

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Helmut-A.-Müller Straße 1 - 5
82152 Planegg

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.mbbm-ind.com

Dr. Johannes Sander
Telefon +49(89)85602 3142
johannes.sander@mbbm-ind.com

22. September 2023
M176018/01 Version 1 SAND/WG

Planungsverband Straßkirchen / Irlbach Bebauungsplan „Gemeinsames Sondergebiet Straßkirchen / Irlbach“

Mikroklimatische Simulation

Bericht Nr. M176018/01

Auftraggeber:

**BMW Group
Immobilienmanagement
80788 München**

Bearbeitet von:

Dr. Johannes Sander

Berichtsumfang:

Insgesamt 34 Seiten

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung	7
2 Mikroklima Lufttemperatur	9
3 Methodik	10
3.1 Meteorologische Datenanalyse	10
3.2 Eingangsdaten	14
3.3 Modellaufbau	14
3.4 Meteorologische Eingangsdaten	15
4 Klimatop	17
5 Modellergebnisse	19
5.1 Physiologisch Äquivalente Temperatur	20
5.2 Temperatur in 2 m Höhe	25
5.3 PLAN-Fall	27
5.4 Differenzbetrachtung	29
5.5 Kaltluft	32
6 Bewertung und Fazit	33
7 Literatur und Quellenverzeichnis	34

Zusammenfassung

Die BMW Group (nachstehend auch „Vorhabenträgerin“) plant die Errichtung eines Standortes für die Montage von Hochvoltbatterien im Bereich der Gemeinden Straßkirchen und Irlbach.

Um die erforderlichen planungsrechtlichen Voraussetzungen für das Ansiedlungsvorhaben der BMW Group zu schaffen, soll ein qualifizierter Bebauungsplan „Gemeinsames Sondergebiet Straßkirchen / Irlbach – Sondergebiet Komponentenfertigung für Kfz-Energiesysteme“ aufgestellt werden. Des Weiteren ist im Bereich des Planungsgebietes die Änderung des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Straßkirchen sowie des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Irlbach vorgesehen.

Die Art der baulichen Nutzung wird im Bebauungsplan wie folgt beschrieben:

Das Sondergebiet dient der Unterbringung von großflächig produzierenden Gewerbebetrieben der Automobilbranche für die Komponentenfertigung von Kfz-Energiesystemen, sowie von Nebeneinrichtungen und Anlagen mit direktem Funktionsbezug zum Gewerbebetrieb.

Zulässige Nutzungen:

- *Entwicklung, Herstellung und Montage von Komponenten für Kfz-Energiesysteme inkl. erforderlicher Infrastruktur (z.B. Büros, Parkplätze, Kantinen, Werksarzt, Energieversorgung, Feuerwehr, IT)*
- *Lagerung und Umschlag von Komponenten für die Automobilproduktion*
- *Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen*

Unzulässige Nutzungen:

- *selbständige Betriebe mit einer Betriebsgröße < 3 ha (Ausnahme 3 zu Ziff. 3.3 (Z) des LEP)*
- *Eigenständige Logistikbetriebe*
- *Batteriezellfertigung*
- *Batterierecycling*
- *Gießereien*
- *Kunststoffspritzgussanlagen*
- *Lackierereien*
- *Stahlpresswerke*
- *Herstellung von Faserverbundwerkstoffen unter der Verwendung von Harzen*
- *Energieerzeugung mittels Verbrennungsprozessen (ausgenommen Notstromaggregate)*
- *Tankstellen*

Die im Geltungsbereich des Bebauungsplans möglichen Nutzungen sind durch die vorstehend genannten Festsetzungen zur Art der baulichen Nutzung eingeschränkt.

Insbesondere verbleibt als mögliche Nutzung die genannte Montage von Hochvoltbatterien (HV). Unter „Komponentenfertigung für Kfz-Energiesysteme“ wären bei den explizit genannten zulässigen und unzulässigen Nutzungen z. B. noch die Montage von Brennstoffzellen, die Montage von Steuerelektronik für HV oder die Montage von Elektromotoren möglich.

Wie eingangs beschrieben, ist als Nutzung im Geltungsbereich des Bebauungsplans die Montage von Hochvoltbatterien vorgesehen. Geplant ist die Produktion von bis zu 580.000 Einheiten Hochvoltbatterien pro Jahr (580.000 E/a).

Die Anlage zur Montage von Hochvoltbatterien wird in neu zu errichtenden Gebäuden/Hallen installiert. Das Vorhaben soll in mehreren Ausbaustufen (BA1, BA2 und ggf. BA3) schrittweise realisiert werden. Im BA3 sollen die Gebäude aus BA1 und BA2 erweitert und zwei zusätzliche Gebäude errichtet werden. Im Ausbau inkl. BA3 wird ein sogenanntes Wechselflächenkonzept realisiert.

Für die mikroklimatische Untersuchung wird die gesamte Fläche von 134 ha mit realisierter Werkserweiterung (BA3) inkl. geplanter Grundflächenzahl von 0,8 und max. angenommener Gebäudehöhe von 19,5 m berücksichtigt.¹

In diesem Gutachten werden die Auswirkungen der avisierten Nutzungen des neuen Montagewerks auf eine mögliche zusätzliche Belastung während eines heißen Sommertages, der auf eine tropische Nacht folgt, untersucht. Hierzu werden Modellrechnungen mit dem Stadtklimamodell PALM durchgeführt.

¹ Im Rahmen weiterer Gutachten aus dem Hause Müller-BBM (u. a. Luftreinhaltung, M175645/01; Prüfung auf Anwendbarkeit der 12. BImSchV (StörfallV), M175397/01 sowie Geräuschimmissionsschutz, M175459/02) wurden folgende Fälle für die potenzielle Nutzung „Montage von Hochvoltbatterien“ geprüft:

- **Planfall 1:** Realisierung von BA1 und BA2 mit einer Gebäudehöhe von rund 12,7 m, Montagekapazität von 726.000 E/a bei einer Stundenleistung von 105 E/h¹.
- **Planfall 2:** Realisierung von BA1, BA2 sowie BA3 mit einer Gebäudehöhe von 19,5 m, Montagekapazität von 726.000 E/a bei einer Stundenleistung von 180 E/h im branchenüblichen Wechselflächenkonzept¹.
- **Planfall 3:** Realisierung von BA1, BA2 sowie BA3, qualitative Betrachtung für eine Montagekapazität von ca. 1.577.000 E/a bei einer Stundenleistung von 180 E/h.

Diese Fallbetrachtungen sind für mikroklimatische Fragestellungen nur bedingt sinnvoll, da diese auf die Produktionszahlen abstellen. Für die mikroklimatischen Gutachten wurde demnach konservativ von einer maximal möglichen Bebauung des Plangebietes ausgegangen.

Es werden zwei Szenarien betrachtet und hinsichtlich der Lufttemperatur miteinander verglichen:

- IST-Fall: Ist-Zustand der derzeit bestehenden Nutzung (Landwirtschaftliche Nutzung)
- PLAN-Fall: Planfall mit angestrebter Nutzung (neues Montagewerk BMW im strukturellen Vollausbau auf 134 ha Fläche)

Das Stadtklimamodell berücksichtigt die Geländestruktur, die Oberflächenbeschaffenheiten und kleinräumige Strömungshindernisse in ihrer dreidimensionalen räumlichen Ausdehnung.

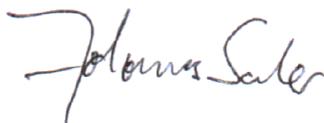
Die Simulationen zeigen folgende Ergebnisse:

Die Auswirkungen durch die im Rahmen des geplanten Bebauungsplans bzw. der geplanten Nutzung vorgesehenen Nutzungsänderungen auf die Hitzebelastung während eines heißen Sommertags beschränken sich in den Modell-Simulationen im Wesentlichen auf das Areal der Überbauung. Über den neu zu errichtenden Gebäuden und den neu versiegelten Flächen steigt die nächtliche Lufttemperatur um vier bis fünf Kelvin an. Bereits in den unversiegelten Flächen um die neu zu errichtenden Gebäude herum bleibt der nächtliche Temperaturanstieg auf ca. ein bis zwei Kelvin beschränkt.

Die Überbauung kann zu einer blockierenden Situation von lokal entstehender Kaltluft führen. Warme Luft bleibt in unmittelbarer Umgebung der Gebäude stehen, bis sich eine ausreichend starke Luftströmung ausgebildet hat, die umgebende kältere Luft um die Gebäude herumführt und wärmere Luft aus dem Gebäudebereich abtransportiert.

Geringe Unterschiede im Windgeschehen führten am Modelltag „2018-09-29“ zu einer Blockade auf der Westseite der Gebäude mit reminiszenter Wärmefahne in nördlicher Richtung. In der folgenden Nacht vom 2018-09-30 entstand die Blockade auf der Ostseite der Gebäude mit einer Wärmefahne die sich nach Westen bis zum Rand von Straßkirchen erstreckt. Ein Eindringen von erwärmter Luft in die Wohnbebauung kann nicht festgestellt werden.

Die Überbauung trägt zu Änderungen des lokalen, mikroklimatischen Temperaturgeschehen bei. Eine zusätzliche belastende Wirkung bleibt in der heißen Sommernacht auf das Überbauungsgebiet beschränkt. Die human-bioklimatische Wirkung wird durch eine Betrachtung des PET Index dargestellt. Die Änderungen der PET aufgrund der Überbauung sind marginal. Im Vergleich zum IST-Fall trägt die Überbauung im PLAN-Fall nicht zu einer merklichen Änderung der bioklimatischen Situation bei.



Dr. Johannes Sander
(Bearbeitung)



Dipl.-Geoökol. Michael Kortner
(Qualitätssicherung)

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.

1 Situation und Aufgabenstellung

Die BMW Group (nachstehend auch „Vorhabenträgerin“) plant die Errichtung eines Standortes für die Montage von Hochvoltbatterien im Bereich der Gemeinden Straßkirchen und Irlbach.

Um die erforderlichen planungsrechtlichen Voraussetzungen für das Ansiedlungsvorhaben der BMW Group zu schaffen, soll ein qualifizierter Bebauungsplan „Gemeinsames Sondergebiet Straßkirchen / Irlbach – Sondergebiet Komponentenfertigung für Kfz-Energiesysteme“ aufgestellt werden. Des Weiteren ist im Bereich des Planungsgebietes die Änderung des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Straßkirchen sowie des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Irlbach vorgesehen.

Die Art der baulichen Nutzung wird im Bebauungsplan wie folgt beschrieben:

Das Sondergebiet dient der Unterbringung von großflächig produzierenden Gewerbebetrieben der Automobilbranche für die Komponentenfertigung von Kfz-Energiesystemen, sowie von Nebeneinrichtungen und Anlagen mit direktem Funktionsbezug zum Gewerbebetrieb.

Zulässige Nutzungen:

- *Entwicklung, Herstellung und Montage von Komponenten für Kfz-Energiesysteme inkl. erforderlicher Infrastruktur (z. B. Büros, Parkplätze, Kantinen, Werksarzt, Energieversorgung, Feuerwehr, IT)*
- *Lagerung und Umschlag von Komponenten für die Automobilproduktion*
- *Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen*

Unzulässige Nutzungen:

- *selbständige Betriebe mit einer Betriebsgröße < 3 ha (Ausnahme 3 zu Ziff. 3.3 (Z) des LEP)*
- *Eigenständige Logistikbetriebe*
- *Batteriezellfertigung*
- *Batterierecycling*
- *Gießereien*
- *Kunststoffspritzgussanlagen*
- *Lackierereien*
- *Stahlpresswerke*
- *Herstellung von Faserverbundwerkstoffen unter der Verwendung von Harzen*
- *Energieerzeugung mittels Verbrennungsprozessen (ausgenommen Notstromaggregate)*
- *Tankstellen*

Die im Geltungsbereich des Bebauungsplans möglichen Nutzungen sind durch die vorstehend genannten Festsetzungen zur Art der baulichen Nutzung eingeschränkt.

Insbesondere verbleibt als mögliche Nutzung die genannte Montage von Hochvoltbatterien (HV). Unter „Komponentenfertigung für Kfz-Energiesysteme“ wären bei den explizit genannten zulässigen und unzulässigen Nutzungen z. B. noch die Montage von Brennstoffzellen, die Montage von Steuerelektronik für HV oder die Montage von Elektromotoren möglich.

Auswirkungen von Art und Maß der zulässigen Nutzungen wurden unter Beachtung der Angaben von BMW beurteilt. Dies erfolgte anhand der Montage von Hochvoltbatterien inkl. zugehörigem Kfz-Verkehr im Geltungsbereich des Bebauungsplans.

Wie eingangs beschrieben, ist als Nutzung im Geltungsbereich des Bebauungsplans die Montage von Hochvoltbatterien vorgesehen. Geplant ist die Produktion von bis zu 580.000 Einheiten Hochvoltbatterien pro Jahr (580.000 E/a).

Die Anlage zur Montage von Hochvoltbatterien wird in neu zu errichtenden Gebäuden/Hallen installiert. Das Vorhaben soll in mehreren Ausbaustufen (BA1, BA2 und ggf. BA3) schrittweise realisiert werden. Im BA3 sollen die Gebäude aus BA1 und BA2 erweitert und zwei zusätzliche Gebäude errichtet werden. Im Ausbau inkl. BA3 wird ein sogenanntes Wechselflächenkonzept realisiert.

Im Rahmen der Bauleitplanung ist nach § 1 Abs. 6 Nr. 7 BauGB zu prüfen, ob hinsichtlich des betreffenden Belangs des Klimaschutzes und der Klimaanpassung grundsätzliche, der Aufstellung des Bebauungsplans entgegenstehende Bedenken bestehen.

Die qualitativ orientierende mikroklimatologische Begutachtung (siehe Gutachten der Müller-BBM, Bericht Nr. M175458/02) wird durch eine Klimasimulation erweitert. Die Simulation zeigt mikroklimatische Änderungen innerhalb und in der näheren Umgebung des Bebauungsgebietes.

