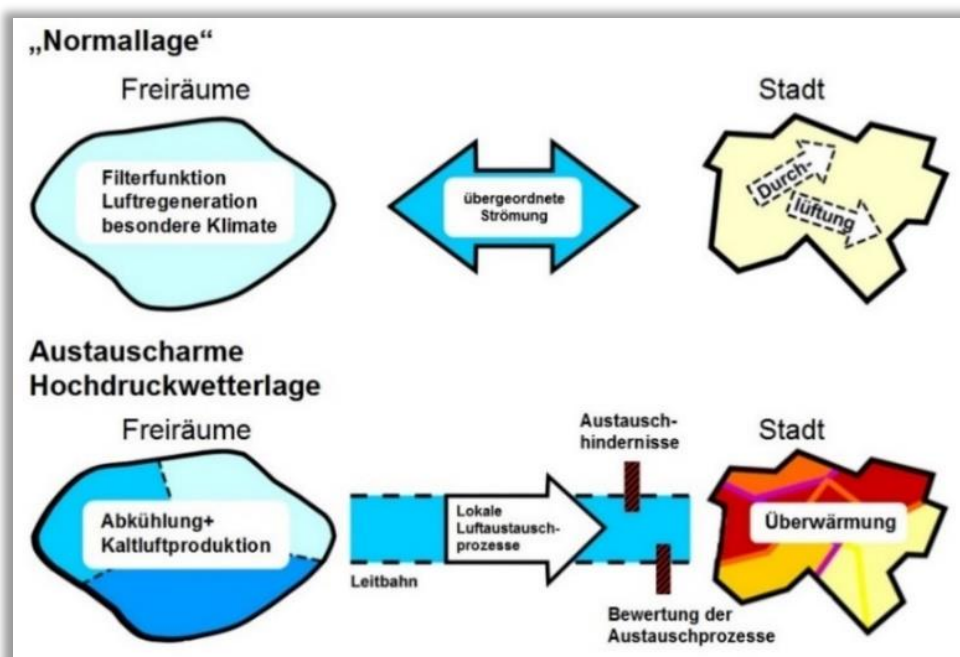


Abb. 1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage.

1.1 Untersuchungsgebiet

Das für die Modellrechnungen definierte Untersuchungsgebiet erstreckt sich über eine Fläche von rund 36,9 km² bzw. 5,9 x 6,2 km. Es wurde dahingehend ausgewählt, dass sämtliche relevanten Landnutzungsstrukturen Berücksichtigung finden, welche einen wesentlichen klimaökologischen Einfluss auf das Vorhabengebiet besitzen bzw. durch dessen Modifikation potenziell beeinträchtigt werden könnten. Weiter entfernte Flächen, welche nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf das Vorhabengebiet haben, werden über den in Kapitel 2.4 beschriebenen Regionalwindantrieb ebenfalls berücksichtigt.

Das in Abbildung 2 dargestellte Untersuchungsgebiet umfasst neben dem Plangebiet und der zum Steinbruch Asbeck gehörenden Halde die nordwestlich gelegenen Ortschaften Lendringens, Oberrödinghausen und Sonnenschein, mehrere kleinere Siedlungen im Norden des Untersuchungsgebiets, die Ortschaft Asbeck im Nordosten sowie die Ortschaften Eisborn westlich des Plangebiets, Volkringhausen im Süden und Brockhausen sowie Teile von Riemke im Westen. Darüber hinaus überwiegen Landwirtschaftsflächen insbesondere in der östlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes. Im Nordosten und Südwesten sind größere Waldflächen vorzufinden. Weiterhin sind größere, zusammenhängende Baumbestände nördlich, nordöstlich und westlich des Steinbruchs Asbeck sowie westlich der Ortschaft Oberrödinghausen vorhanden. Letztlich ist noch die im Westen verlaufende B515 sowie die annähernd parallel verlaufende Bahnstrecke als wesentliche Nutzungsstruktur zu nennen.



Abb. 2: Übersicht des Untersuchungsraums (schwarzer Kasten = Untersuchungsgebiet; blauer Kasten = Plangebiet Steinbruch Abgrabungen, roter Kasten = Abraumhalde)

1.2 Planungsgrundlagen

Beim Plangebiet selbst handelt es sich um eine ca. 1,3 km² große Fläche des Steinbruchs Asbeck sowie die zugehörige Abraumhalde (Abbildung 2). Im Gebiet sind aktuell zwei Klärteiche, sowie zwei bestehende Halden- und Abraumstandorte vorhanden. Angrenzend an den nördlichen Klärteich sind Röhricht- und Sedimentflächen vorzufinden. Im Süden befindet sich der aktuelle Abbaubereich des Steinbruchs. Das Plangebiet ist nahezu komplett von zusammenhängenden Baumbeständen umgeben, lediglich im Süden grenzen landwirtschaftlich genutzte Flächen an.

Die **Abbildung 3** zeigt den Zwischenstand der Abbauplanung des Steinbruchs Asbeck im Werk Hönnetal der Rheinkalk GmbH auf 120 m ü. NN (Stand: 15.06.2022). Dieser stellt die genehmigte Abbauplanung (siehe auch Anhang A 1) und die geplante Vertiefung des Steinbruchs auf 120 m ü. NN dar. Im Südwesten ist ein Abbau auf 120 m ü. NN und im Süden auf 165 m ü. NN vorgesehen. Zwischen diesen beiden Abbaubereichen soll der Aushub der Abbautätigkeiten aufgehaldet werden. Im Osten des Planungsgebiets ist bisher ein Abbau auf 182 m ü. NN genehmigt. Hier ist eine weitere Vertiefung auf 120 m ü. NN geplant (rote Signatur). Zudem sieht der Plan eine bereits genehmigte Erweiterung der nördlichen Halde auf 280 ü. NN vor.

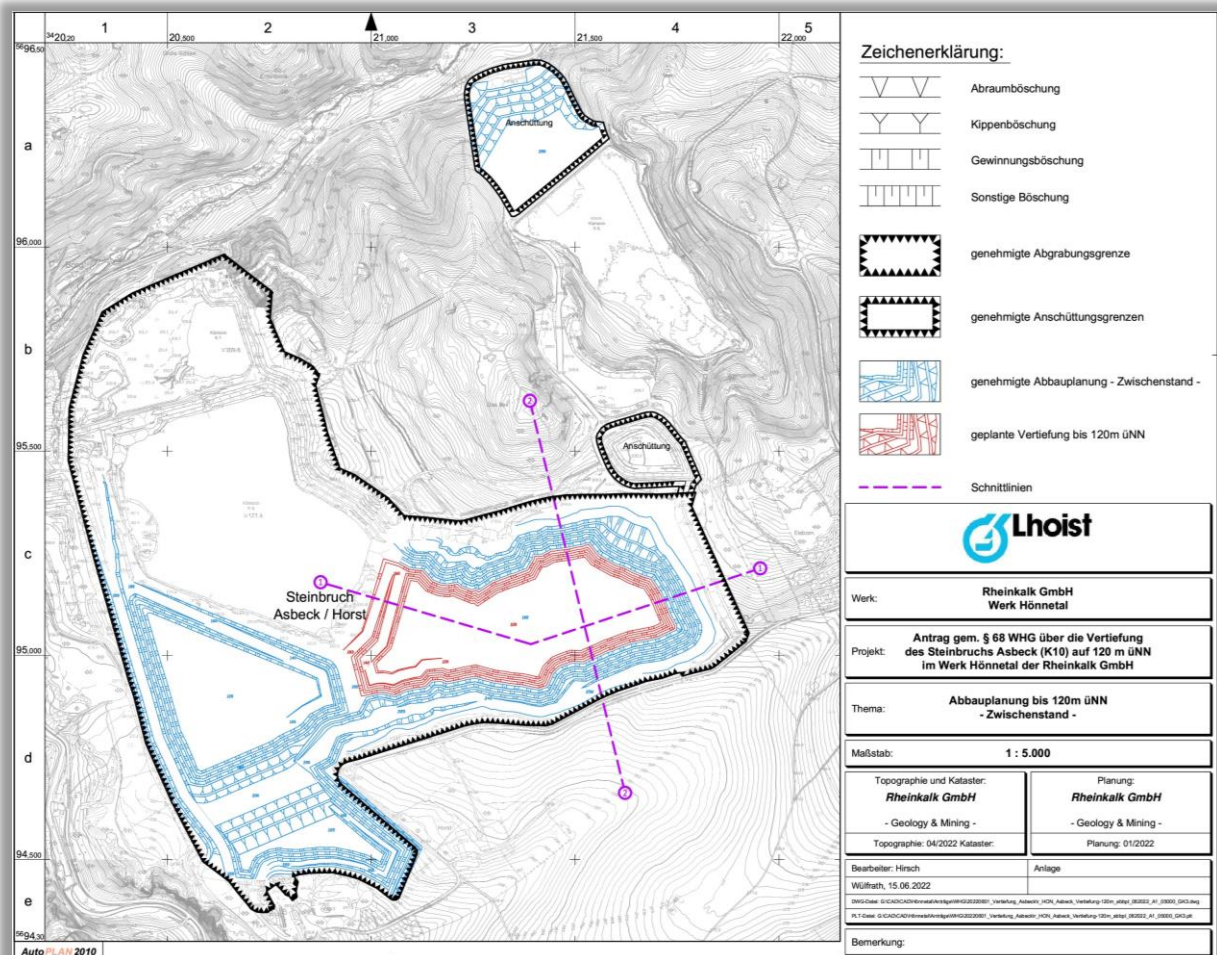


Abb. 3: Zwischenstand der Abbauplanung des Steinbruchs Asbeck im Werk Hönnetal der Rheinkalk GmbH auf 120 m ü. NN (Stand: 15.06.2022).

1.3 Untersuchungsansätze

Insgesamt wurden hinsichtlich der Analyse der klimaökologischen Auswirkungen des Planvorhabens zwei Modellszenarien entwickelt und mit Modell FITNAH-3D modelliert. Hierbei handelt es sich um:

1. Den Ist-Zustand:

- Dieses Szenario stellt den aktuellen Abbaustand des Steinbruchs dar. Dabei wurde die Landnutzungs-klassifizierung anhand von Luftbildern aus den Jahren 2018 (Infrarot-Luftbilder zur skriptbasierten Vegetationsbestimmung) und 2022 (DOP Echtfarben zum visuellen Abgleich) sowie ALKIS und LOD1-Daten durchgeführt.
- Hinsichtlich des Reliefs wurde ein Digitales Geländemodell (Stand 10/2021) verwendet, welches für den Bereich des Steinbruchgeländes anhand von vom Betreiber (Rheinkalk GmbH) bereitgestellten Geländehöheninformationen aktualisiert wurde.
- Dieses Szenario dient der Einordnung des lokalen Kaltluftgeschehens bzw. Bioklimas in und im Umfeld des Plangebiets. Zudem dient es als Referenz gegenüber den klimaökologischen Auswirkungen durch die geplante Nutzungsänderung.

