

# Grün-blaues Infrastruktur- und Energiekonzept

Konversion Mansergh Barracks,  
Stadt Gütersloh

Oktober 2022



**Auftraggeberin**

Stadt Gütersloh  
Berliner Straße 70  
33330 Gütersloh



**Auftragnehmer**

Energielenker projects GmbH  
Hüttruper Heide 90  
48268 Greven



Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie  
Kruppstraße 82-100  
45145 Essen



Ingenieurbüro Rau  
Bottwarbahnstr. 4  
74081 Heilbronn



**URBANLAND**  
OstWestfalenLippe



Dieses REGIONALE-Projekt wird gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen



**STÄDTEBAU-  
FÖRDERUNG**

von Bund, Ländern und  
Gemeinden

Ministerium für Heimat, Kommunales,  
Bau und Digitalisierung  
des Landes Nordrhein-Westfalen



**Lesehinweis**

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde im vorliegenden Bericht bei Personenbezeichnungen in der Regel die maskuline Form verwendet. Diese schließt jedoch gleichermaßen die feminine Form mit ein. Die Leserinnen und Leser werden dafür um Verständnis gebeten.

1	Einleitung und Zielsetzung .....	1
1.1	Beteiligungsprozess .....	5
2	Klimatologie des städtebaulichen Entwurfs .....	8
2.1	Klimatologische Ausgangslage .....	11
2.2	Klimaprojektion für den Raum Gütersloh.....	20
2.2.1	Klima von heute und bereits beobachtete Änderungen .....	20
2.2.2	Klimaprojektionen.....	20
2.3	Untersuchung des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich thermischer Belange .....	21
2.3.1	Windfeld .....	23
2.3.2	Tagsituation.....	24
2.3.3	Nachtsituation .....	27
2.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse thermische Simulationen .....	31
2.4	Untersuchung des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich der Durchlüftung .....	32
2.4.1	Vorgehensweise bei der Untersuchung der Durchlüftung.....	32
2.4.2	Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlüftung.....	35
2.4.3	Zusammenfassung Ergebnisse Durchlüftung.....	48
2.5	Planungsempfehlungen zur Minimierung des Eingriffs aus lokalklimatologischer Sicht	49
2.5.1	Planungsempfehlungen zur Minimierung des Eingriffs aus thermischer Sicht ..	49
2.5.2	Planungsempfehlungen zur Minimierung des Eingriffs aus durchlüftungstechnischer Sicht.....	52
3	Energieversorgungskonzept .....	55
3.1	Bedarfsanalyse Wärme .....	56
3.2	Bedarfsanalyse Strom.....	63
3.3	Ausarbeitung und Darstellung der Versorgungsvarianten .....	68
3.3.1	Variante 1 Holzhackschnitzel + Spitzenlastkessel.....	68
3.3.2	Variante 2 Kaltes Netz mit Erdwärmesonden.....	68
3.3.3	Variante 3 Kaltes Netz mit Eisspeicher .....	69
3.3.4	Variante 4 Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen .....	71
3.3.5	Geothermie .....	72
3.3.6	Verteilnetz .....	74
3.3.7	Fernwärme-Contracting .....	75
3.3.8	Einbindung Wasserstoff .....	76

3.3.9 Photovoltaik .....	76
3.3.10 Zusammenfassung der Auslegungsergebnisse .....	82
3.3.11 Flächenbedarf der Versorgungsvarianten .....	84
3.4 Fördermöglichkeiten .....	85
3.5 Ergebnisse.....	86
3.5.1 Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	86
3.5.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	87
3.5.3 Betrachtung der CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	88
3.5.4 Ergebnisse der Emissionsanalyse CO <sub>2</sub> .....	90
3.5.5 Ergebnisse der Emissionsanalyse Primärenergie .....	91
3.6 Bewertung Bestandsinfrastruktur .....	93
3.7 Sensitivitätsanalyse.....	93
3.8 Bewertung der Ergebnisse .....	97
3.8.1 Wärmeversorgung .....	97
3.8.2 PV .....	100
3.9 Vor-/Nachteile einer zentralen Energieversorgung .....	101
3.10 Umsetzbarkeit der Versorgungsvarianten .....	101
3.11 Nachteile von Luft-Wasser-Wärmepumpen .....	102
3.12 Auswirkungen einer höheren baulichen Dichte.....	102
3.13 Ausblick auf 2045 .....	103
3.14 Nächste Schritte .....	103
3.15 Anschlusszwang bei zentralen Wärmeversorgungs-lösungen .....	104
3.16 Betreibermodelle.....	104
4 Literaturverzeichnis .....	107