2 Mikroklima Lufttemperatur

Die lokale Lufttemperatur im Wirkungsbereich des Menschen wird in einer Höhe von 2 Meter über Grund erfasst. Die Temperatur ist wesentlich durch die Strahlungsbilanz geprägt, bei der die von der Sonne einstrahlende kurzwellige Strahlung am Boden reflektiert wird und als langwellige Strahlung ihre wärmende Wirkung entfaltet. Dabei wird sowohl der Boden als auch die Luft erwärmt. Das Ausmaß der Erwärmung ist u. a. von der Beschaffenheit des Bodens und den physikalischen Eigenschaften seiner Nutzung abhängig. Eine stark reflektierende Oberfläche, wie z. B. Schnee, reflektiert nahezu die gesamte Strahlung und erwärmt sich weniger als eine Fläche landwirtschaftlicher Nutzung. Mit Beton oder ähnlichen Materialien versiegelte Flächen erwärmen sich stark und geben die Wärme über einen langen Zeitraum an die Luft ab.

Lokale Windströmungen werden durch eine räumlich unterschiedliche Temperatur erzeugt. Umgekehrt trägt der Wind dazu bei, räumliche Temperaturunterschiede auszugleichen. Eine geneigte Topografie kann Windströmungen verursachen, bei der kältere Luftpakete (die „schwerer“ sind als die umgebenden wärmeren Luftpakete) entlang den geneigten topografischen Flächen zu fließen beginnen. Solche Kaltluftströmungen tragen in sommerlichen Hitzeperioden zu einer lokalen Abkühlung der Lufttemperatur bei.

Die mikroklimatischen Bedingungen treten u. U. nur unter besonderen klimatischen Situationen (z. B. während sommerlicher Hitzetage) auf. Im Mittel, über ein ganzes Jahr gesehen, können sie eventuell von untergeordneter Bedeutung sein und z. B. für das Immissionsgeschehen von Luftschadstoffen kaum eine Rolle spielen. In ihrer spontanen bio-klimatischen Wirkung können sie jedoch zu medizinischen Defiziten im Wohlergehen von Teilen der Bevölkerung beitragen.

Das Ziel der Untersuchung ist es, Änderungen der bio-klimatischen Wirkung während eines sommerlichen Hitzetags nach einer Überbauung mit einer mikroklimatischen Simulation zu identifizieren.

3 Methodik

Die mikroklimatische Simulation erfolgt mit dem Stadtklimamodell PALM [1], [2]. Das Modell ermöglicht es, atmosphärische Prozesse in Städten und Bebauungsgebieten bis zur Ebene von Gebäuden zu simulieren und flächendeckend zu erfassen. Mit dem Modell PALM wird die Wirkung der zeitlichen und räumlichen Ausdehnung von thermisch verursachten Stressoren (Human Thermal Comfort mit den Indices Universal Thermal Climate Index, UTCI und Physiologischer Äquivalenztemperatur PET) ermittelt.

Die Simulation erfolgt für einen Tag mit hochsommerlicher Hitze, sog. „Heiße Tage“ oder „hot days“. Ein heißer Tag ist ein Tag an dem die Temperatur 30 °C überschreitet. Die Anzahl heißer Tage ist ein bedeutender Indikator des Klimawandels. Trotz starker Schwankungen zwischen den Jahren ist durch den Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten mit einer deutlichen Zunahme von heißen Tagen in den Sommermonaten zu rechnen.

Die Anzahl heißer Tage wird aus Temperaturmessungen an den Messstationen des Deutschen Wetterdienstes ermittelt und aus diesen wird ein Tag für die Klimasimulation ausgewählt.

Die Klimasimulation eines ausgewählten heißen Tages erfolgt über eine mehrstufige Simulation: zunächst wird mit einem hochauflösenden Wettermodell das komplette Wettergeschehen des ausgewählten Tages in einer Nachhersage (genauer mit einer objektiven Datenassimilation) nachgerechnet. Datengrundlage für die Nachhersage sind ERA-5 Re-Analysen.

Das Wettermodell schließt die weite Umgebung von ca. 120 km um das Bebauungsplangebiet ein und erfasst die notwendigen meteorologischen Eingangsparameter für die eigentliche Klimasimulation. Insbesondere werden die meteorologischen Verhältnisse im Donautal und im angrenzenden Bayerischen Wald als großräumig dominierende Einflussfaktoren auf das mikroklimatische Geschehen im Bebauungsgebiet ermittelt.

Aufbauend auf dieser Wetternachhersage wird das Stadtklimamodell betrieben. Die Eingangsdaten in das Stadtklimamodell werden zu jeder halben Stunde aus der Wetternachhersage in das Stadtklimamodell übertragen. Dies gewährleistet, dass mit dem Stadtklimamodell der zeitliche Ablauf des ausgewählten heißen Tages nachvollzogen wird.

3.1 Meteorologische Datenanalyse

Das Bebauungsgebiet befindet sich bei Straßkirchen / Irlbach im Donautal. Die nächstgelegene Messstation des DWD ist Straubing (DWD 4911), ca. 20 westlich des Untersuchungsareals.

Zusätzlich zu den Messdaten werden stündliche Werte der Temperatur und Windgeschwindigkeit aus ERA-5 Re-Analysen in Betracht gezogen. ERA-5 Daten liegen auf einem Raster von 0.25° vor. Abbildung 1 zeigt die räumliche Lage des Untersuchungsgebietes sowie die Positionen der Messstation und der ERA-5 Datenpunkte.

Die Station Straubing erfasst die Temperatur seit 1975. Die Daten der Station können als weitestgehend homogen erachtet werden: Die Station befindet sich seit 1975 am selben Standort. Im Jahr 1996 wurde die Registrierung der Daten von einer analogen Erfassung mit einem Thermohygrographen auf eine automatische Erfassung umgestellt. Seit 2001 werden die Daten aus SYNOP Meldungen erzeugt.

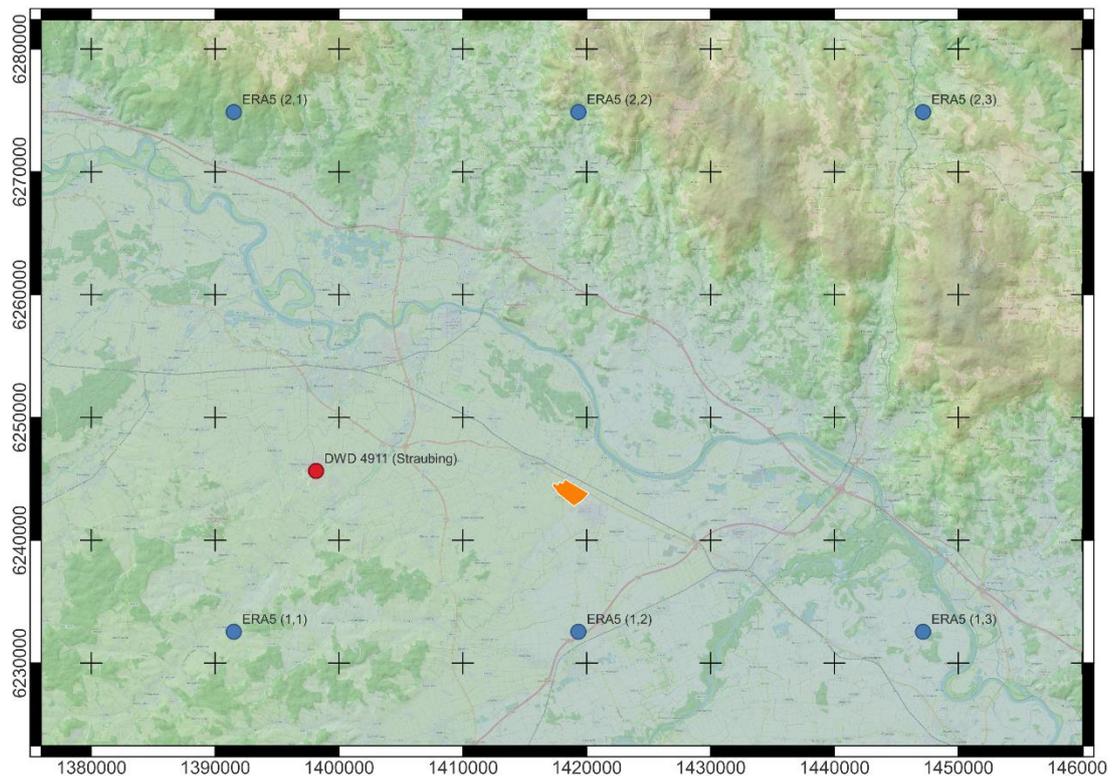


Abbildung 1. Übersicht meteorologischer Datenquellen. Das Untersuchungsgebiet ist in orangener Farbe markiert. Die DWD Station Straubing ist mit einem roten Punkt und die nächstgelegenen Datenpunkte aus ERA-5 sind mit blauen Punkten gekennzeichnet. Kartenhintergrund: OpenStreetMap, Topografische Daten: EU-DEM [4].

Vorgängig zeigt eine Datenanalyse, dass die 2-Meter-Temperatur aus ERA-5 mit den Messwerten aus der DWD Station Straubing hochgradig korrelieren. Der Pearson-sche Korrelationskoeffizient erreicht einen Wert von über 98% und eine lineare Regression zwischen den Messungen und den ERA-5 Daten zeigt eine Steigung von 0.966 und einen Bias von -0.9 °C (mit geringfügig unterschiedlichen Werten je nach Datenpunkt aus ERA-5). Die Regression ist statistisch signifikant mit p-Wert kleiner 10^{-16} , bzw. einem Signifikanzniveau besser als 99,99 %. Der Bias deutet darauf hin, dass es sich bei den Messdaten um eine Punktmessung handelt, die kleinräumig determiniert ist, während ERA-5 Daten eine räumlich integrierte Temperatur darstellen.

Aus den Messwerten der DWD Station und den Datenpunkten aus ERA-5 wird die Anzahl der heißen Tage ermittelt, siehe Tabelle 1. Aus den ERA-5 Daten ist ersichtlich, dass westlich des Plangebietes mehr heiße Tage zu erwarten sind als östlich davon. Im nördlich gelegenen Bayerischen Wald sind weniger heiße Tage zu erwarten als im Tal der Donau. Dies deckt sich mit Karten, die dem Klimaatlas des DWD entnommen werden, siehe Abbildung 2.

Tabelle 1. Anzahl der heißen Tage, aus Messdaten der DWD Station Straubing und verschiedenen Datenpunkten aus ERA5. Die Lage der ERA5 kann aus Abbildung 1 entnommen werden.

Jahr	DWD	ERA5 (1,1)	ERA5 (1,2)	ERA5 (1,3)	ERA5 (2,1)	ERA5 (2,2)	ERA5 (2,3)
2010	44	62	63	56	53	34	26
2011	17	29	29	25	18	15	9
2012	24	54	57	40	32	22	15
2013	86	111	110	100	91	78	60
2014	24	33	34	31	29	26	15
2015	150	200	212	197	165	138	111
2016	8	32	28	22	23	7	5
2017	41	76	67	53	29	18	10
2018	88	135	147	100	56	36	10
2019	58	88	98	83	61	43	27
2020	40	52	56	42	33	17	7
2021	19	28	28	20	17	13	3
2022	76	106	99	78	78	53	30

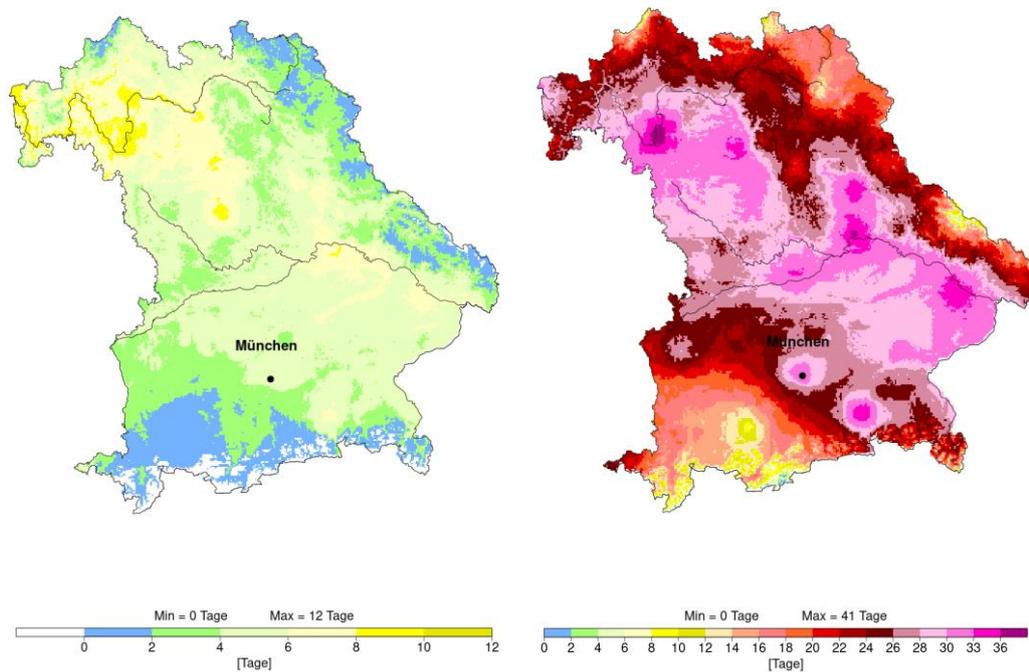


Abbildung 2. Anzahl heißer Tage, Grafik aus dem Klimaatlas des DWD [3]. Links: Klimanormale 1971 – 2000. Rechts: Anzahl Heißer Tage im Jahr 2015.

Die Anzahl heißer Tage ist mit einer Trendlinie in Abbildung 3 abgebildet. Die Trendlinie deutet darauf hin, dass sich die Anzahl heißer Tage in den letzten 20 Jahren verdoppelt hat.