2. das Plan-Szenario:

- Flächenkulisse des Ist-Zustandes zzgl. der modelltechnischen Umsetzung des Planvorhabens.
- Hinsichtlich des Planvorhabens wurde der Steinbruch entsprechend der aktuell genehmigten Abbaugrenzen erweitert (siehe Anhang A 2) und zusätzlich die geplante Vertiefung auf 120 m über NN im östlichen Bereich des Steinbruchs sowie die vollständige Ausnutzung der Aufschüttungsreserven im Bereich der nördlichen Halde angenommen.
- Das Szenario stellt die Endphase der aktuellen Abbauplanung dar, ohne die Rekultivierungsplanung (Anhänge A 1 und A2) innerhalb der Abgrabungsgrenzen zu berücksichtigen. Nur so können die Auswirkungen der geplanten Vertiefung explizit betrachtet werden. Darüber hinaus stellt dieses Szenario aus klimaökologischer Sicht den Worst-Case dar. Auf die zu erwartenden bioklimatischen Auswirkungen, welche sich aus der nachfolgenden Rekultivierung ergeben, wird im Ergebniskapitel gesondert eingegangen.

2. Methodik

2.1. Das Mesoskalenmodell FITNAH

Allgemeines: Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen, wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten meso- und mikroskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt oder einer Region. Die bestimmenden Skalen für die hierfür relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis hin zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene müssen diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet werden. Beispiele für solche mesoskaligen Phänomene sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde oder auch Düseneffekte in Straßen, sowie das Phänomen der urbanen Wärmeinsel.

Obwohl die allgemeine Struktur und die physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Allgemeinen bekannt sind, gibt es nach wie vor noch offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragung auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedlichem Erscheinungsbild in komplexem Gelände, was es schwierig macht, mit Hilfe einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten. Mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen kann dieser Nachteil überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch und zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

Grundlagen mesoskaliger Modelle: Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen, die nicht gemessen wurden und Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den großen Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert werden können und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Grundgleichungen: Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Alle mesoskaligen Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden, um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (vgl. Abb. 4).

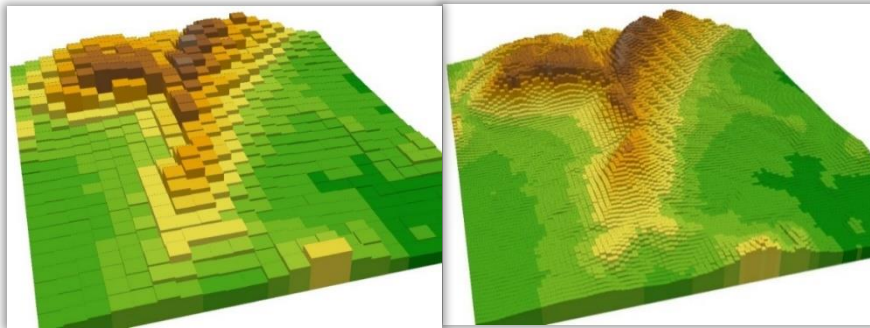


Abb. 4: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH verwendete räumliche Maschenweite Δx 10 m, ist damit also sehr feingliedrig. Bei allen Modellrechnungen ist die **vertikale** Gitterweite nicht äquidistant. In der bodennahen Atmosphäre sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der Abstand Δz immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m über Grund. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind, also keine Auswirkungen mehr haben. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 bzw. 1,1 über Grund = Aufenthaltbereich der Menschen).

2.2. Modelleingangsdaten

Bei numerischen Modellen wie FITNAH 3D müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird.

Die Modellrechnungen wurden für die beiden in Kapitel 1.3 beschriebenen Nutzungsszenarien durchgeführt, um auf dieser Basis die klimaökologische Bestandssituation sowie die Vorbelastung des Freiraumgefüges zu beurteilen. Das gesamte Untersuchungsgebiet hat bei einer Abmessung von 5,9 x 6,2 km eine Fläche von etwa 36,9 km². Mit der hohen räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m ist es möglich ein stark differenziertes Relief, Gebäudestrukturen sowie Einzelbäume realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den Luftaustausch abzubilden.

Die **Abbildung 5** veranschaulicht die aufbereitete Flächennutzung der beiden modellierten Szenarien, wobei hier hinsichtlich der Flächennutzung nur relativ geringe Unterschiede zwischen den Szenarien vorhanden sind. So stellt lediglich das bereits genehmigte, weitere Vorschreiten der Abgrabung im Südwesten (Steinbruchteil „Horst“) eine relevante Landnutzungsänderung dar. Weitere planungsbedingte Veränderungen wie insbesondere die Vertiefung der westlichen Abgrabungsfläche (Klärteich 9, bereits genehmigt) sind erst im nachfolgend dargestellten digitalen Geländemodellen erkennbar.

Hinsichtlich der Landnutzungsklassifizierung wurde ein 10 Klassen umfassender Schlüssel verwendet (siehe Legende in Abbildung 5). Die berücksichtigten Halden sind durch eine blaue Umrandung zusätzlich hervorgehoben.

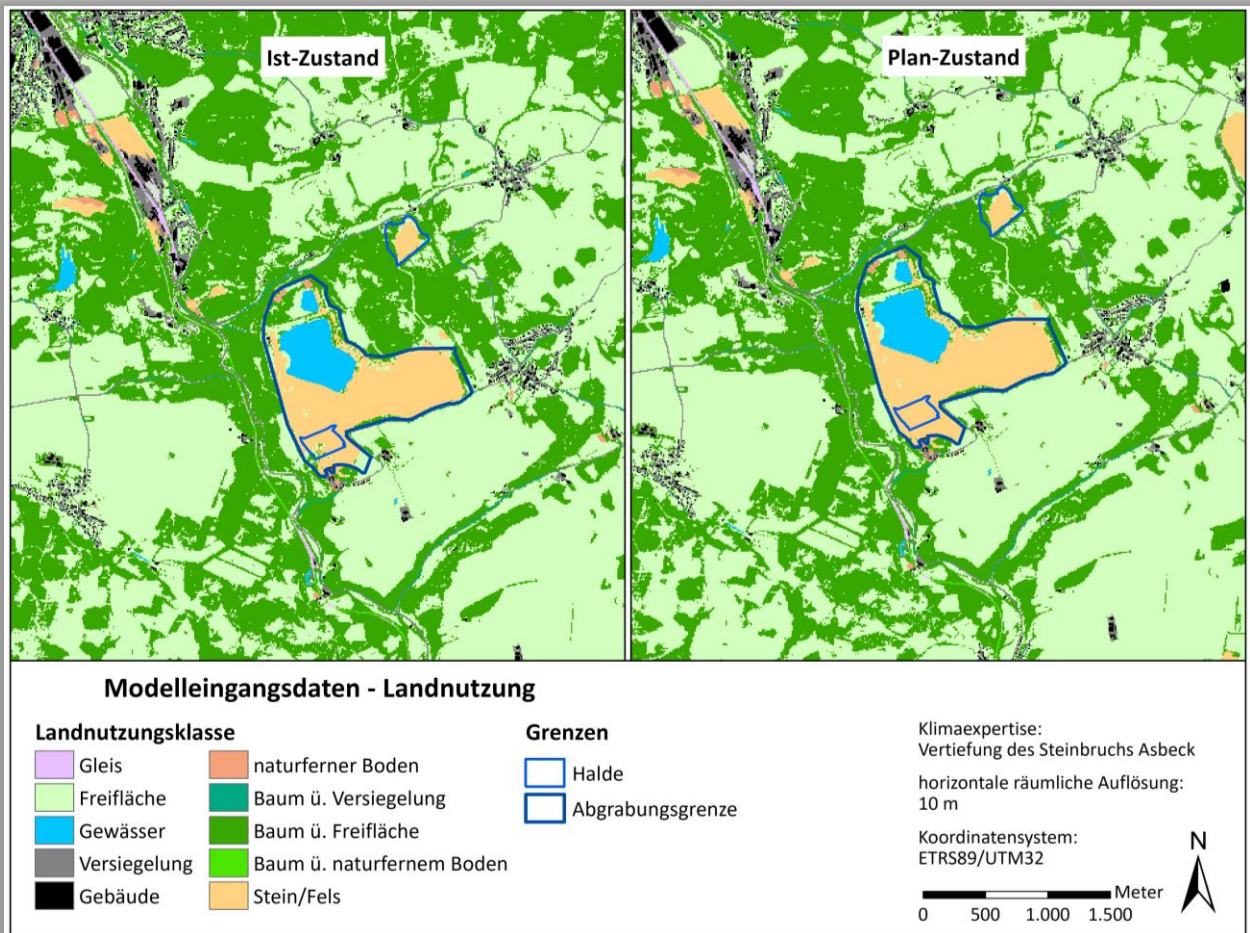


Abb. 5: Klassifizierte Landnutzung des Ist- und Plan-Zustandes.

Neben der Landnutzung stellt die Geländeoberfläche eine weitere wesentliche Modelleingangsgröße dar. Das in **Abbildung 6** dargestellte Digitale Geländemodell zeigt die Geländehöhe des Untersuchungsgebietes für den Ist- und Plan-Zustand in einer Auflösung von 10 m.

Das Untersuchungsgebiet weist Geländehöhen von 120 m bis 535 m ü. NN auf. Der Höhenzug „Balver Wald“ im Südosten macht mit einer Höhe von 535 m ü. NN den Hochpunkt des Untersuchungsgebietes aus. Im näheren Umfeld des Plangebietes ist östlich der „Eppberg“ mit einer Höhe von ca. 390 m ü. NN als nächstgelegener Hochpunkt vorzufinden. Das Plangebiet selbst weist Geländehöhen von 120 m bis 312 m ü. NN auf. Der große Klärteich macht mit einer Höhe von ca. 177 m ü. NN aktuell den tiefsten Punkt aus. Höher gelegene Bereiche befinden sich hauptsächlich am östlichen Rand des Gebietes. Im Plan-Zustand wird von einer Umsetzung der Vertiefung auf 120 m ü. NN in allen geplanten Bereichen ausgegangen, im Vergleich zum Ist-Zustand kommen die Vertiefungen im südlichen Plangebiet hinzu, welche dann den niedrigsten Punkt ausmachen. Ganz am südlichen Rand wird der Abbaubereich auf eine Höhe von ca. 165 m ü. NN vertieft, zwischen den Abbaubereichen ist eine Aufhaldung der Abbaurückstände vorgesehen.

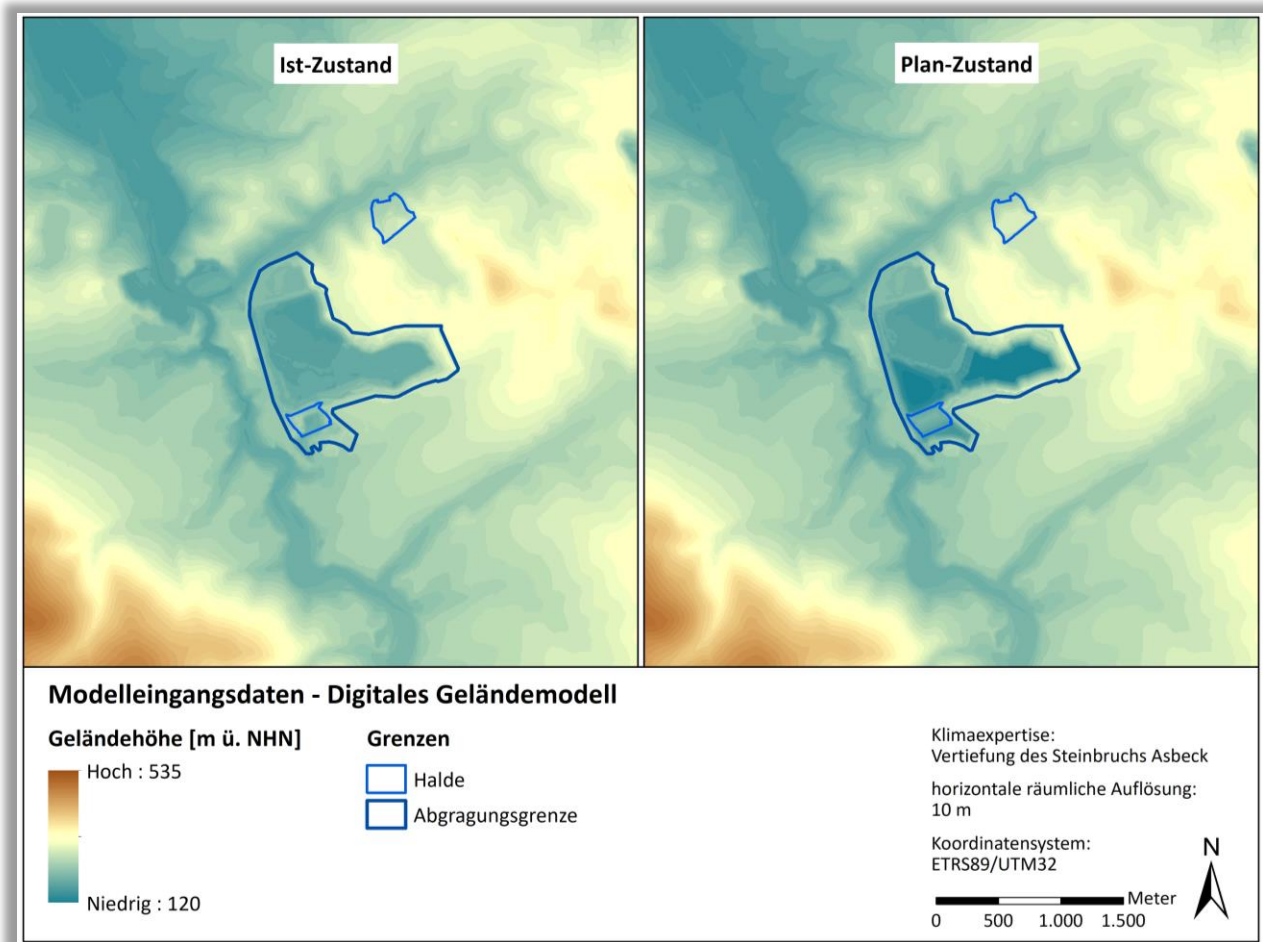


Abb. 6: Digitales Geländemodell des Untersuchungsgebietes für den Ist- und Plan-Zustand in 10 m-Auflösung.

2.3. Meteorologische Randbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Autochthone Wetterlagen treten aber auch in den restlichen Monaten auf. Bei den für das gesamte Stadtgebiet durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen Rahmenbedingungen für eine sommerliche austauscharme Wetterlage wie folgt festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- 20°C Lufttemperatur über Freiland zum Zeitpunkt 21 Uhr,
- Relative Feuchte der Luftmasse 50%.

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. In dieser Studie wird eine sommerliche austauscharme Wetterlage herangezogen, da bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden können. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen.

2.4. Regionalwindantrieb in FITNAH-3D

Je nach Größe des zu modellierenden Gebietes ist es erforderlich das sich aus den autochthonen Vorgaben entwickelnde Windfeld mittels einer „übergeordneten“ Strömung anzutreiben. Die Notwendigkeit ergibt sich aus dem Umstand, dass regionale Gegebenheiten, die die Kaltluftströmung beeinflussen, jedoch außerhalb des Modellgebietes liegen, nicht abgebildet werden können. Um dies zu berücksichtigen, wurden mesoskalige Rechnungen (z.B. von Nordrhein-Westfalen, Bayern, Deutschland und der Schweiz) mit FITNAH unter autochthonen Bedingungen durchgeführt. Aus den daraus vorliegenden Modellergebnissen werden die Antriebsdaten extrahiert und entsprechend der Auflösung und den Gebietsgrenzen des zu modellierenden Gebietes interpoliert und an FITNAH übergeben. Über vorgegebene Randbedingungen und Dämpfungsfaktoren wird die lokale Strömung mit dem übergeordneten Antrieb gewichtet. Somit werden Strömungen bspw. von Kaltluftbahnen, die außerhalb der Gebietsgrenzen ihren Ursprung haben, ebenso im Modellgebiet berücksichtigt, wie lokale Strömungen und Flurwinde, die sich aufgrund der entsprechenden Nutzung ausbilden.

Im Fall dieses Gutachtens konnte hinsichtlich des Regionalwindantriebes auf aktuelle Modellergebnisse des Landes NRW aus dem Jahr 2022 zurückgegriffen werden, welche im Vergleich zur deutschlandweiten Rechnung mit 100 x 100 m deutlich höher aufgelöst ist (Deutschlandrechnung 200 x 200 m) und somit die lokalen klimaökologischen Gegebenheiten präziser abbildet.

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom und Physiologisch Äquivalente Temperatur (Wärmebelastung am Tag) erläutert. Die Ergebnisse werden für den Ist- sowie den Plan-Zustand für die zweite Nachthälfte (Kaltlufthaushalt um 4 Uhr morgens) sowie die 14 Uhr-Situation (sommerliche Wärmebelastung am Tag) dargestellt.

Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. unbebauten Flächen sowie reliefbedingte Geländehöhenunterschiede. Der 4 Uhr Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben. Die sommerliche Wärmebelastung während der Tagesstunden wird über die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) dargestellt. In Abgrenzung zur Lufttemperatur handelt es sich hierbei um die tatsächlich empfundene Temperatur. Ihre Ausprägung wird vor allem über die Intensität der Sonneneinstrahlung bestimmt.

3.1 Nächtliche Lufttemperatur

Allgemeines: Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages sein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 8 °C Temperaturabweichung zwischen den abgekühlten Grün- und Freiflächen sowie den wärmeren Siedlungsflächen einstellen kann. Besonders auffällig dabei ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen. Hierzu gehören:

- die erhöhte Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit der Boden- und Oberflächeneigenschaften
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischer Rauigkeit und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion.

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grüneprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, überwärmte Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten von Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Denn ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Entlastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. So werden als optimale Schlaftemperaturen gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten. Und da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas in den Nachtstunden weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Modellergebnisse Ist- und Plan-Zustand

Das mit dem Klimamodell FITNAH für das Ist-Zustand simulierte Lufttemperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens umfasst unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen eine Spannweite von etwa 9,1 Kelvin (K) und erreicht dabei Werte zwischen 10,9 °C und 20 °C. Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt bei 14,9 °C und jene des Plangebietes (Abgrabung + Halden) bei 13,8 °C.

Die Temperaturverteilung ist räumlich differenziert, da Grünflächen, vegetationsarme Steinbrüche, Gewässer, Areale mit Wohn- Gewerbebebauung sowie Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. **Abbildung 7** zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld des Basis-Szenarios in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr. Die höchsten Temperaturen von 18 bis 20 °C treten über Gewässern und in Bereichen von hoher Oberflächenversiegelung und gleichzeitig hohem Bauvolumen auf, da hier die nächtliche Abkühlung durch die Wärme speichernden Medien wie Wasser, Beton und Stein deutlich reduziert wird. Zu den in der Nachtsituation wärmsten Flächen zählen demnach die Klärteiche in und außerhalb des Steinbruchgeländes, die meisten Verkehrsflächen im Umfeld dichter Bebauung sowie ein Großteil der stark versiegelten Gewerbeflächen im Nordwesten des Untersuchungsgebietes. Überdurchschnittliche Werte von 17 ° bis 18 °C sind auch im weiteren vom Modell aufgelösten Straßenraum anzutreffen. Ein mit ca. 13 °C bis 15 °C deutlich niedrigeres Temperaturniveau ist je nach Höhenlage im Bereich der meisten landwirtschaftlich genutzten Freiflächen und sonstigen offenen Grünflächen zu beobachten. Mit Bäumen bestandene Wald- und Gehölzflächen nehmen mit rund 15,5 bis 17,5 °C eine Zwischenstellung ein, was auf die abschirmende Wirkung der Baumkronen zurückzuführen ist, welche die nächtliche Abkühlung abdämpfen. Die geringsten Temperaturen sind mit teilweise unter 12 °C im Bereich der offenen Tagebaugruben wie dem untersuchten Steinbruch Asbeck oder auch dem Steinbruch im Nordosten des Untersuchungsgebietes verortet. Hier spielen zum einen die physikalischen Eigenschaften des Untergrundes wie beispielsweise die geringe Wasserspeicherfähigkeit und zum anderen die sich in der Tagebaugrube akkumulierenden Kaltluftzuflüsse (Kaltluftsee) eine Rolle. Letzterer As-

pekt wird durch die Modellergebnisse des Plan-Zustandes verdeutlicht, indem im Bereich der drei Vertiefungen des Steinbruchs mit durchweg unter 12 °C die deutlich geringsten Temperaturwerte zu beobachten sind. Deutliche Auswirkungen des Planvorhabens über die Plangebietsgrenzen hinaus sind allerdings nicht zu erwarten, wobei die detaillierten Temperaturabweichungen zwischen beiden Szenarien in der nachfolgenden Differenzenkarte besser sichtbar sind (Abbildung 8).