Straubing (DWD 4911)

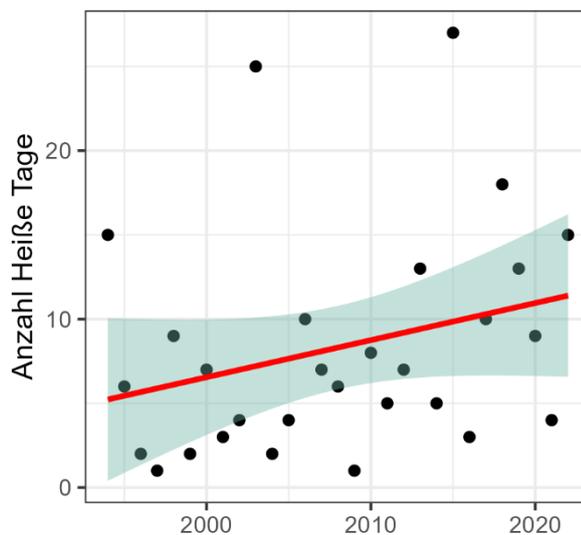


Abbildung 3. Anzahl der Tage mit Temperaturen über 30 °C (heiße Tage) an der DWD Station Straubing. Die rote Linie zeigt den linearen Trend, sowie das grün makierte 95 % Konfidenzintervall, in dem sich der Trend befinden kann.

Die Auswahl des heißen Tages, für den die Klimasimulation des Plangebiets erfolgt, wird weiter eingeschränkt auf einen heißen Tag an dem zusätzlich die Windverhältnisse einen Austausch warmer Luft verzögern. Dazu werden heiße Tage gesucht, an denen die Windgeschwindigkeit den Wert von 1 m/s nicht überschreitet. Dies tritt an der Messstation Straubing am 2015-08-30 ein und wird mit den ERA5 Daten bestätigt.

3.2 Eingangsdaten

Im Stadtklimamodell wird die Topografie aus DEM-1m der Bayerischen Vermessungsverwaltung [5] und die Beschaffenheit der Oberfläche der Erde aus ALKIS [6] Daten abgeleitet. Die Beschaffenheit unterscheidet Gewässer, Gelände mit künstlicher Oberfläche (Asphalt, Beton etc.) und verschiedene Klassen mit unterschiedlichem Bewuchs (Vegetationsklassen wie Nadelbäume, Laubbäume, niedriges Gras, Getreideflächen etc.). Überbauungen werden aus LoD-2 [9] Daten entnommen, und zwar mit ihrem Grundriss und der Gebäudehöhe. Das Stadtklimamodell PALM berücksichtigt die 3-dimensionale Gebäudekubatur.

Das Modell wird über drei Stufen genestet, wobei der äußerste Bereich ein Gebiet von 12000 m x 12000 m überdeckt und der innerste Bereich das Überbauungsgebiet mit einer Ausdehnung von 2400 m x 2400 m erfasst. Insgesamt werden mehr als 12000 Bestandsgebäude und über 300 km befestigte Straßen, Feld- und Fußwege aus den umliegenden Dörfern im Modell berücksichtigt. Im innersten Gebiet befinden sich 26 Bestandsgebäude und ca. 41 ha versiegelte Flächen, vorwiegend aus Straßen und Gehwegen.

3.3 Modellaufbau

Das Klimamodell PALM rechnet mit drei ineinander liegenden „Nestern“. Das äußerste Nest besitzt eine Ausdehnung von 12000 m x 12000 m, das zweite Nest eine Ausdehnung von 4800 m x 4800 m und das innerste Nest eine Ausdehnung von 2400 m x 2400 m, siehe Abbildung 4.

Im innersten Rechengebiet rechnet das Klimamodell auf einer horizontalen Rasterung von 3 m Breite, im darüber liegenden Nest auf einer Rasterung von 15 m Breite und im äußersten Nest auf 75 m. In der vertikalen Richtung wird in den Nestern mit 3 m (innerstes Nest), 9 m und 27 m (äußeres Nest) vertikaler Rasterung gerechnet.

Mit einem Raster von 3 m werden im innersten Nest die Gebäude in ihrer dreidimensionalen Struktur hinreichend genau erfasst. Auswertungen erfolgen deshalb vorwiegend in diesem Gebiet der Rechnungen.

Das äußere Nest dient der Kopplung mit dem WRF Wettermodell. In das äußere Nest des Klimamodells werden alle 15 Minuten die klimatologischen Bedingungen aus dem Wettermodell in das Klimamodell übertragen. Damit ist sichergestellt, dass sowohl der zeitliche Verlauf und die räumliche Struktur der meteorologischen Werte (Temperatur, Wind, Feuchte, Bodenfeuchte etc.) von der Mesoskala des Wettermodells in die Mikroskala des Klimamodell möglichst genau übertragen wird.

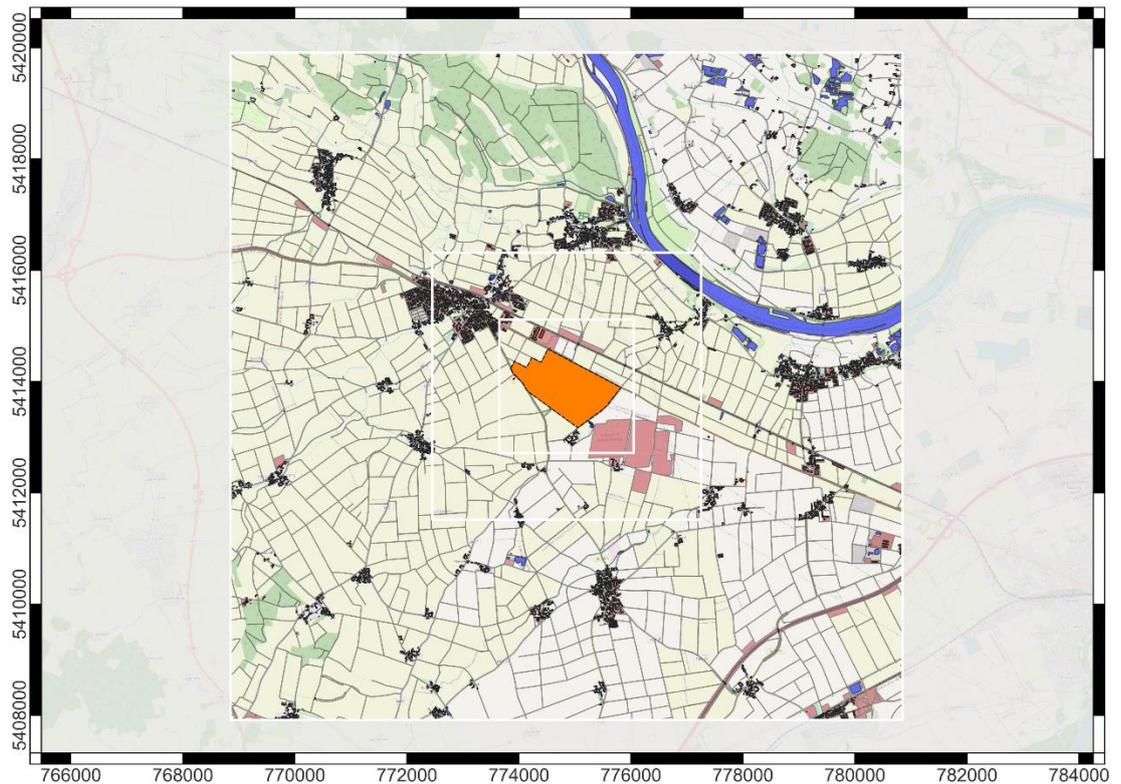


Abbildung 4. Übersicht zum Modellaufbau. Die weißen Umrandungen zeigen die 3 ineinander liegenden Nester des Stadtklimamodells. Im innersten Bereich befindet sich das Areal der Überbauung (orange Farbe). Feste Strukturen sind in rotem Farbton dargestellt, hierzu zählt z.. B der Solarpark östlich des Überbauungsareals. Die Grundrisse bestehender Häuser sind schwarz eingetragen. Hintergrund: OpenStreetMap Contributors.

3.4 Meteorologische Eingangsdaten

Das Stadtklimamodell wird mit meteorologischen Daten aus einem hochauflösenden Wettermodell [11] angetrieben. Mit dem Wettermodell wurde das meteorologische Geschehen auf einem Raster von 1 km x 1 km im Donautal und dem angrenzenden Bayerischen Wald nachvollzogen. Das Wettermodell stellt alle 15 Minuten Eingangsdaten für das Stadtklimamodell zur Verfügung. Damit ist sichergestellt, dass der Tagesgang in seinem 4-dimensionalen Verlauf (3 Raumrichtungen und Zeitachse) der Temperatur und der Windkomponenten in das Stadtklimamodell eingetragen wird.

Ein Vergleich der 2-m-Temperatur, zwischen Messdaten aus der DWD Station Straubing und der Nachhersage aus dem WRF Modell ist in Abbildung 5 für den 2015-08-29 und 2015-08-30 dargestellt. Der Verlauf des Tagesgangs wird durch das WRF-Modell sehr gut wiedergegeben. Sowohl die minimale als auch die maximale Temperatur ist gut getroffen. An der DWD Station wird am 30. August ein Tagesmaximum erreicht, das etwa 1,8 °C höher liegt als vom WRF Modell berechnet.

Die Differenz des mit dem Wettermodell berechneten Tagesmaximum zu den gemessenen Temperaturwerten wurde nicht weiter verfolgt; evtl. ist die Auflösung des Wettermodells mit 1 km Rasterweite für eine Punktvorhersage für die am Ortsrand liegende Wetterstation zu grob, so dass Unterschiede in der Landnutzung zwischen dem Rasterwert des Wettermodells und dem Messort vorliegen.

Für die Klimaanalyse ist vor allem wichtig, dass der Tagesgang möglichst gut reproduziert wird. Dazu wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Sie zeigt, dass das WRF Modell zu über 97 % (Pearsonscher Korrelationskoeffizient) mit den Messdaten korreliert und dabei einen Bias von etwa 0,5 °C gegenüber den Messungen aufweist. Der hohe Grad an Übereinstimmung des Tagesgangs der Temperatur, der mit dem Wettermodell nachvollzogen wird, ist in Abbildung 5 ersichtlich.

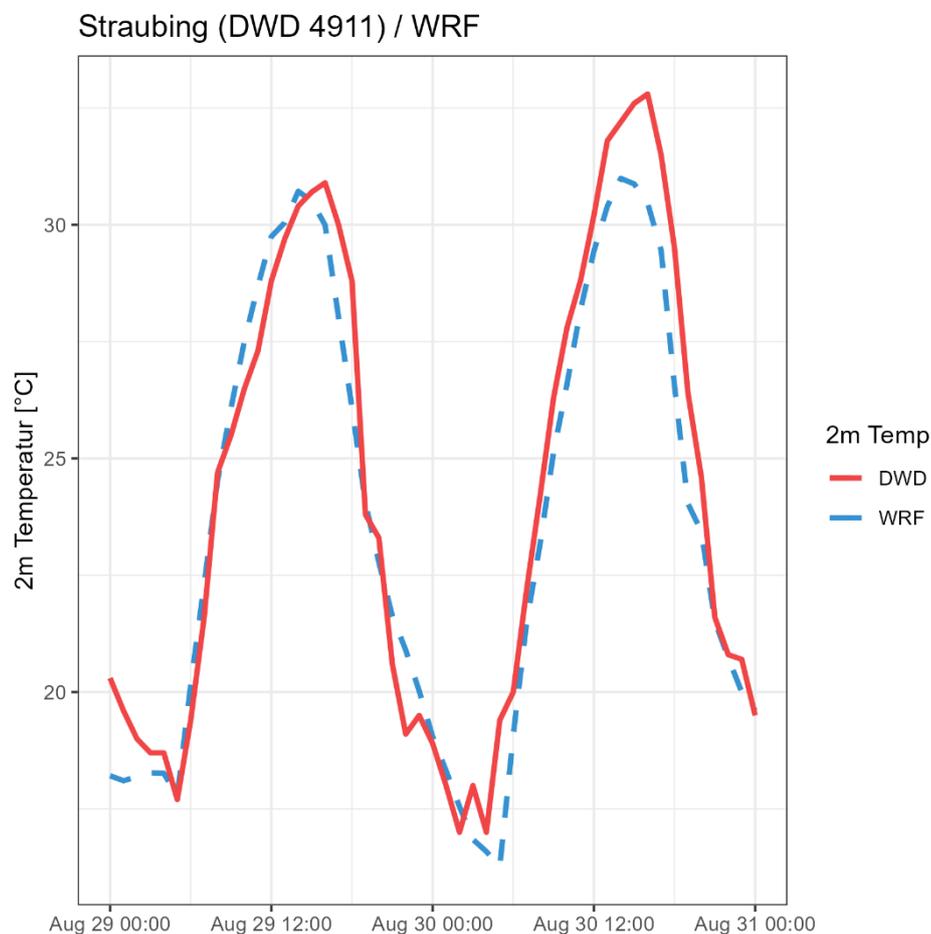


Abbildung 5. Vergleich der 2-m-Temperatur zwischen Messdaten aus der DWD Station Straubing (rote Linie) und dem WRF Modell (blaue gestrichelte Linie).

4 Klimatop

Die Ausweisung von Flächen mit einheitlichen klimatischen Eigenschaften in einer Klimatopkarte bildet die Grundlage zu Erstellung von Klimafunktionskarten.

Nach VDI 3787 Blatt 1 [12] werden „räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen und die mikroklimatischen Bedingungen wenig unterschiedlich sind“, als Klimatope bezeichnet.

Klimatope werden aus der Flächennutzung und der Flächenversiegelung abgeleitet. Die Klassifizierung erfolgt analog zur Methodik, wie sie im Handbuch Stadtklima [9] beschrieben wurde. Klimatope werden aus der Nutzungsklassifizierung aus dem ALKIS Basis DLM [6] (Attribut OBJART) und den High Resolution Layer: Imperviousness Density (IMD) [7] sowie Impervious Built-up (IBU) [8] des Copernicus Land monitoring services kombiniert. Zu jeder Fläche aus dem ALKIS Basis-DLM erfolgt eine Zuweisung der Flächennutzung zu einem Klimatop. In überbauten Flächen erfolgt die Zuordnung zunächst zu einer Hauptklasse, die über den Grad der Versiegelung in die endgültige Klassifizierung der Klimatops unterschieden wird.