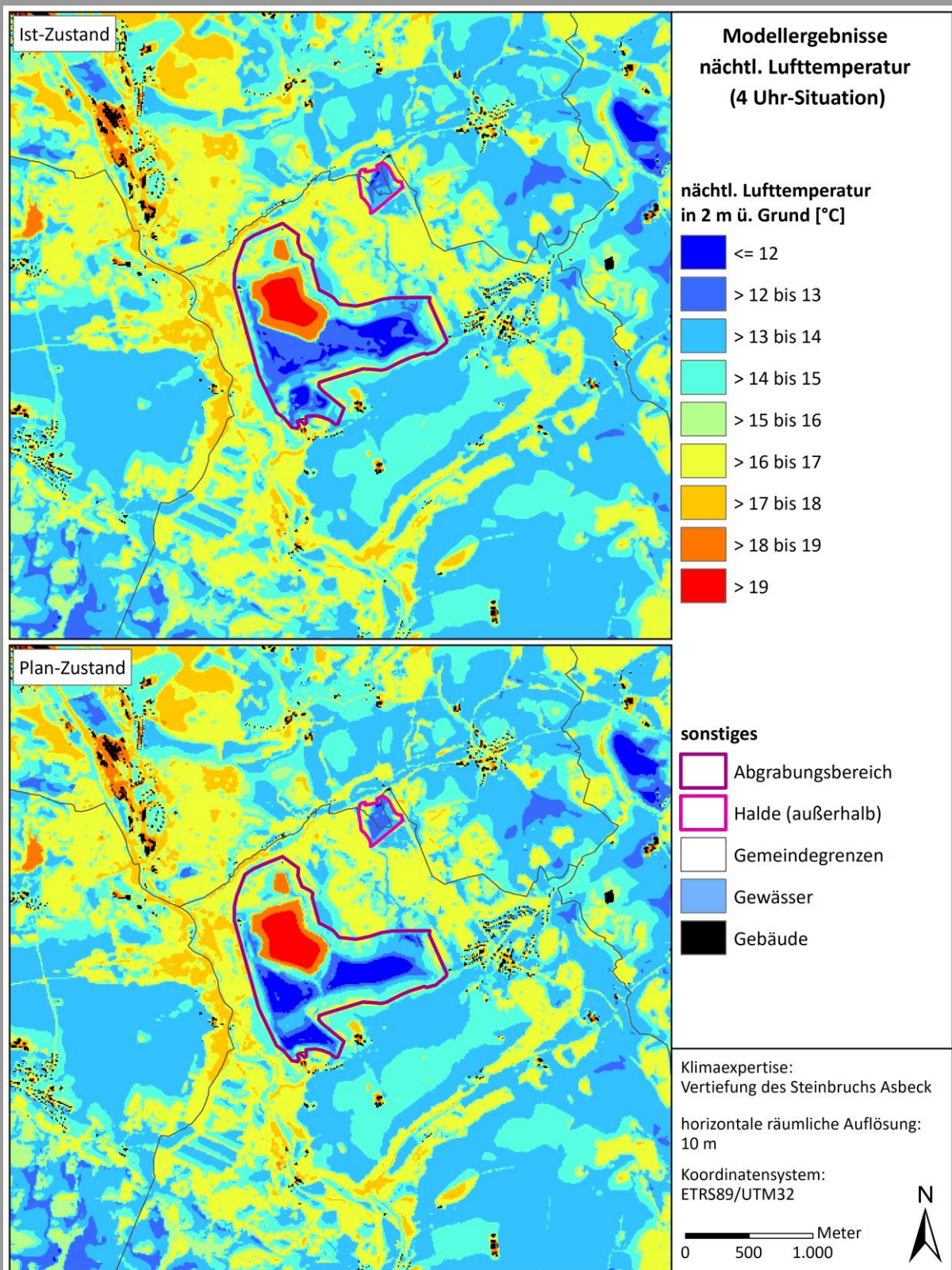


Abb. 7: Gegenüberstellung der modellierten nächtlichen Lufttemperatur (4 Uhr) des Ist- und Plan-Zustandes.

Um eine detaillierte Betrachtung der vorhabenbedingten Auswirkungen auf das nächtliche Temperaturfeld zu ermöglichen, wurde in **Abbildung 8** die Temperaturdifferenz zwischen dem Ist- und Plan-Zustand dargestellt. Die Beschreibung von Temperaturdifferenzen in der Wissenschaft erfolgt üblicherweise in der Einheit Kelvin (K). Im Sinne eines guten Verständnisses der Karten werden die Differenzen in °C angesprochen, welche mit Kelvin gleichgesetzt werden können.

Die Differenzkarte zeigt eine planungsbedingte Veränderung der Lufttemperatur innerhalb des Plangebiets zwischen -4,5 und +2,1 °C, wobei im Mittel eine leichte Erhöhung von 14,57 auf 14,67 °C. Temperaturzunahmen und -abnahmen halten sich demnach in etwa die Waage, wenn auch es durch die Modifikationen der Geländeoberfläche in Folge des fortschreitenden Abbaus zu teils deutlichen Verschiebungen innerhalb des Plangebietes kommt. So sind im Bereich der Vertiefungen insbesondere aufgrund der Kaltluftakkumulation deutliche Abnahmen und im Bereich der Hanglagen bzw. Abbruchkanten Temperaturerhöhungen zu erwarten. Letzteres ist auf den Effekt der „Warmen Hangzone“ zurückzuführen. Besonders deutliche Zunahmen der Lufttemperatur von bis zu 2,1 °C sind demnach im Bereich der neu entstehenden steilen Hanglagen in Richtung der Klärteiche zu erwarten, aber auch die sich in Folge der Vertiefung des Steinbruchs verlängernden (Steil-)Hänge weisen Temperaturzunahmen von bis zu 1,5 °C auf.

Auch die nordöstlich gelegene Halde weist durch die angenommene Aufhaldung ein verändertes Temperaturfeld auf. So ist im Bereich der Kuppe eine verringerte Lufttemperatur um bis zu 0,8 °C und im nördlichen Hangbereich eine Erhöhung um bis zu 1 °C zu erwarten.

Trotz der teilweise deutlichen Abweichungen innerhalb des Plangebietes sind im Umfeld kaum nennenswerte Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur zu erwarten. Lediglich im Südwesten des Plangebiets ist in bis zu 130 m Entfernung eine kleinräumige Temperaturzunahme von zumeist unter 0,5 °C anzunehmen. Siedlungslagen sind hiervon mit Ausnahme der direkt an den Steinbruch angrenzenden Ortschaft Horst nicht betroffen. Eine relevante Beeinträchtigung der bioklimatischen Situation stellen diese Auswirkungen allerdings nicht dar.

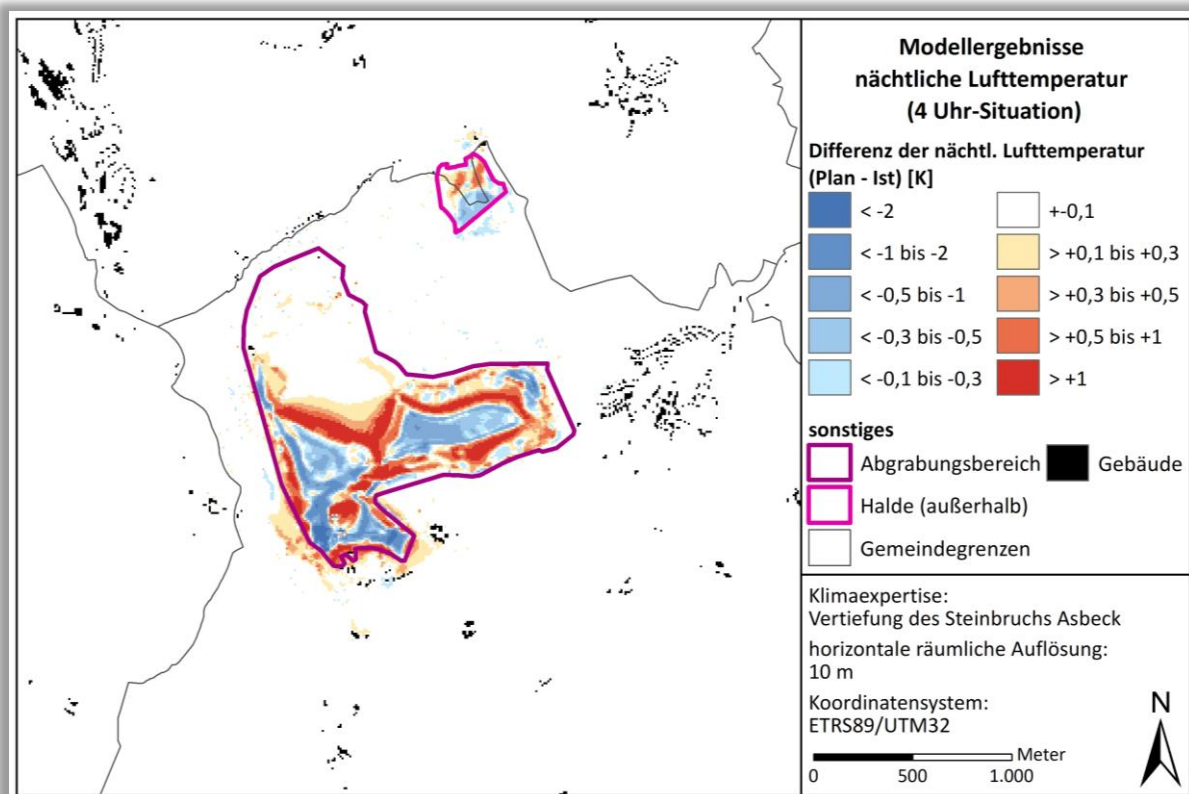


Abb. 8: Differenz der nächtlichen Lufttemperatur (4 Uhr) zwischen Ist- und Plan-Zustand.

Zu erwartende Auswirkungen der Rekultivierung

Die nach Ende des Steinbruchbetriebes einsetzende Rekultivierung führt im Wesentlichen zu einer Bildung von drei zusätzlichen Restseen im Bereich der sich im Zuge des weiteren Abbaus ausbildenden drei Geländemulden (siehe Anhang A1). Zudem ist für das zentrale bestehende Gewässer von einer zunehmenden Verlandung auszugehen, welche auf betriebsbedingten Sedimentationsprozessen sowie Aufhaldungen zurückzuführen sind. In den verlandeten Bereichen ist nachfolgend eine Sukzession durch Röhricht und Pioniergehölze zu erwarten.

Hinsichtlich der nächtlichen Lufttemperaturen wird die Rekultivierung im Bereich der neu gebildeten Gewässerflächen lokal zu einer deutlichen Erwärmung der bodennahen Luftschichten führen. Das Temperaturniveau würde sich demnach dem der Bestandsgewässer angleichen. Aufgrund der weiterhin eingetieften Lage sowie der zu den Gewässern gerichteten thermischen Flurwinde sind außerhalb des Plangebietes allerdings kaum zusätzliche Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur zu erwarten. Lediglich die aufsteigende Warmluft über den Gewässern könnte zu einer erhöhten atmosphärischen Durchmischung führen, was im Umfeld des Steinbruchgeländes zu geringfügigen Modifikationen des Temperaturfeldes führen kann.

Die einsetzende Verlandung und Sukzession im Bereich des zentralen Bestandsgewässers wird dagegen zu einer lokalen Reduktion der nächtlichen Lufttemperatur führen. Je nach Ausmaß bzw. Art der Sukzession wird sich das Temperaturniveau zwischen dem Niveau der umliegenden Frei- und Waldflächen bewegen. Wesentliche bioklimatische Auswirkungen auf das Umfeld des Steinbruchgeländes sind allerdings nicht zu erwarten.

3.2 Bodennahes Windfeld

Allgemeines: Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind (Abb. 9). Die wichtigsten nächtlichen Ausgleichsströmungen dieser Art sind Hangabwinde und Flurwinde. Mit ihrer (dichten) Bebauung stellen Stadtkörper ein Strömungshindernis dar, so dass deren Luftaustausch mit dem Umland eingeschränkt ist. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirkt sich dieser Faktor bioklimatisch zu meist ungünstig aus, wenn der Siedlungsraum schwach bis gar nicht mehr durchlüftet wird. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer (und frischer) Luft eine bedeutende klimaökologische (und immissionsökologische) Ausgleichsleistung für Belastungsräume erbringen. Da die potenzielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), wird auch der sogenannte Kaltluftvolumenstrom betrachtet.

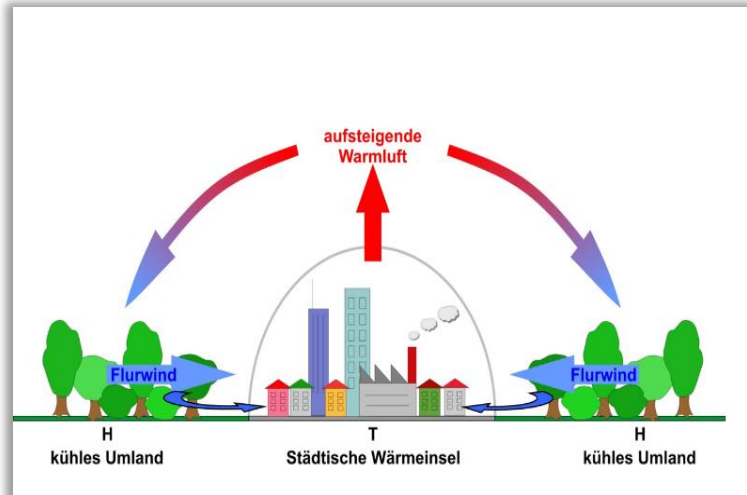


Abb. 9: Prinzipskizze Flurwind

Ergebnisse

Die Ergebniskarten stellen das zum nächtlichen Analysezeitpunkt 4 Uhr ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 30 m aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von 0,1 m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann. So ist auch erst ab dieser Windgeschwindigkeit ein leichter Windhauch auf der Haut spürbar.

Modellergebnisse Ist- und Plan-Zustand

Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, inwieweit sich die Vertiefung des Steinbruchs Asbeck auf den lokalen Luftaustausch im Umfeld des Plangebietes auswirken wird. **Abbildung 10** zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für den Ist-Zustand (oben) sowie Plan-Zustand (unten), welches sich während einer sommerlichen, windstillen Strahlungswetternacht eigenbürtig ausbildet. Die Strömungsrichtung der Kaltluft wird sowohl durch den Temperaturgradienten hin zu den wärmeren Siedlungsflächen als auch durch das Relief bestimmt. Da das Relief im Untersuchungsraum verhältnismäßig stark ausgeprägt ist und Siedlungsflächen zudem nur einen relativ geringen Flächenanteil ausmachen, spielen die Hangabwinde in diesem Fall eine dominante Rolle. Darüber hinaus stellt die Oberflächenrauigkeit, welche insbesondere durch Strömungshindernisse wie Baumstandorte und Gebäudekörper beeinflusst wird, einen wesentlichen Faktor dar. Hohe Windgeschwindigkeiten von bis zu 2 m/s sind demnach in Hanglagen bei gleichzeitig geringer Oberflächenrauigkeit anzutreffen. Dies zeigt sich u.a. anhand der erhöhten bodennahen Windgeschwindigkeiten ausgehend vom Balver Wald im Südwesten, dem Ebberg

östlich des Steinbruchs sowie der Anhöhe im Südosten. Sehr geringe bodennahe Windgeschwindigkeiten sind dagegen in der überwiegend bewaldeten Talsohle des Hönnetals sowie weiteren reliefschwächeren Wald- und Gehölzflächen vorzufinden. Mit die höchsten Windgeschwindigkeiten von bis zu 2,6 m/s sind auch innerhalb der Plangebietsgrenzen zu beobachten, was auf die sehr steilen Hänge bzw. Abbruchkanten des Steinbruchs bzw. der Halden zurückzuführen ist.

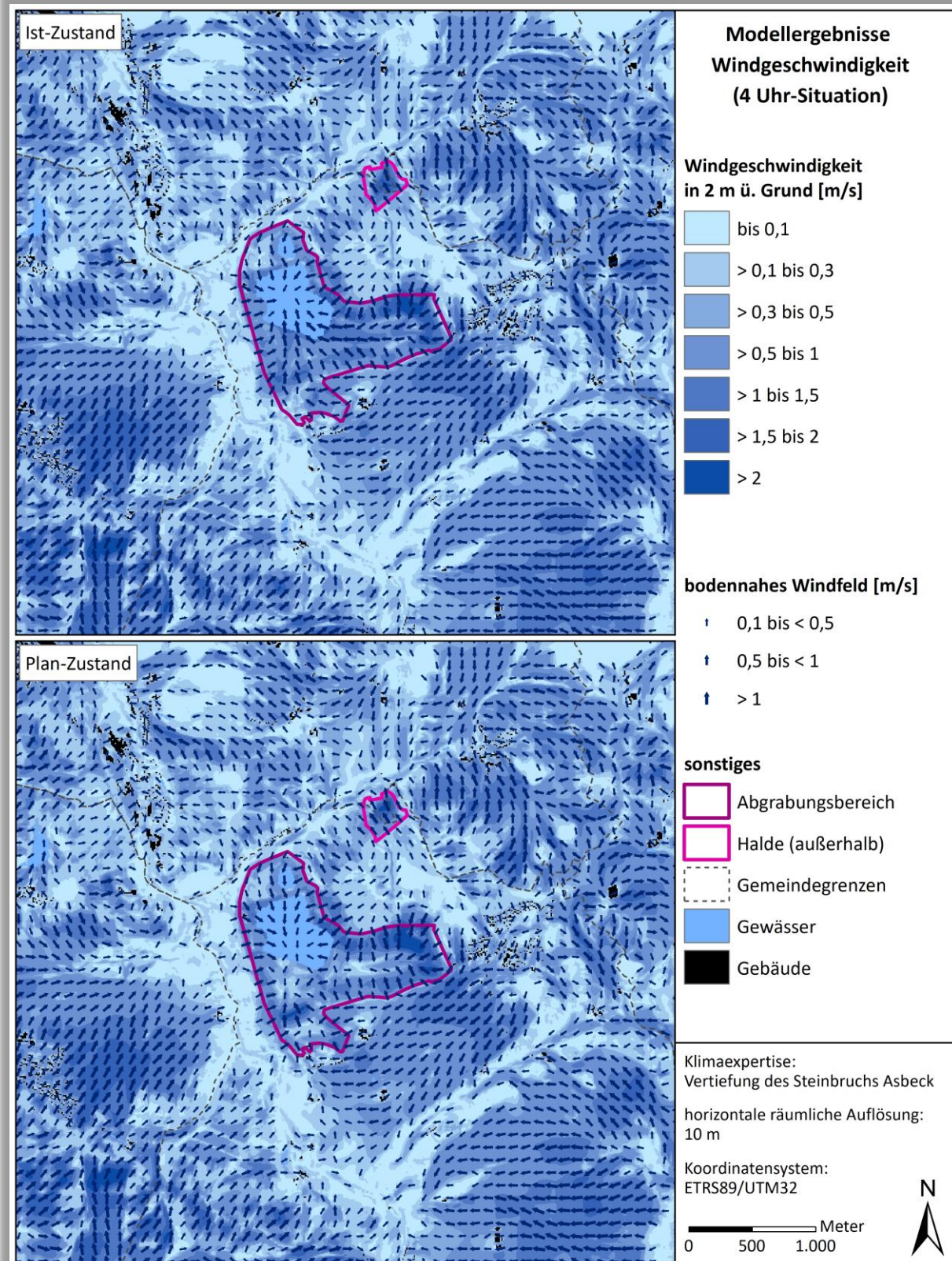


Abb. 10: Modelliertes bodennahe Windfeld des Ist- und Plan-Zustandes zum Zeitpunkt 4 Uhr.

Der Vergleich beider Szenarien zeigt in beiden Fällen die beschriebenen starken Hangabwinde, wobei die Strömung im Fall des Ist-Zustandes im Bereich der weitestgehend flachen Steinbruchsohle in Richtung der Klärteiche weiterströmen kann und zudem durch den Flurwindeneffekt unterstützt wird. Durch die Vertiefung des Steinbruchs im Plan-Zustand strömt die Kaltluft zwar weiterhin in die Grube hinein, sammelt sich nun allerdings in den beiden Vertiefungen des Steinbruchs. Letzteres wurde bereits zuvor anhand der Modellergebnisse zur nächtlichen Lufttemperatur sichtbar.

Weitere planungsbedingte Modifikationen der bodennahen Windgeschwindigkeit sind anhand der Absolutwerte nur schwer auszumachen, weshalb die weiterführende Betrachtung anhand einer Differenzkarte stattfindet.

Die **Abbildung 11** zeigt die Differenz der bodennahen Windgeschwindigkeit zwischen dem Ist- und Plan-Zustand, wobei die blauen Farbstufen eine Reduktion und die Grüntöne eine Erhöhung der bodennahen Windgeschwindigkeit signalisieren. Neben der bereits beschriebenen Reduktion der bodennahen Windgeschwindigkeit im Bereich der Steinbruchsohle zeigen sich auch deutliche Zunahmen von bis zu 1,6 m/s im Bereich der durch die Vertiefung verlängerten bzw. verlagerten Hanglagen/Abbruchkanten. In Summe halten sich die Zu- und Abnahmen dabei in etwa die Waage, was die nur minimale durchschnittliche Abnahme von 0,06 m/s im Plan-Zustand verdeutlicht. Auswirkungen über das Plangebiet hinaus sind ähnlich wie bei der nächtlichen Lufttemperatur lediglich an der südwestlichen Plangebietsgrenze auszumachen. So kommt es hier zu lokalen Veränderungen der bodennahe Windgeschwindigkeit von $\pm 0,4$ m/s, wobei die Zunahmen in diesem Bereich überwiegen. Insgesamt sind die Auswirkungen der Steinbruchvertiefung auf die bodennahe Kaltluftströmung aufgrund der sehr geringen Reichweite als klimaökologisch unbedeutend einzustufen.