Nach VDI 3787 Blatt 1 werden acht Klimatope unterschieden:

1. Gewässer und Seenklima
2. Freilandklima
3. Waldklima
4. Grünflächen
5. Vorstadt oder Ortsklima
6. Stadtrandklima
7. Innenstadtklima
8. Gewerbe und Industrieklima.

Die Karte der Klimatope im weiteren Umkreis um das Planungsgebiet ist in Abbildung 6 dargestellt. Der überwiegende Anteil in der dargestellten Karte ist dem Klimatop des Freilandklimas zugeordnet, zu dem auch das Planungsgebiet vollständig gehört (IST-Zustand). Die Industriefläche süd-östlich des Planungsgebietes ist ein bestehender Solarpark.

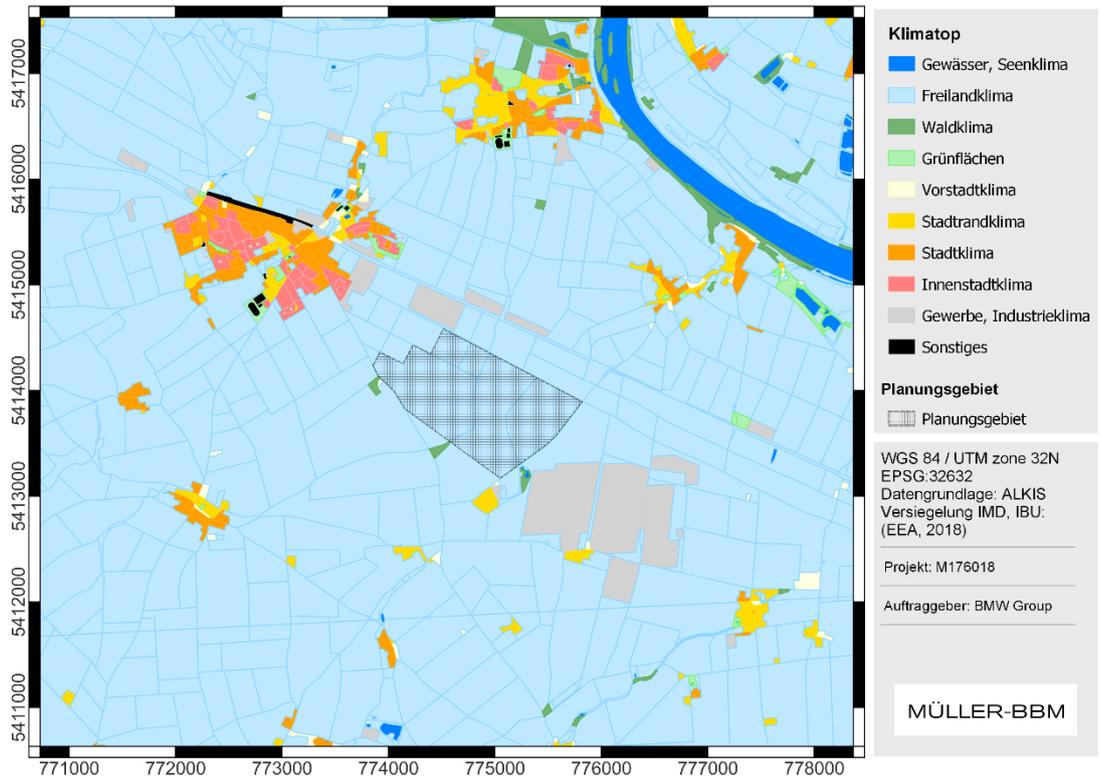


Abbildung 6. Klimatope im weiteren Umkreis um das Planungsgebiet. Das Planungsgebiet ist schraffiert eingezeichnet. Koordinaten: UTM-32.

5 Modellergebnisse

Aus der Stadtklimasimulation werden die Parameter Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) entnommen und in Karten dargestellt. Die Daten basieren auf einer räumlichen Auflösung vom drei Meter. Die Physiologisch Äquivalente Temperatur wird in einer Höhe des Aufenthaltsbereiches des Menschen (1,5 m über Grund) aufgenommen. Die Lufttemperatur wird an der Standardhöhe des DWD von 2 m Höhe aus dem Modell ermittelt.

Die Karten zeigen die mikrometeorologischen Bedingungen des 2015-08-30. Dieser Tag war ein „heißer Tag“ mit einer Tageshöchsttemperatur über 30° C sowie Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s. Die geringen Windgeschwindigkeiten behindern den großräumigen Austausch der Luftmassen; es herrscht eine sog. autochthone Wetterlage.

Die den Modellrechnungen zugrunde gelegte Topografie ist in Abbildung 7 abgebildet.

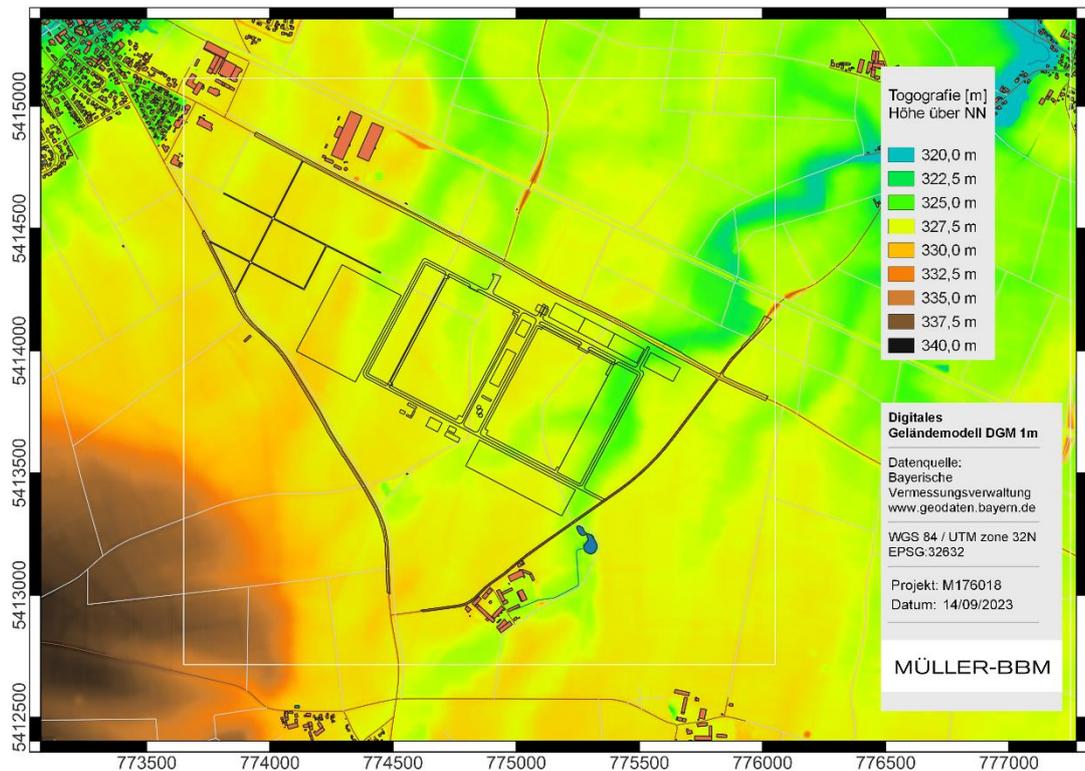


Abbildung 7. Topografische Darstellung der Geländehöhe. Der weiße Rahmen zeigt das innere Rechengebiet um die zukünftige Überbauung. Die Gebäude, Straßenlinien und Hausumringe wurden aus ALKIS der Bayerischen Vermessungsverwaltung entnommen.

5.1 Physiologisch Äquivalente Temperatur

Die Physiologisch Äquivalente Temperatur wird als humanbioklimatischer Index PET zur Kennzeichnung der Wärmebelastung herangezogen. PET beschreibt die Auswirkungen der thermischen Belastung auf den Menschen. PET wird entsprechend VDI 3787 Blatt 2 [13] berechnet.

In der folgenden Abbildung 9 bis Abbildung 12 ist die PET vom 2015-08-30 zu den Uhrzeiten 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 und Mitternacht (2015-08-31 00:00) dargestellt.

In den landwirtschaftlich genutzten Gebieten, die später überbaut werden sollen, wirkt von 21:00 Uhr bis morgens kurz nach Sonnenaufgang kurz nach 05:00 Uhr eine vorwiegend thermisch unbelastete Situation (PET leicht kühl bis komfortabel). Nach Sonnenaufgang führt die zunehmende Hitze zu einer starken Belastung (PET sehr heiß), die gegen Mittag (siehe Abbildung 10 mit PET zum Zeitpunkt 12:00 Uhr) ihren Höhepunkt erreicht und bis spät in den Nachmittag anhält. Erst nach 18:00 Uhr stellt sich wieder eine mäßige thermische Belastung ein (PET komfortabel bis leicht kühl, siehe Abbildung 11), die auch im Verlauf der Nacht nicht unterschritten wird.

Der Tagesgang von PET in der Nähe des Weilers Makofen, südlich des Überbauungsgebietes ist in Abbildung 8 dargestellt.

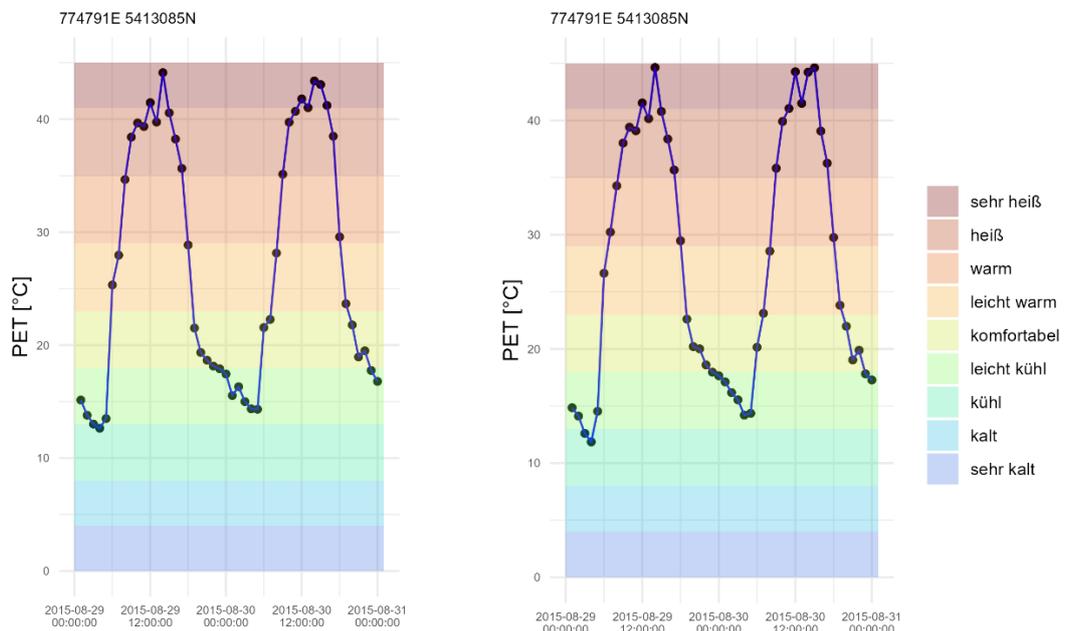


Abbildung 8. Verlauf der PET aus der Nähe von Makofen. Links: IST-Fall, Rechts: PLAN-Fall.

Im Vergleich zum IST-Fall trägt die Überbauung im PLAN-Fall nicht zu einer merklichen Änderung der bioklimatischen Situation bei.