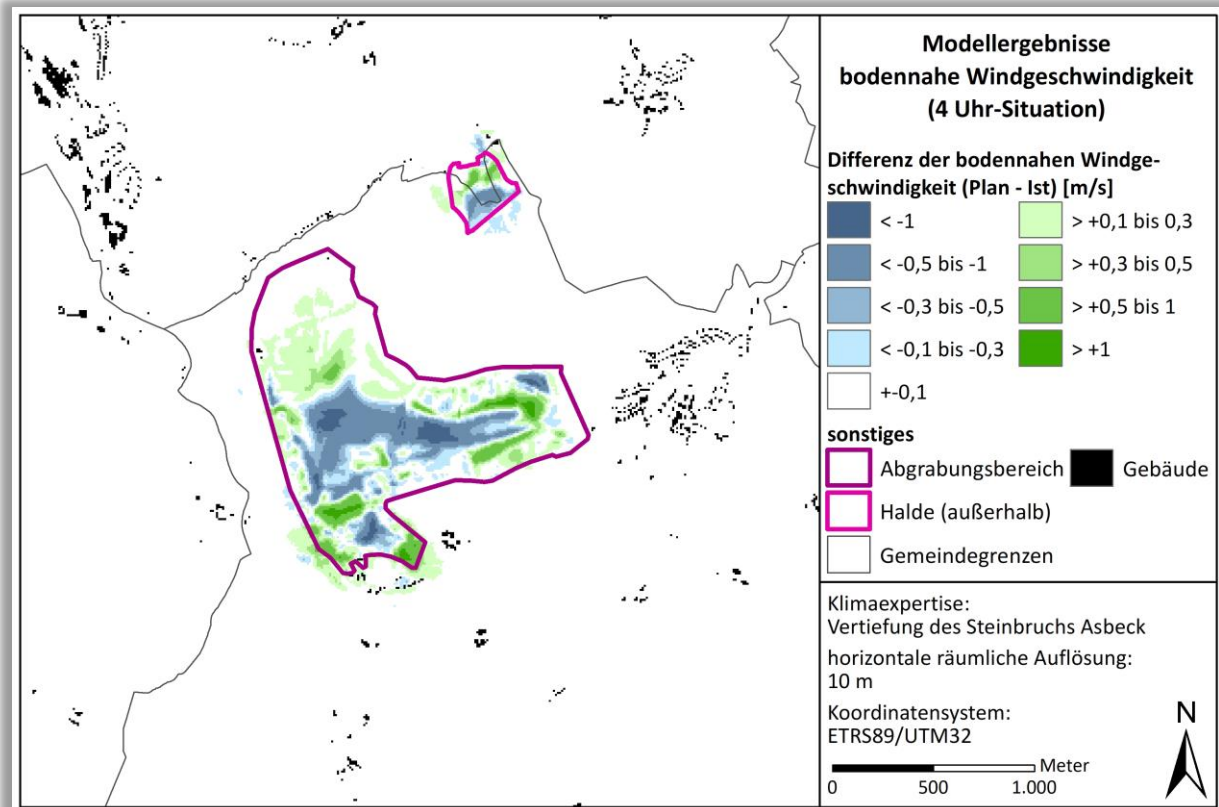


Abb. 11: Abweichung des bodennahen Windfeldes zwischen Ist- und Plan-Zustand.

Zu erwartende Auswirkungen der Rekultivierung

Die in Kapitel 3.1 beschriebene Rekultivierung des Steinbruchgeländes wird hinsichtlich der nächtlichen bodennahen Windgeschwindigkeit zu einer erhöhten Windgeschwindigkeit im Bereich der zukünftig durch Gewässer und Verlandungsbereiche gebildeten ehemaligen Steinbruchsohle führen. So wird durch die Auffüllung der Geländemulden durch Wasser bzw. Abraummateriale eine vergleichsweise rauigkeitsarme Oberfläche entstehen, welche vergleichbar mit dem Ist-Zustand ist. Die vom Ist-Zustand abweichenden Gewässerstrukturen führen aufgrund des in Summe erhöhten Gewässerflächenanteils zu tendenziell erhöhten thermischen Flurwindeffekten. Da aufgrund des aufgefüllten Zustands der Abbaufächen die Hangzonen bzw. Abbruchkanten deutlich allerdings verkleinert sind, stehen den tendenziellen Zunahmen der Windgeschwindigkeit im zentralen Abgrabungsbereich deutlich abgeschwächte Hangabwinde in den Randbereichen gegenüber. Im Nahbereich der Abbruchkanten bzw. Hänge kann dies auch außerhalb des Grabungsbereiches zu kleinräumigen Abnahmen der bodennahen Windgeschwindigkeit führen.

Perspektivisch wird eine zunehmende Sukzession der verlandeten Gewässerflächen langfristig zu einer Abnahme der bodennahen Windgeschwindigkeit vor allem im nördlichen Teil des Abgrabungsbereiches führen. Wesentliche klimaökologische Auswirkungen auf das nähere Umfeld sind nicht zu erwarten.

3.3 Kaltluftvolumenstrom

Allgemeines: Den lokalen thermischen Windsystemen kommt eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer Grünfläche als Kaltluftentstehungsgebiet nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Beurteilung der klimatischen Ausgangssituation mit dem Kaltluftvolumenstrom ein weiterer Parameter herangezogen (**Abb. 12**). Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumendichte aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom. Der Volumenstrom ist ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich dabei am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes.

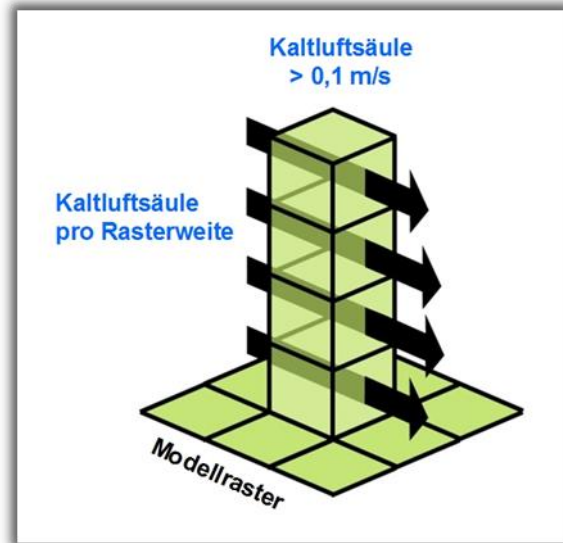


Abb. 12: Prinzipskizze zum Kaltluftvolumenstrom.

Modellergebnisse Ist und Plan-Zustand

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht zum Zeitpunkt 4 Uhr nachts zum großen Teil mit der des bodennahen Windfeldes einher. So zeigt **Abbildung 13**, dass das Plangebiet im Ist-Zustand einen lokalen Zustrom von Kaltluft aus nördlicher, östlicher und südlicher Richtung erhält und diese im Bereich des großen Klärteiches zusammenläuft. Im Plan-Zustand ändert sich die grundlegende Situation nur dahingehend, dass die Kaltluft durch die geplante Vertiefung im Bereich der Steinbruchsohle gebremst wird und in den insgesamt vergrößerten Hangbereichen verstärkt wird. Insgesamt führen diese Verschiebungen innerhalb des Abgrabungsbereichs sowie der Halde zu einer Abnahme von durchschnittlich $27,3 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ im Ist-Zustand auf $24,3 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ im Plan-Zustand. Auswirkungen über die Plangebietsgrenzen hinaus sind anhand der Absolutwerte erneut nur schwer auszumachen, weshalb die weitere Betrachtung auch im Fall des Kaltluftvolumenstroms auf Grundlage einer Differenzkarte geschieht (Abbildung 14).

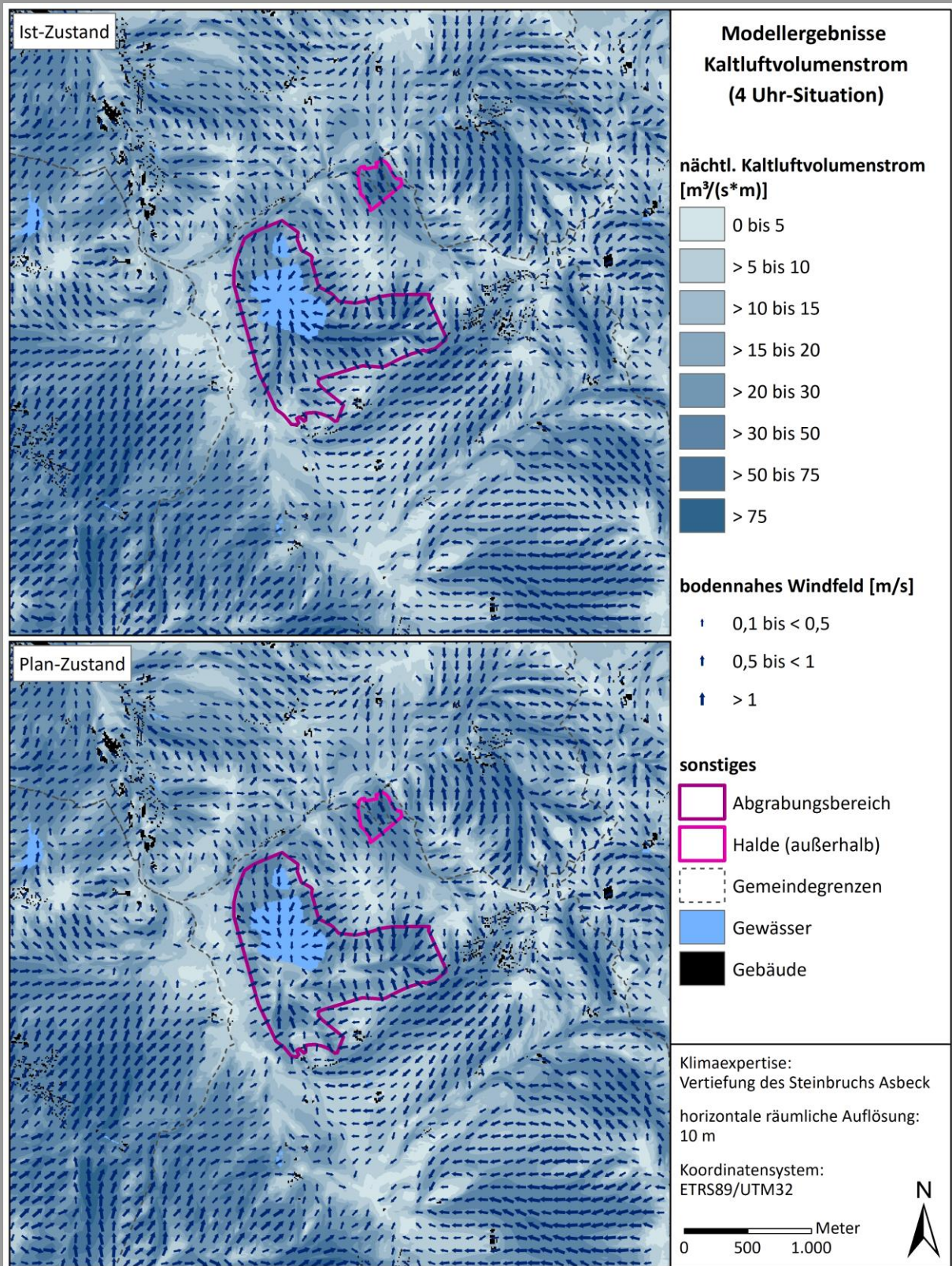


Abb. 13: Modellierter Kaltluftvolumenstrom des Ist- und Plan-Zustandes zum Zeitpunkt 4 Uhr.

Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Lediglich in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) wird ein quantitatives „Maß der Beeinflussung“ vorgeschlagen, dass eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 % im Umfeld von bioklimatisch belasteten Siedlungsgebieten als „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ ausweist. Eine Verringerung um 5 bis 10 % wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 % wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerung als „geringfügig“ angesehen.

Die **Abbildung 14** zeigt in diesem Zusammenhang die prozentuale Abweichung des Kaltluftvolumenstroms zwischen dem Ist- und Plan-Zustand. Dabei signalisieren die Rottöne eine Reduktion und die Grüntöne einer Verstärkung der Kaltluftströmung. Innerhalb der Plangebietsgrenzen zeigen sich auch in diesem Fall ähnliche Muster wie bei der Darstellung zur bodennahen Windgeschwindigkeit, wobei die Intensität der Auswirkungen aufgrund der prozentualen Skala höher erscheint. Auch im Umfeld des Plangebiets treten die Auswirkungen deutlich stärker hervor als bei den zuvor betrachteten Parametern. So sind Abnahmen des Kaltluftvolumenstroms > 10 % bis in 450 m und Zunahmen > 10 % bis in 600 m Entfernung zum Plangebiet zu beobachten. Siedlungslagen sind von diesen Auswirkungen aber nur im geringen Maße betroffen. So werden lediglich die Ortschaft Horst sowie einzelne Höfe südlich des Steinbruchs von den Auswirkungen tangiert, wobei hier insgesamt von einer zunehmenden Kaltluftdynamik auszugehen ist.

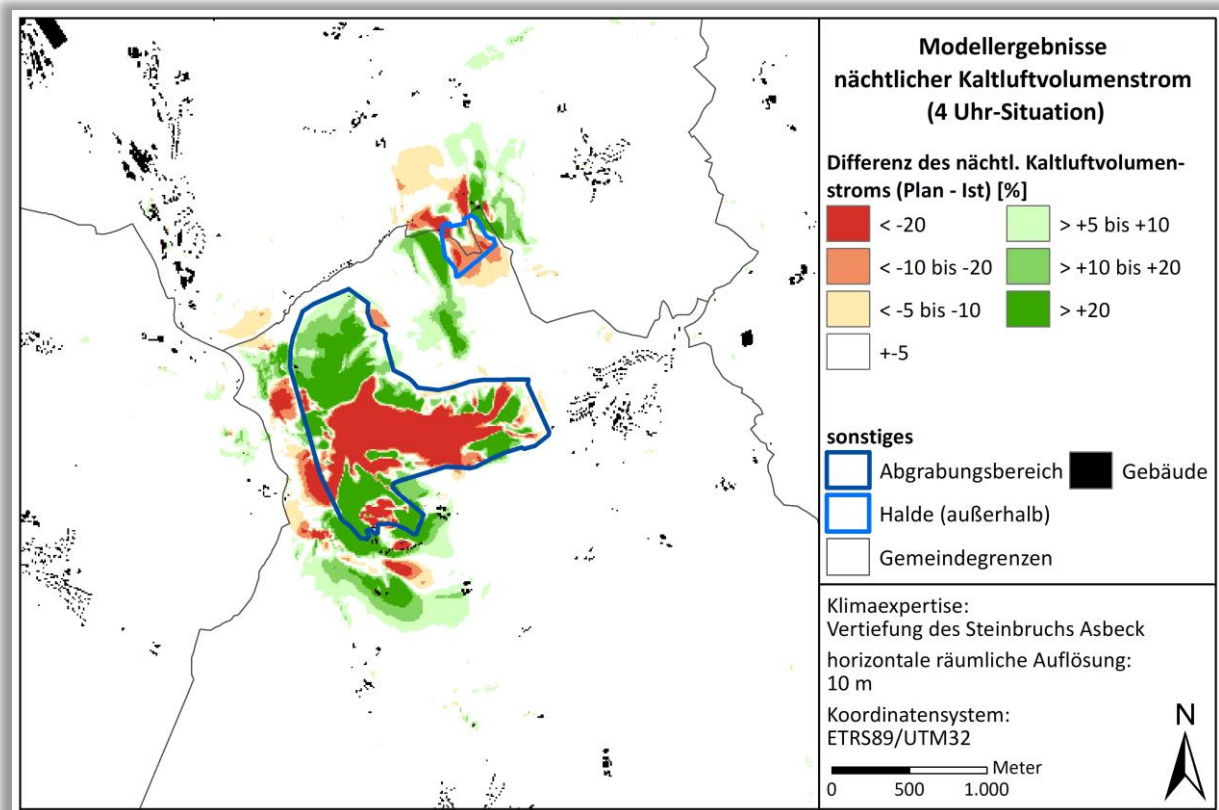


Abb. 14: Abweichung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms zwischen Ist- und Plan-Zustand.

Zu erwartende Auswirkungen der Rekultivierung

Ähnlich wie bei der bodennahen Windgeschwindigkeit ist durch die perspektivische Rekultivierung des Abgrabungsbereiches aufgrund der reduzierten Oberflächenrauigkeit eine tendenzielle Erhöhung der Kaltluftströmung im zentralen Bereich des Steinbruchgeländes zu erwarten. Dieser Effekt wird dabei durch einen zunehmenden Flurwindeffekt unterstützt, welcher sich aus der zunehmenden nächtlichen

Lufttemperatur in Folge des erhöhten Gewässerflächenanteils ergibt. Diesen Zunahmen der Kaltluftströmung wirken in den Randbereichen der Abgrabung die deutlich verkürzten Hangzonen entgegen, wodurch hier von einer lokal reduzierten Kaltluftströmung auszugehen ist.

3.4 Physiologisch Äquivalente Temperatur

Allgemeines

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen¹. Beispiele für solche Kenngrößen sind die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der UTCI (Universal Thermal Climate Index).

In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14 Uhr an einem wolkenlosen Sommertag herangezogen (HÖPPE UND MAYER 1987). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der PET um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Standorte in Deutschland vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (KUTTLER 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar und kann als die tatsächlich empfundene Temperatur angesehen werden.

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tabelle 1; VDI 2004).

Tabelle 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-RL 3787)

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

¹ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, männlich, etwa 35 Jahre; vgl. JENDRITZKY 1990).

Modellergebnisse Ist- und Plan-Zustand

Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage sowohl im Ist- als auch im Plan-Zustand vor allem über die Verschattung durch Bäume und/oder durch die kühlende Wirkung der vorhandenen Gewässer beeinflusst wird (**Abbildung 15**). Eine schwache bis nicht vorhandene Wärmebelastung mit einer PET von unter 29 °C bzw. 23 °C ist demzufolge vor allem in Waldgebieten und im Bereich von Gewässern zu erwarten. Eine hohe Wärmebelastung (stark bis extrem) tritt dagegen im Bereich offener und unverschatteter Freiflächen sowie in stärker versiegelten und baumarmen Siedlungslagen auf.

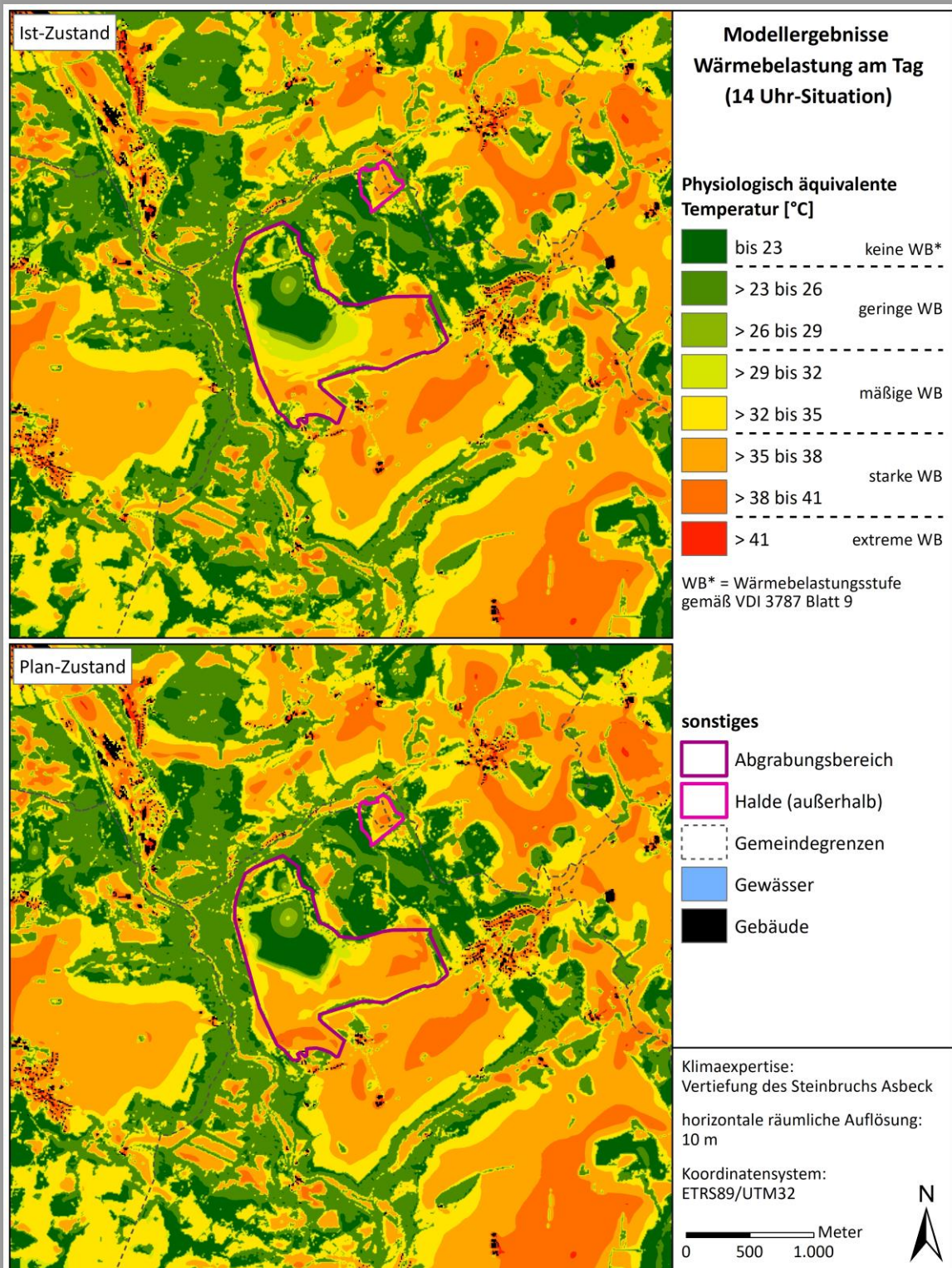


Abb. 15: Modellerte Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) im Ist- und Plan-Zustand (14 Uhr).