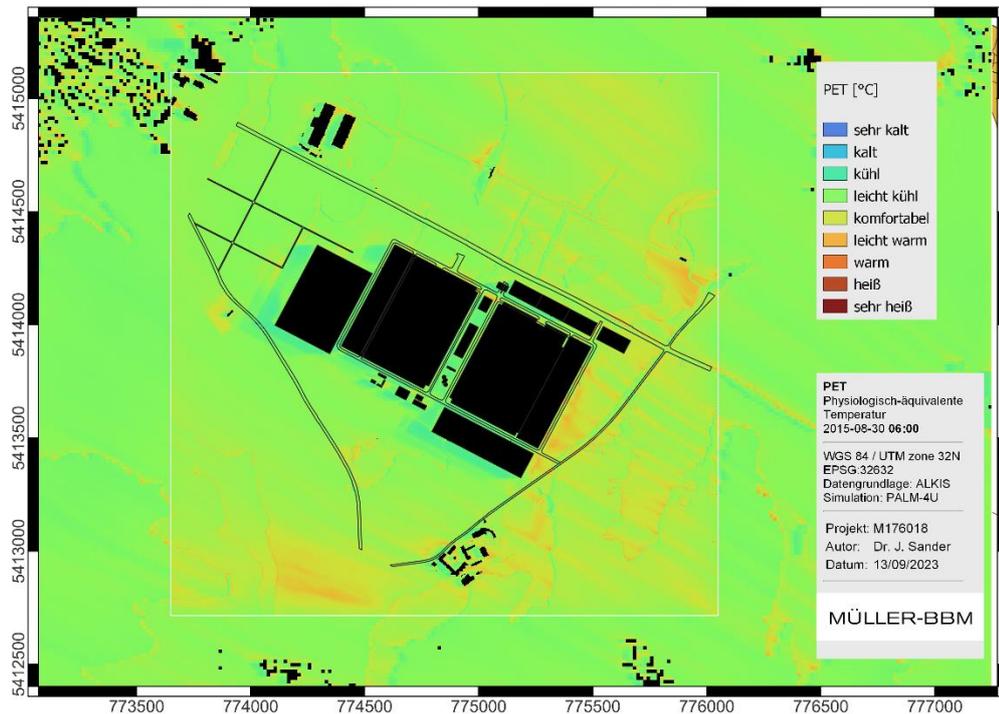
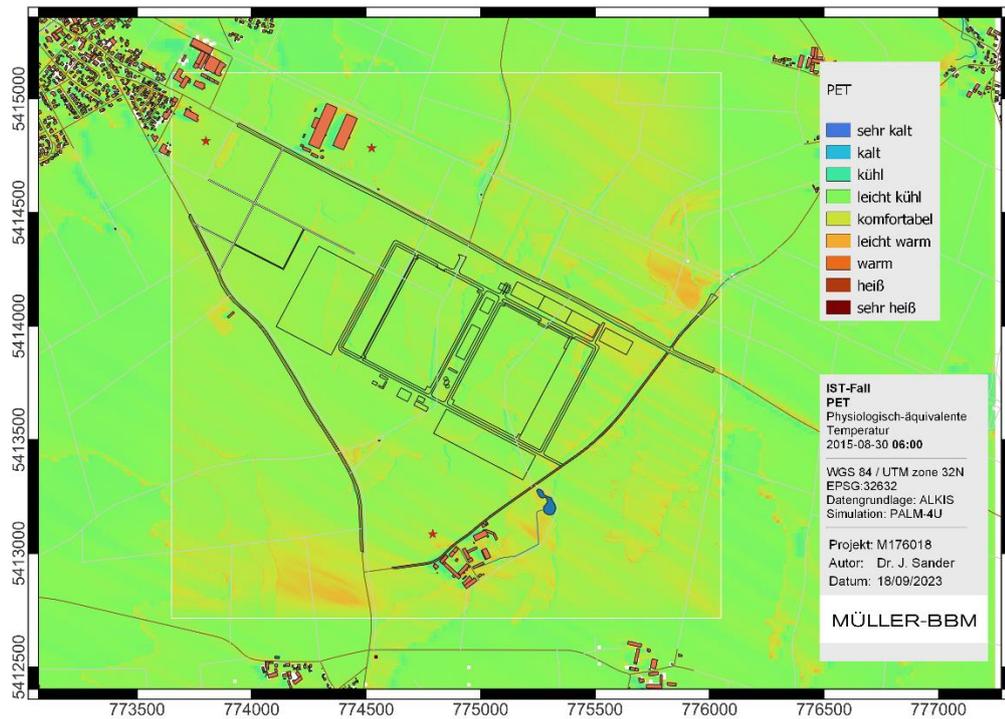


Abbildung 9. PET morgens um 06:00 Uhr. oben: IST-Fall, unten: PLAN-Fall. Der weiße Rahmen zeigt das innere Rechengebiet, in dem das Klimamodell mit einem Raster von 3 m gerechnet wurde. Im äußeren Bereich wurde mit einem Raster von 15 m gerechnet. In der oberen Grafik (IST-Fall) sind Siedlungen und Straßenverläufe aus ALKIS sowie, zur besseren Orientierung, die geplanten Gebäudeumrisse und Straßenzüge eingetragen. In der unteren Grafik sind Überbauungen als Rasterzellen in schwarzer Farbe, so wie sie vom Modell erfasst werden, dargestellt.

S:\MIPROJ\176\M176018\M176018_01_BER_1D.DOCX:22. 09. 2023

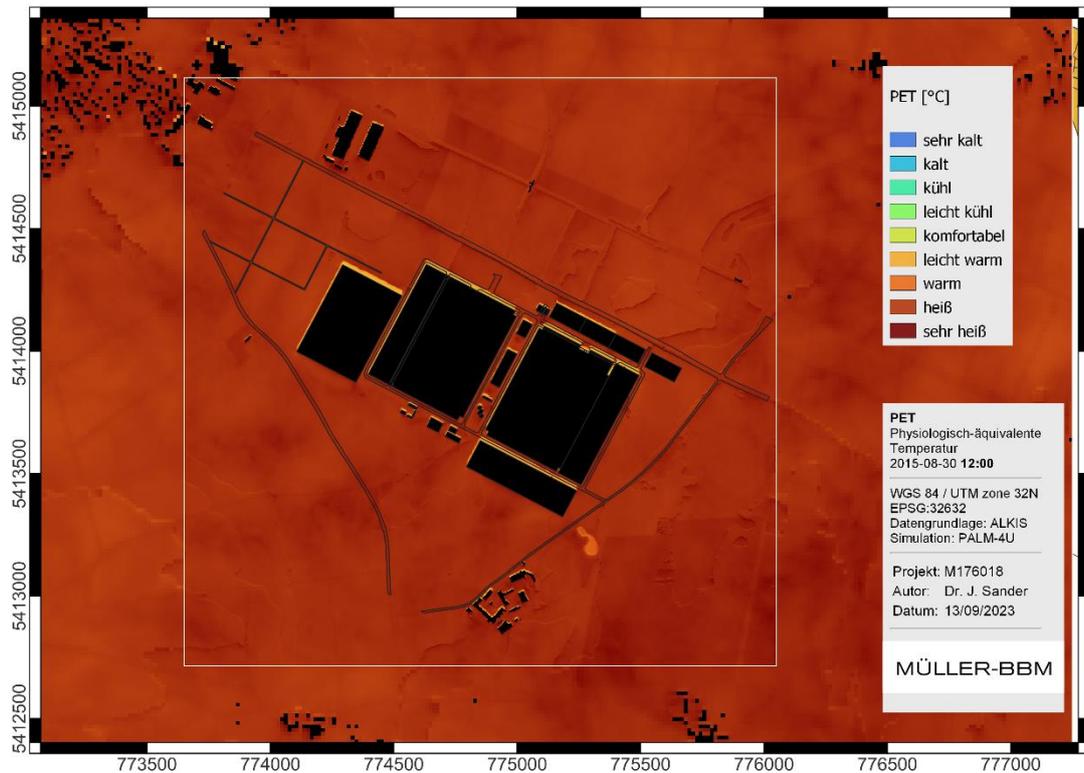


Abbildung 10. PET um 12 Uhr, kurz vor Sonnenhöchststand. Oben: IST-Fall. Unten: PLAN-Fall.

S:\M\PROJ\176\M176018\M176018_01_BER_1D.DOCX:22. 09. 2023

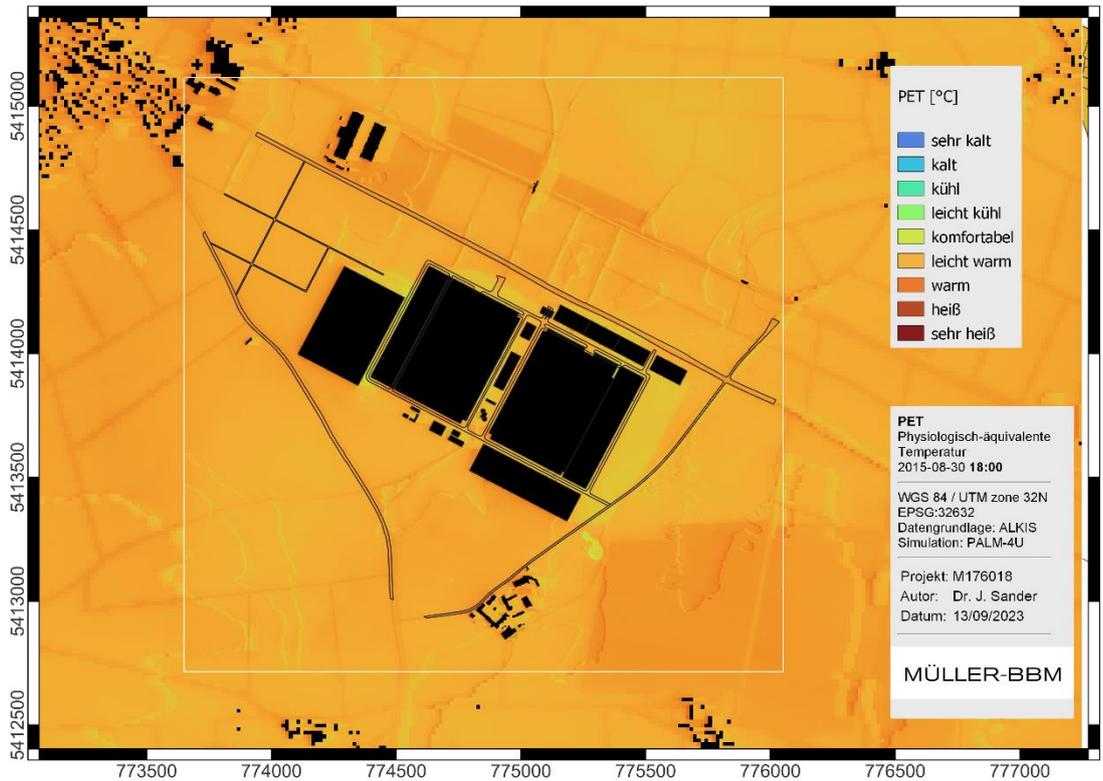
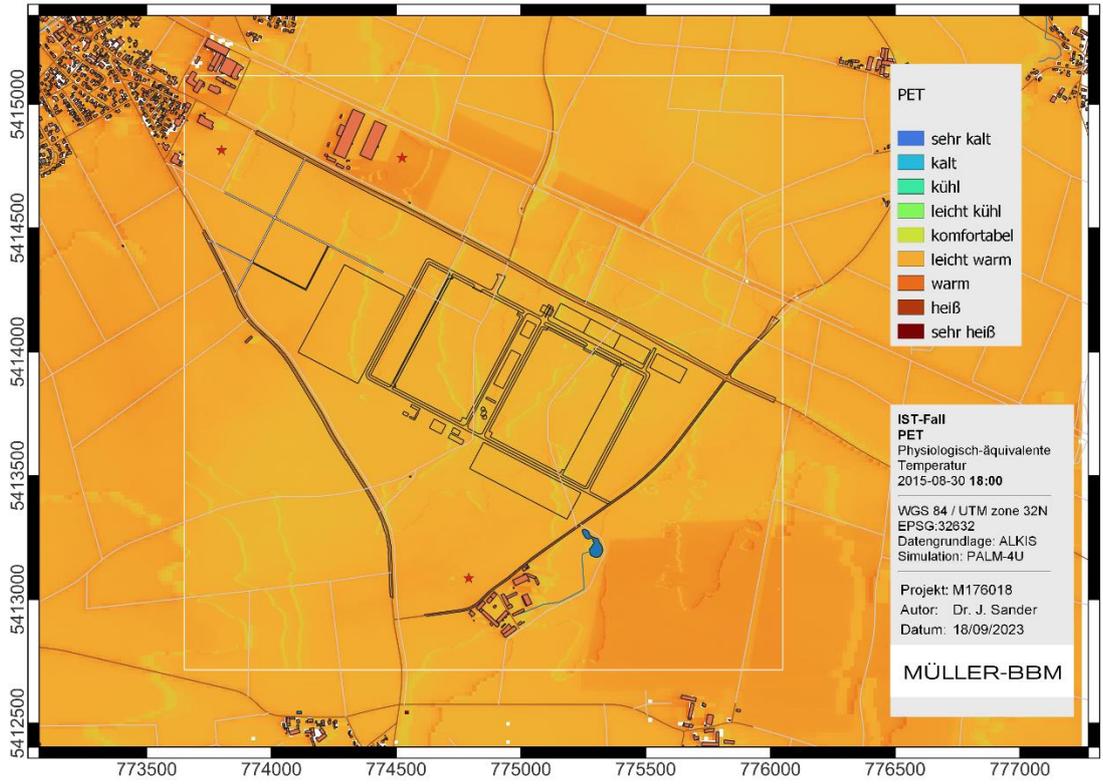


Abbildung 11. PET um 18:00 Uhr. Oben: IST-Fall. Unten: PLAN-Fall.