Auch innerhalb des weitestgehend unverschatteten Steinbruchgeländes herrscht im südlichen Teilgebiet zumeist eine starke Wärmebelastung. Diese wird in Gewässernähe durch den am Tage einsetzenden auf-landigen Wind auf ein schwaches bis mäßiges Niveau reduziert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Modell eine Wassertemperatur von 20 °C angenommen wurde. Der Kühleffekt kann demnach je nach tatsächlicher Wassertemperatur stärker oder schwächer ausfallen. Auffällig ist die im Plan-Zustand geringere Reichweite der Kühlwirkung in Richtung der Abbauf Flächen im Süden des Plangebiets. Die Vertiefung des Steinbruchs beeinträchtigt demnach auch in der Tagsituation eine bodennahe Luftzirkulation im zentralen Bereich des Steinbruchs. Die Differenzkarte (**Abbildung 16**) verdeutlicht diesen Effekt und zeigt eine flächendeckende Temperaturzunahme von bis zu 6,1 °C im südlichen Umfeld des großen Klärteiches. Darüber hinaus sind innerhalb des Abgrabungsbereichs lokale Zu- und Abnahmen von bis zu +10,3 bzw. -5,6 °C zu erwarten. Diese sind vor allem auf die veränderte Reliefsituation (Exposition des Geländes) sowie auf das Wegfallen des Baumbestandes im Südwesten des Plangebietes zurückzuführen. Relevante Auswirkungen über die Plangebietsgrenzen hinaus sind anhand der Modellergebnisse allerdings nichts auszumachen.

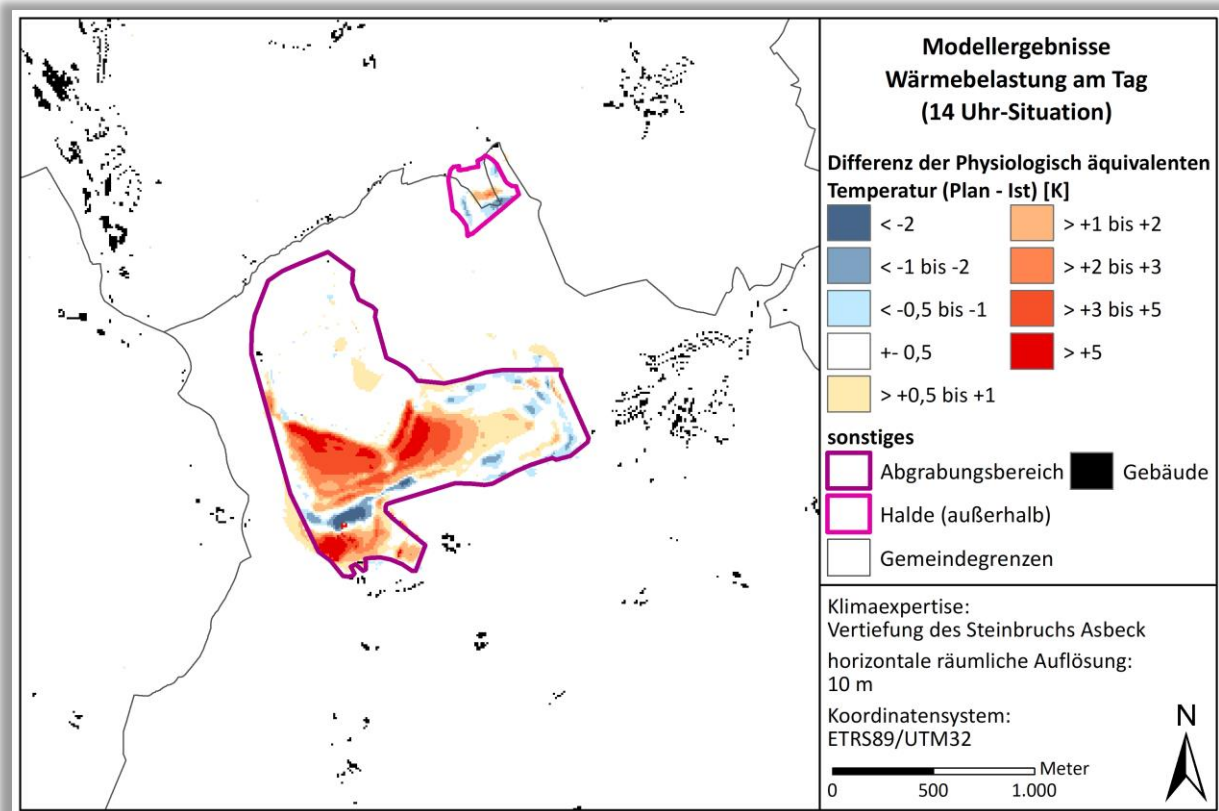


Abb. 16: Differenz der Physiologisch äquivalenten Temperatur (14 Uhr) zwischen Ist- und Plan-Zustand.

Zu erwartende Auswirkungen der Rekultivierung

Der in Folge der Rekultivierung vergrößerte Gewässerflächenanteil im Abgrabungsbereich wird in der Tagsituation zukünftig zu einer verstärkten thermischen Entlastung führen. Dies gilt vor allem für den südlichen Teil sowie die nähere Umgebung des Steinbruchgeländes. Da die entstehenden Teiche im Vergleich zum umliegenden Gelände deutlich tiefer liegen, ist die Kühlwirkung hinsichtlich der Reichweite allerdings deutlich eingeschränkt, sodass lediglich ufernahe Bereiche profitieren.

Die nördliche Teilfläche verliert aufgrund der großteiligen Verlandung des dortigen Gewässers einen Teil seiner Ausgleichsleistung. Diesem wirkt die Sukzession durch Pioniergehölze perspektivisch durch eine zunehmende Verschattung der Fläche allerdings entgegen. Gesamthaft lässt sich also festhalten, dass

durch die geplante Rekultivierung zukünftig in der Tagsituation von einer sich tendenziell verbessernden klimaökologischen Situation auszugehen ist.

4. Schlussfolgerung und Fazit

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel die Auswirkungen einer geplanten Vertiefung des Steinbruchs Asbeck auf den nächtlichen Kaltlufthaushalt sowie der Wärmebelastung am Tage zu bewerten. Als meteorologische Ausgangssituation wurde hierfür eine sommerliche wolkenlose und austauscharme Wetterlage zu Grunde gelegt, da sich während dieser Belastungssituation landnutzungs- bzw. geländespezifische Veränderungen besonders gut in den untersuchten bioklimatischen Parametern abzeichnen.

Die mit dem Klimamodell FITNAH 3D durchgeführten Modellrechnungen zeigen hinsichtlich der geplanten Vertiefung des Steinbruchs eine teils deutliche Modifikation der bioklimatischen Situation innerhalb des überplanten Abgrabungsbereiches. So entstehen durch den geplanten Abbau bis in eine Tiefe von bis zu 120 m ü. NN südlich bzw. südöstlich des Klärteiches „Blaue Lagune“ zwei Geländemulden, welche die Kaltluftströmung innerhalb des Steinbruchs deutlich beeinflussen. So führen die Geländemulden in der Nachtsituation zu einer Akkumulation von Kaltluft und demzufolge zu einer lokal verringerten nächtlichen Lufttemperatur. Demgegenüber stehen lokale Temperaturzunahmen im durch die Vertiefung verlängerten (Steil-)Hangbereich, da sich hier der meteorologische Effekt der „Warmen Hangzone“ zeigt. Außerhalb der überplanten Fläche des Steinbruchs sind insgesamt allerdings nur geringfügige Auswirkungen auf die bioklimatische Situation zu erwarten. So sind die lokal auftretenden Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur sowie das bodennahe Windfeld auf den direkten Nahbereich bis in maximal 150 bzw. 100 m Entfernung zum Plangebiet begrenzt und tangieren siedlungstechnisch lediglich die Ortschaft Horst, wobei dessen günstige bioklimatische Situation weiterhin erhalten bleibt. Die Auswirkungen auf den nächtlichen Kaltluftvolumenstrom sind mit einer maximalen Reichweite von ca. 600 m zwar deutlich weiträumiger, haben insgesamt allerdings keine nachteiligen Auswirkungen auf umliegende Siedlungslagen. Hinsichtlich der Tagsituation ist lediglich innerhalb des Abgrabungsbereiches von einer insgesamt deutlich erhöhten Wärmebelastung auszugehen. Die Auswirkungen reichen dabei aber kaum über die Plangebietsgrenzen hinaus und betreffen somit auch keine umliegenden Siedlungslagen.

Die nach Ende des Steinbruchbetriebes geplante Rekultivierung, bei welcher es sich im Wesentlichen um die Bildung von drei Teichen in den drei südlichen Abbaumulden sowie die großteilige Verlandung der „Blauen Lagune“ mit anschließender Sukzession handelt, wird sich voraussichtlich nicht wesentlich auf die klimaökologische Situation im Umfeld des Abgrabungsbereiches auswirken. So ist in der Nachtsituation durch den erhöhten Gewässerflächenanteil zwar von einer lokal zunehmenden nächtlichen Lufttemperatur auszugehen. Im Zusammenspiel mit der überwiegend im Gelände eingetieften Lage des Abgrabungsbereiches führt dies allerdings zu einem weiterhin durchgängigen Zustrom von Kaltluft, wodurch es bodennah zu keiner relevanten Verlagerung erwärmter Luftmassen kommen wird. Die in der Nachtsituation verstärkt über den Gewässern aufsteigende Warmluft kann im Umfeld des Abgrabungsbereiches zu leichten Modifikationen der Kaltluftströmungen führen, welche allerdings keine nennenswerten Veränderungen der klimaökologischen Situationen herbeiführen.

Auch in der Tagsituation sind keine weiträumigen Auswirkungen auf das Bioklima zu erwarten, jedoch wird der erhöhte Gewässerflächenanteil insgesamt zu einer Erhöhung der thermischen Ausgleichsleistung im direkten Nahbereich der sich bildenden Gewässer führen. Der wesentlich verkleinerten „Blauen La-

gung“ wird in diesem Zusammenhang ein wesentlicher Teil der Kühlwirkung verloren gehen. Perspektivisch wird dies jedoch durch eine zunehmende Sukzession (Schattenwirkung durch Bäume/Gehölze) kompensiert bzw. überkompensiert werden können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in Anbetracht der sowohl in der Nacht- als auch in der Tagsituation nur geringfügigen planungsbedingten Auswirkungen auf die bioklimatische Situation die geplante Vertiefung bzw. Rekultivierung des Steinbruchs Asbeck aus klimaökologischer Sicht vertretbar ist.

5. Quellen

- HÖPPE, P. & H. MAYER (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. *Landschaft und Stadt* 19 (1), S. 22-29.
- JENDRITZKY, G. ET AL. (1990): Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes KlimaMichel-Modell). *Beitr. Akad. Raumforsch. Landesplan.* Nr. 114.
- KUTTLER, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: *Wiss. Mitt. aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e.V. Leipzig.* Band 13.
- MATZARAKIS, A. UND H. MAYER 1996: Another kind of environmental stress: Thermal stress. *WHO Newsletter* No. 18: 7-10.
- UBA 2016: Heizen, Raumtemperatur, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur (letzter Zugriff: 01.02.2023).
- VDI (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE) (2003): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5. Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft.
- VDI (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE) (2004): VDI-Richtlinie 3787. Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima- und Lufthygiene in räumlichen Planungen. Beuth-Verlag, Berlin.
- VDI (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE) (2008a): VDI-Richtlinie 3785. Blatt 1. Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.

6. Anhang

Anhang A 1: Geplante angepasste Rekultivierung nach Vertiefung des Steinbruchs Asbeck (Stand:29.06.2022).



Anhang A 2: Genehmigte Rekultivierung der zusammengelegten Steinbrüche Asbeck und Horst (Stand: Oktober 2013).