S:\M\PROJ\176MM176018\01_BER_1D.DOCX:22. 09. 2023

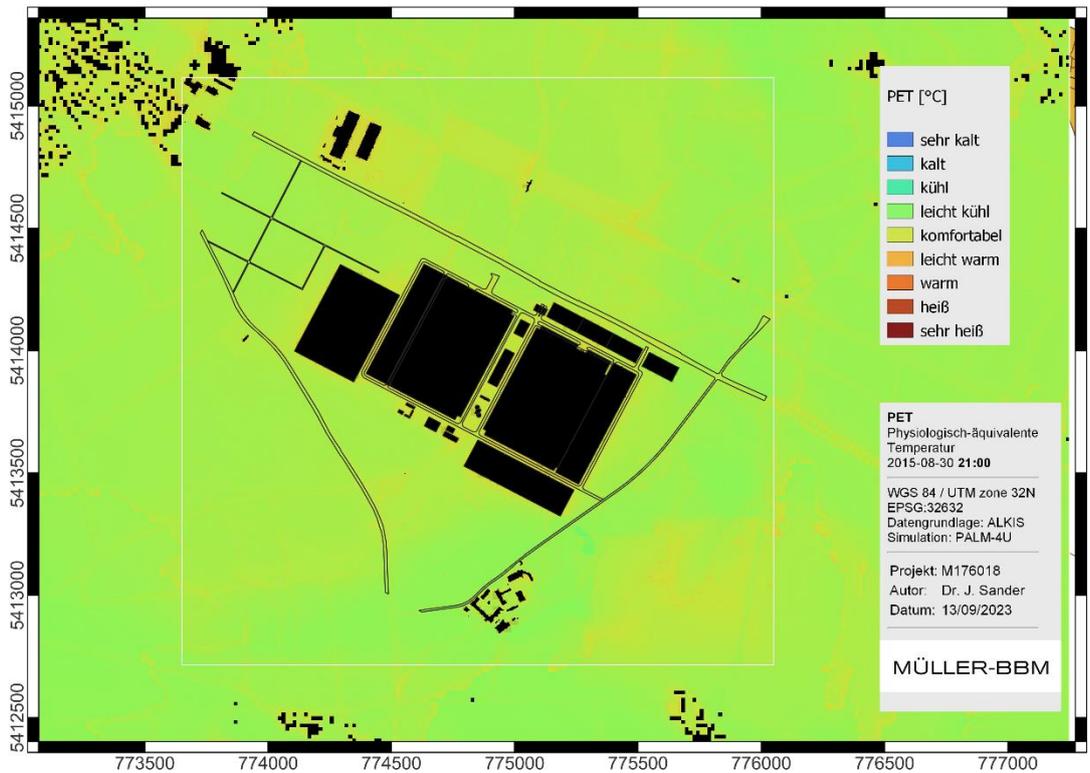
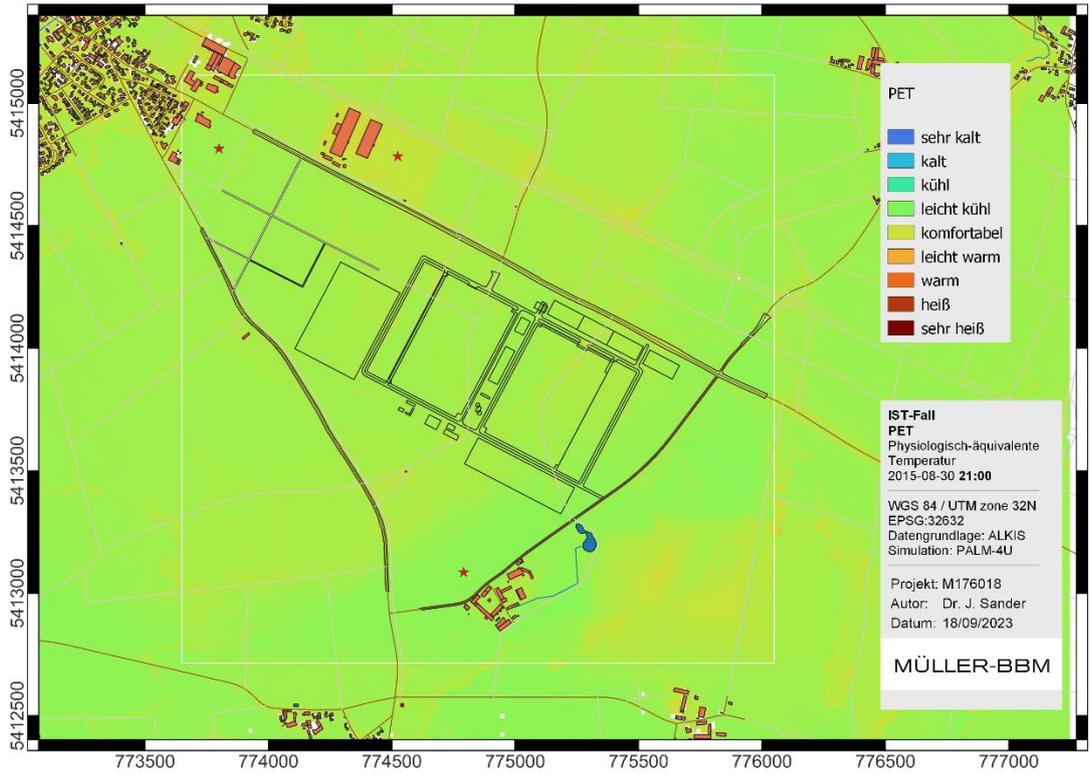


Abbildung 12. PET um 21:00 Uhr. Oben: IST-Fall. Unten: PLAN-Fall.

S:\M\PROJ\176MM176018\M176018_01_BER_1D.DOCX:22. 09. 2023

5.2 Temperatur in 2 m Höhe

Zur Bewertung von klimatisch relevanten Faktoren dient die Temperatur, die in 2 Meter über dem Boden mit dem Stadtklimamodell berechnet wird. Zunächst wird der IST Zustand, also der Zustand ohne die geplante Überbauung dargestellt. In einem zweiten Schritt wird der PLAN-Fall, also der Zustand mit der geplanten Überbauung dargestellt. Die klimatische Bewertung erfolgt über eine Differenzbetrachtung, bei der die Temperaturunterschiede zwischen dem IST-Fall und dem PLAN-Fall betrachtet werden.

5.2.1 IST Fall

Betrachtet wird die Temperaturverteilung vom 2015-08-30. Der vorangegangene Tag (2015-08-29) und der betrachtete Tag waren heiße Sommertage mit einer Tageshöchsttemperatur, die über 30 °C lag.

In der darauffolgenden Nacht vom 2015-08-30 werden um 00:00 Uhr Lufttemperaturen von deutlich über 20 °C erreicht, siehe Abbildung 13. Während im Bereich der Wohnbebauung von Straßkirchen (im Nord-Westen liegend) sowie bei den im Nord-Westen und im Süden liegenden Einzelgehöften Lufttemperaturen von ca. 24 °C errechnet werden, beträgt die Lufttemperatur im landwirtschaftlich genutzten Bereich der zukünftigen Überbauung ca. 20 °C. Die Lufttemperatur bei dem im Süd-Osten liegenden Solarpark beträgt ca. 23 °C.

In den folgenden Stunden kühlt die Lufttemperatur langsam ab. Schwach ausgeprägte Kaltlufteinflüsse bringen frischere Luft entlang der topografischen Depressionen in das Areal der zukünftigen Überbauung. Diese, durch die Kaltluftabflüsse eingebrachte, etwas kühlerer Luft ist z. B. um 03:00 Uhr am östlichen Rand des Überbauungsgebietes sichtbar, siehe Abbildung 14. Die kalte Luft dringt entlang topografischer Senken ein, die in der Abbildung zur Topografie sichtbar sind, siehe Abbildung 7. Im Bereich der Kaltluftabflüsse beträgt die Temperatur ca. 18 °C (Bereiche mit hellblauer Farbe in Abbildung 14), während sie in den warmen Gebieten noch ca. 21 °C beträgt (nördlich der Hauptstraße, orange Farbtöne).

Kurz nach Sonnenaufgang erreicht die Temperatur ihr Minimum. In Abbildung 15 ist die Lufttemperatur von 05:00 Uhr dargestellt. Die Lufttemperatur in den Wohngebieten unterschreitet knapp 20 °C, während in den kältesten Flächen die Temperatur auf ca. 18 °C abgekühlt ist.

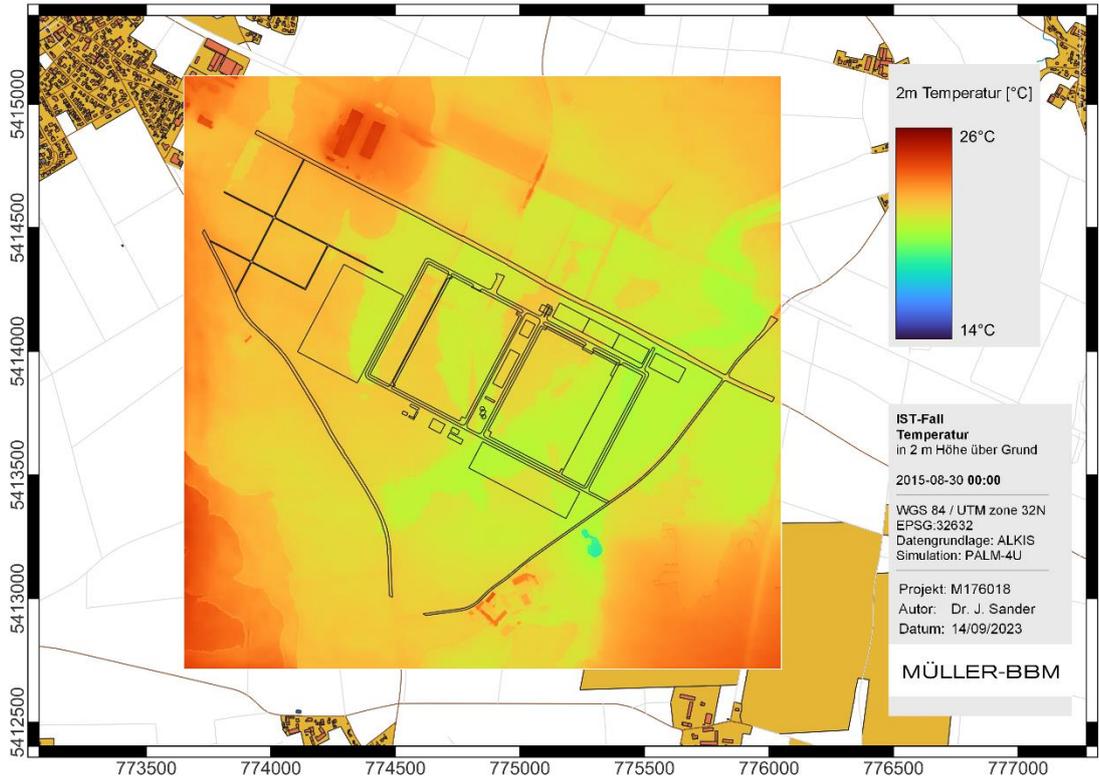


Abbildung 13. Nächtliche Temperatur in 2 m über Grund des IST-Fall um 00:00 Uhr. Zur besseren Orientierung sind in der Karte die Umrissse der geplanten Gebäude eingetragen.

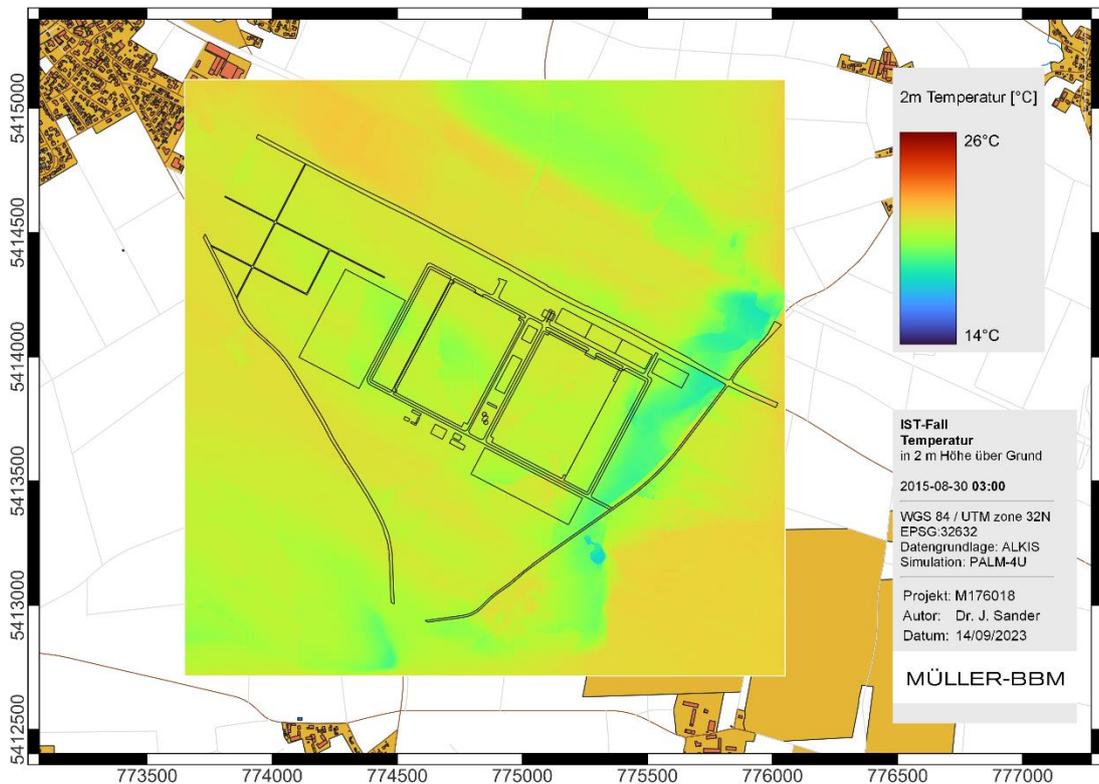


Abbildung 14. Nächtliche Temperatur in 2 m über Grund des IST-Fall um 03:00 Uhr.

S:\M\PROJ\176M176018M176018_01_BER_1D.DOCX:22. 09. 2023

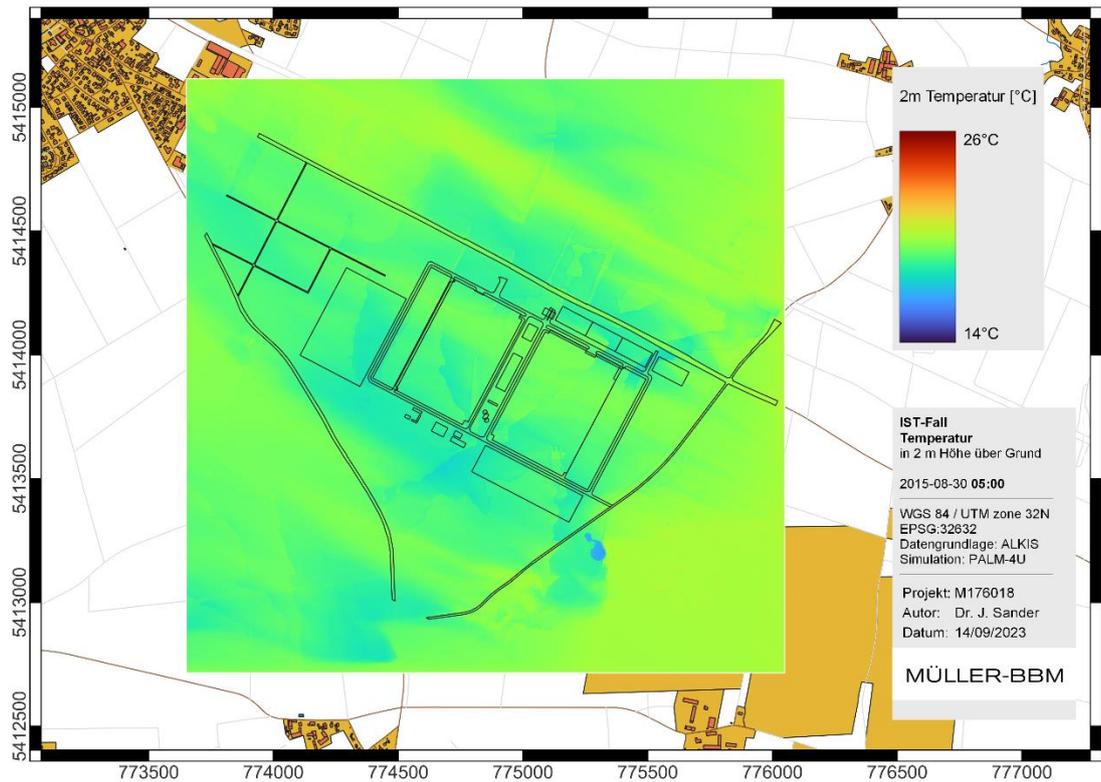


Abbildung 15. Nächtliche Temperatur in 2 m über Grund des IST-Fall um 05:00 Uhr.

5.3 PLAN-Fall

Wird das Gelände wie vorgesehen überbaut, ändert sich die Temperatur in den neu überbauten Gebieten deutlich. Über den Gebäuden bleibt, ähnlich wie in den übrigen Wohngebieten, warme Luft stehen, die sich erst in den frühen Morgenstunden abbaut, siehe Abbildung 16 mit Temperatur von 00:00 Uhr, Abbildung 17 mit Temperatur von 03:00 Uhr und Abbildung 18 mit Temperatur von 05:00 Uhr.

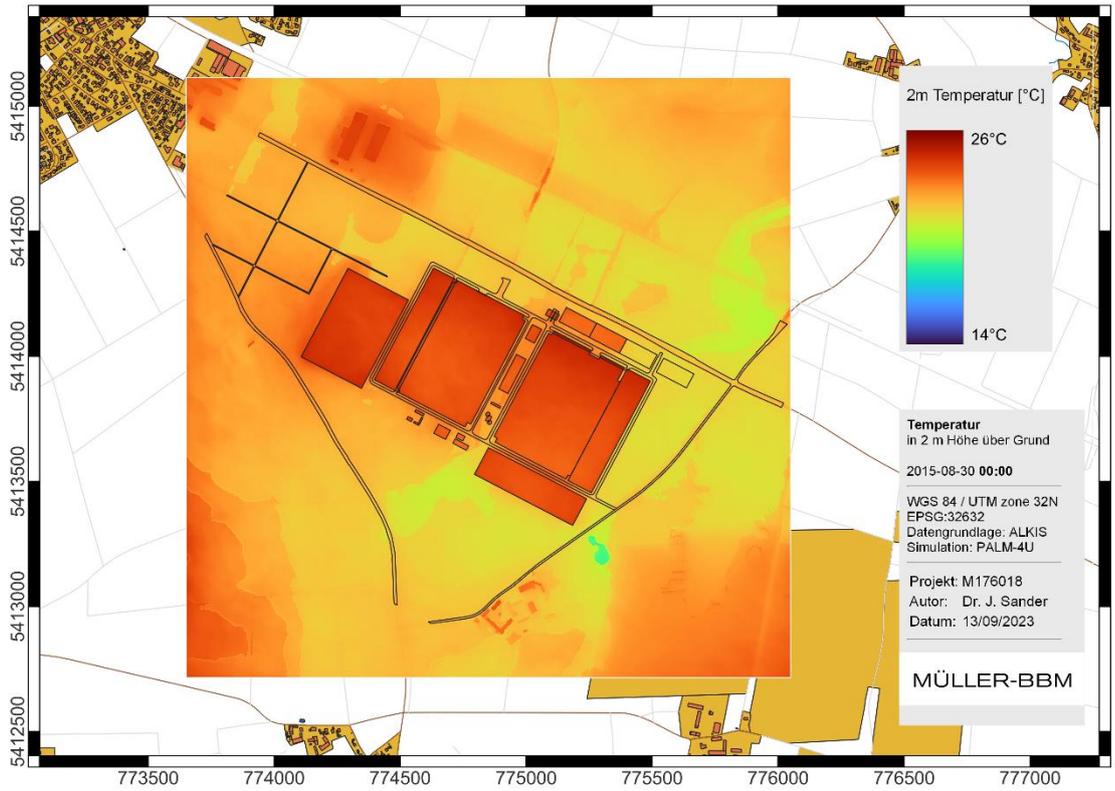


Abbildung 16. Nächtlche Temperatur in 2 m über Grund des PLAN-Fall um 00:00 Uhr.

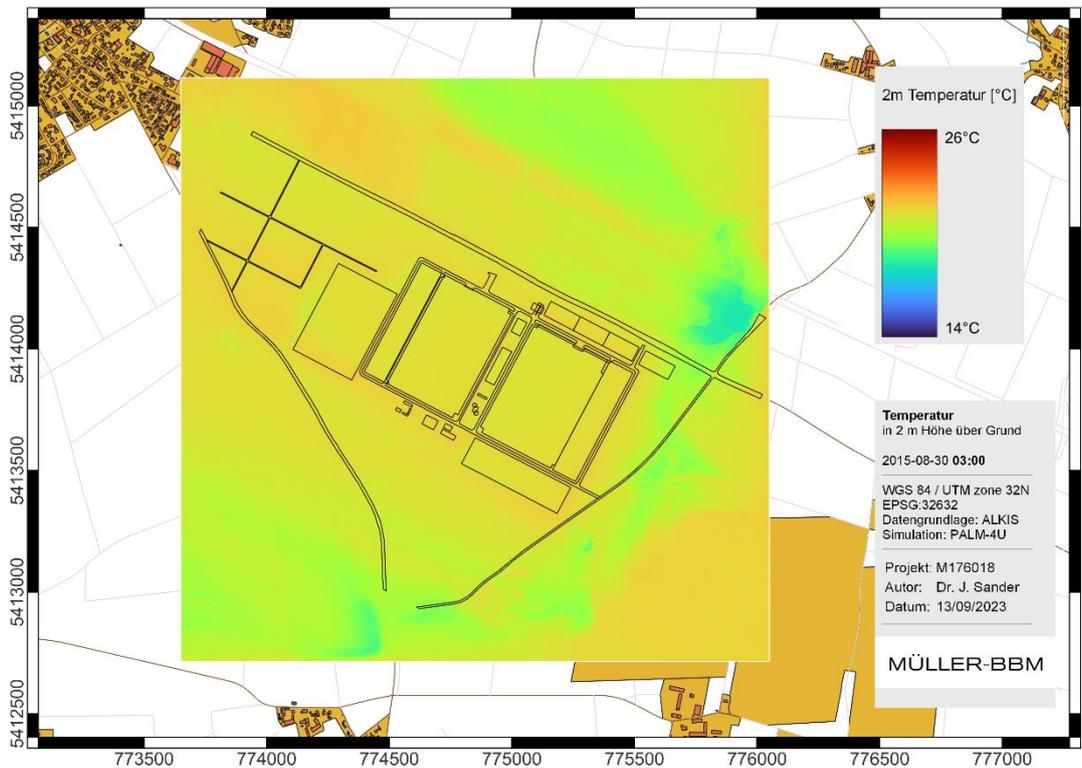


Abbildung 17. Nächtlche Temperatur in 2 m über Grund des PLAN-Fall um 03:00 Uhr.

S:\M\PROJ\176M176018\M176018_01_BER_1D.DOCX:22. 09. 2023

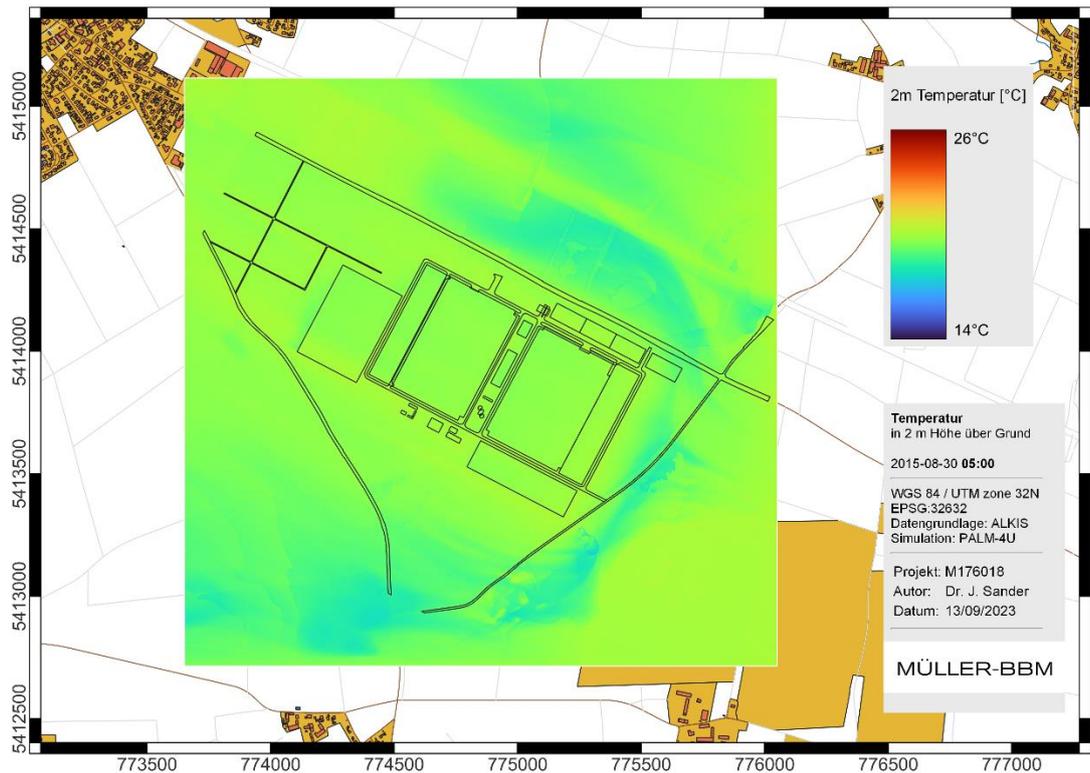


Abbildung 18. Nächtliche Temperatur in 2 m über Grund des PLAN-Fall um 05:00 Uhr.

5.4 Differenzbetrachtung

Eine unterschiedliche Erwärmung der Lufttemperatur, die durch die Überbauung entsteht, wird durch eine Differenzbetrachtung der Temperatur aus dem IST-Fall und der Temperatur aus dem PLAN-Fall erzielt. Positive Abweichungen der Lufttemperatur zeigen eine Erwärmung, die durch die Überbauung verursacht wurde und negative Abweichungen der Lufttemperatur zeigen Orte, an denen die Überbauung zu einer Reduktion der Lufttemperatur am untersuchten heißen Sommertag führt.

Bis 00:00 Uhr Mitternacht hat sich eine zusätzliche Erwärmung von ca. 4 – 5 K über den neu zu errichtenden Gebäuden ausgebildet. Geringfügige Temperaturerhöhungen bis zu 0,4 K treten stellenweise im weiteren Umfeld der Neubebauung auf, siehe Abbildung 19.

Die Temperaturerhöhung, die durch die neu zu errichteten Gebäude verursacht wird, verliert sich im Laufe der Nacht und zugeführte Kaltluft dominiert das Temperaturgeschehen. An diesem Modelltag sammelt sich etwa um 03:00 Uhr warme Luft an der Ostseite des Gebäudekomplexes und kalte Luft breitet sich nach Westen in Richtung des Solarparks aus. Die Temperaturdifferenz zwischen IST-Fall und PLAN-Fall beträgt am 2015-08-30 unmittelbar an der Hauswand bis zu +1,5 K (Erwärmung) und im Bereich des Solarparks bis zu -1,0 K (Abkühlung), siehe Abbildung 20.

Diese, durch das Gebäude verursachte, blockierende Situation setzt sich in den nächsten Stunden bis kurz nach Sonnenaufgang fort. In Abbildung 21 ist die Temperaturdifferenz um 05:00 Uhr dargestellt. Zu dieser Stunde trägt die, durch die geänderte thermische Situation verursachte Strömung kältere Luft aus dem westlich liegenden Straßkirchen in den Bereich der Gebäude. Dabei bildet sich eine Wärme-fahne von den Randgebieten von Straßkirchen ist zu den neu errichteten Industriegebäuden aus, in der Temperaturerhöhungen von weniger als 1,5 K erreicht werden. Ein Eindringen der wärmeren Luft in die Wohngebiete von Straßkirchen ist nicht erkennbar. Östlich der Anlage sammelt sich kältere Luft die nach Osten bis knapp vor der Kammlage der topografischen Erhöhung gelangt. In einzelnen Furchen fließt die kalte Luft weiter nach Osten ab.

Mit Sonnenaufgang bricht diese Strömung rasch zusammen und der Einfluss der neu zu errichtenden Gebäude auf die Lufttemperatur bleibt in den nächsten Stunden marginal. Mit zunehmendem Sonnenstand beginnt dann eine zunehmende Erwärmung der Gebäude.

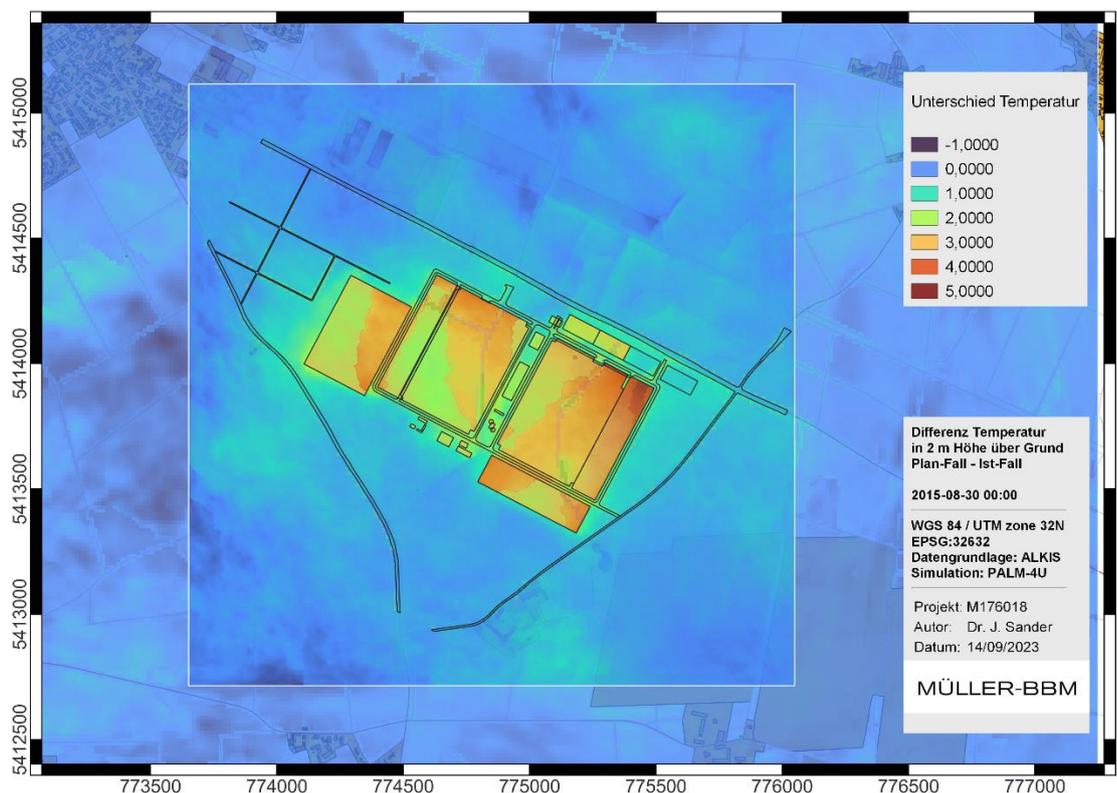


Abbildung 19. Differenzbetrachtung der Lufttemperatur in 2 m Höhe um 00 Uhr. Positive Abweichungen (gelb, orange, rote Farbe) zeigen eine Erwärmung, die durch die Überbauung verursacht wurde. Geringe, bzw. keine Unterschiede der Lufttemperatur sind in blauer Farbe dargestellt. Hintergrund: Hausumringe aus ALKIS der Bayerischen Vermessungsverwaltung.

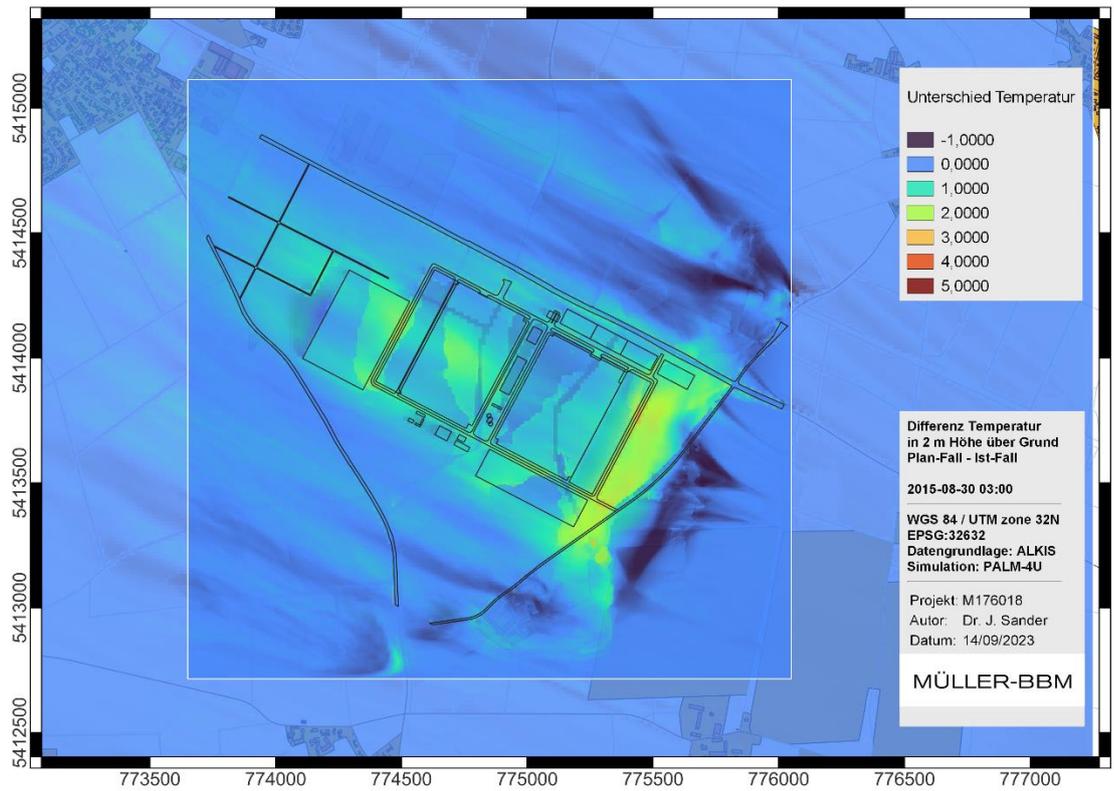


Abbildung 20. Differenzbetrachtung der Lufttemperatur in 2 m Höhe um 03:00 Uhr.

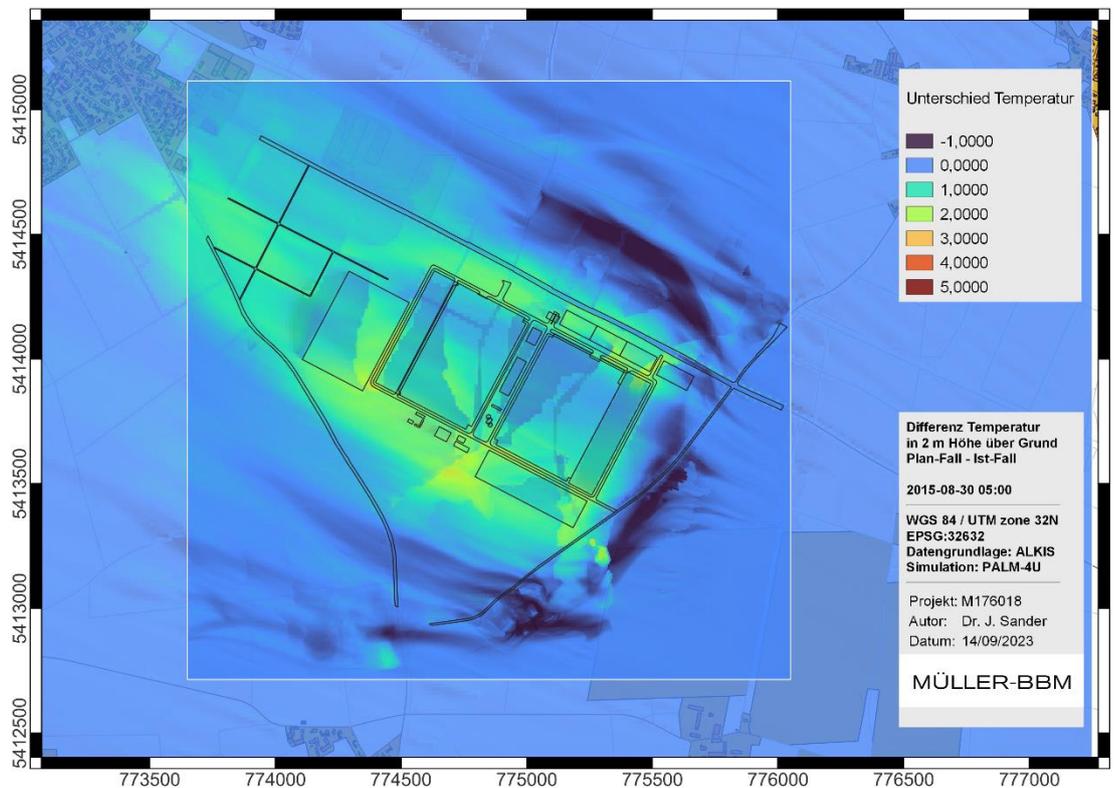


Abbildung 21. Differenzbetrachtung der Lufttemperatur in 2 m Höhe um 05:00 Uhr.

S:\M\PROJ\176M176018M176018_01_BER_1D.DOCX:22. 09. 2023

5.5 Kaltluft

Die Bildung von Kaltluftabflüssen wird in erster Linie durch die topografischen Gegebenheiten geprägt.

Im betrachteten Fall entstand am 2019-08-30 eine nächtliche Strömung, die Luft aus den kälteren Gebieten im Westen zu den wärmeren Gebieten nach Osten transportiert. In der Nacht zuvor, am 2019-08-29 hatte sich eine blockierende Situation auf der anderen Seite der Industrieanlage gebildet, die die warme Luft aus dem Überbauungsgebiet nach Osten abtransportierte.

Zwar ist der blockierende Einfluss der Gebäude auf die Ausbildung einer zusätzlichen Strömung, in der Kaltluft gebildet wird, nachweisbar, die Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur bleiben, wie oben beschreiben wurde, mit 1,5 K eher gering. Diese maximalen Änderungen werden kurz vor Sonnenaufgang erreicht.

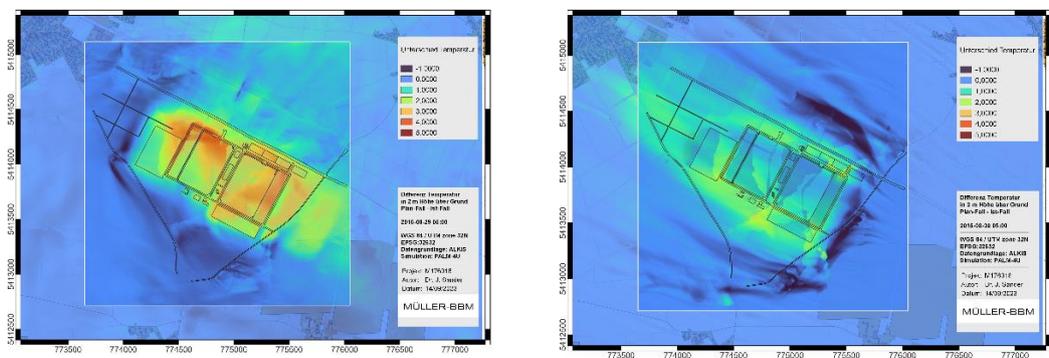


Abbildung 22. Differenzbetrachtung der Lufttemperatur in 2 m Höhe um 05:00 Uhr: links 2019-08-29, rechts: 2019-08-30.

6 Bewertung und Fazit

Die Auswirkungen durch die im Rahmen des geplanten Bebauungsplans bzw. der geplanten Nutzung vorgesehenen Nutzungsänderungen auf die Hitzebelastung während eines heißen Sommertags beschränken sich in den Modell Simulationen im Wesentlichen auf das Areal der Überbauung.

Die human-bioklimatische Wirkung wird durch eine Betrachtung des PET Index dargestellt. Die Änderungen der PET aufgrund der Überbauung sind marginal. Im Vergleich zum IST-Fall trägt die Überbauung im PLAN-Fall nicht zu einer merklichen Änderung der bioklimatischen Situation bei.

Über den neu zu errichtenden Gebäuden und den neu versiegelten Flächen steigt die nächtliche Lufttemperatur um bis zu 4 K bis 5 K an. Bereits in den unversiegelten Flächen um die neu zu errichtenden Gebäude herum bleibt der nächtliche Temperaturanstieg auf ca. 1 K bis 2 K beschränkt.

Die Überbauung kann zu einer blockierenden Situation führen. Warme Luft bleibt in unmittelbarer Umgebung der Gebäude stehen, bis sich eine ausreichend starke Luftströmung ausgebildet hat, die umgebende kältere Luft um die Gebäude herumführt und wärmere Luft aus dem Gebäudebereich abtransportiert.

Geringe Unterschiede im Windgeschehen führten am 2018-08-29 zu einer Blockade auf der Westseite der Gebäude mit einer Wärmefahne, die sich in nördlicher Richtung erstreckt. In der folgenden Nacht vom 2018-08-30 verursachte die Blockade auf der Westseite der Gebäude eine Wärmefahne, die sich bis Straßkirchen erstreckt. Ein Eindringen von erwärmter Luft in die Wohnbebauung kann nicht festgestellt werden.

Die Überbauung trägt zwar wesentlich zu Änderungen des lokalen, mikroklimatischen Temperaturgeschehen bei. Eine zusätzliche belastende Wirkung bleibt in der heißen Sommernacht auf das Überbauungsgebiet beschränkt.

7 Literatur und Quellenverzeichnis

- [1] Raasch, S. and M. Schröter (2001): PALM - a large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. Meteorol. Z. 10, 363–372
- [2] PALM Stadtklimamodell, verfügbar unter <https://palm.muk.uni-hannover.de/>
- [3] Deutscher Wetter Dienst (DWD). Deutscher Klimaatlas. [Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Deutscher Klimaatlas \(dwd.de\)](#) (Zugriff: 23.05.2023)
- [4] European Digital Elevation Model (EU-DEM), Version 1.1. European Environment Agency (EEA) under the framework of the Copernicus programme. 2016
- [5] Digitales Geländemodell 1m, DGM1. Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodaten.bayern.de
- [6] ALKIS Basis-DLM. Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem. Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de
- [7] Imperviousness Density (IMD). Copernicus Land monitoring services. High Resolution land cover characteristics for the 2018 reference year. 2018
- [8] Impervious Built-up (IBU). Copernicus Land monitoring services High Resolution land cover characteristics for the 2018 reference year. 2018
- [9] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Handbuch Stadtklima – Teil II Methoden, Arbeitspaket 1. Düsseldorf. 2014. (unveröffentlicht)
- [10] 3D-Gebäudemodelle LoD2, Level of Detail 2. Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de
- [11] Daten aus dem WRF Modell wurden durch die Sander GmbH, www.sander-partner.com, zur Verfügung gestellt
- [12] VDI 3787 Blatt 1: Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. 2015-09
- [13] VDI 3787 Blatt 2: Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. 2022-06