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Städtebaulicher Vorentwurf (Auszug) „Mansergh Quartier Gütersloh“ r. ....	3
Abbildung 1-2: Übersicht der Baufeldnummerierung aus dem Rahmenplanvorentwurf .....	4
Abbildung 1-3: Ergebnisse aus der Akteursveranstaltung I.....	5
Abbildung 1-4: Ergebnisse aus der Akteursveranstaltung II.....	6
Abbildung 2-1: Flächennutzungsstruktur im Bereich des Mansergh Quartiers .....	10
Abbildung 2-2: Langjährige mittlere Windrichtungsverteilung in der Region Ostwestfalen .....	11
Abbildung 2-3: Wärmebelastung um 14 Uhr MEZ in 2 m ü. Gr. am Tage.....	13
Abbildung 2-4: Nächtliche Lufttemperatur um 4 Uhr MEZ in 2 m ü. Gr. ....	15
Abbildung 2-5: Mesoskalige Klimateffekte 2 m ü. Gr. in austauscharmen Sommernächsten in Gütersloh. ....	16
Abbildung 2-6: Nächtliches Windfeld um 4 Uhr MEZ in 2 m ü. Gr. ....	18
Abbildung 2-7: Klimaanalysekarte zur Nachtsituation um 4 Uhr MEZ in 2 m ü. Gr. ....	19
Abbildung 2-8: Luftbildkarte zum Simulationsgebiet Mansergh Quartier.....	22
Abbildung 2-9: Windfeld in 2 m ü. Gr. während eines heißen Tages für den Ist-Zustand.....	23
Abbildung 2-10: Oberflächentemperatur in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr MEZ.....	24
Abbildung 2-11: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr.....	25
Abbildung 2-12: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr MEZ .....	26
Abbildung 2-13: Oberflächentemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr MEZ .....	28
Abbildung 2-14: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr MEZ .....	29
Abbildung 2-15: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr MEZ.....	30
Abbildung 2-16: Lageplan des Plangebiets mit Umriss des Modellgebietes.....	34
Abbildung 2-17: Synthetische Winddaten im Bereich des Plangebietes.....	35
Abbildung 2-18: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 30° Anströmung (NNO) für den Istzustand.....	38
Abbildung 2-19: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 30° Anströmung (NNO) für den Planzustand .....	38
Abbildung 2-20: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 30° Anströmung (NNO) .....	39
Abbildung 2-21: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 60° Anströmung (ONO) für den Istzustand.....	39
Abbildung 2-22: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 60° Anströmung (ONO) für den Planzustand. ....	40
Abbildung 2-23: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 60° Anströmung. ....	40
Abbildung 2-24: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 90° Anströmung (O) für den Istzustand. ....	41
Abbildung 2-25: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 90° Anströmung (O) für den Planzustand.....	41
Abbildung 2-26: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 90° Anströmung (O).....	42
Abbildung 2-27: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 120° Anströmung (OSO) für den Istzustand. ....	42
Abbildung 2-28: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 120° Anströmung (OSO) für den Planzustand.....	43
Abbildung 2-29: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 120° Anströmung.....	43
Abbildung 2-30: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 210° Anströmung (SSW) für den Istzustand. ....	44
Abbildung 2-31: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 210° Anströmung (SSW) für den Planzustand.....	44
Abbildung 2-32: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 210° Anströmung.....	45
Abbildung 2-33: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 240° Anströmung (WSW) für den Istzustand. ....	45
Abbildung 2-34: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 240° Anströmung (WSW) für den Planzustand.....	46
Abbildung 2-35: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 240° Anströmung.....	46
Abbildung 2-36: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 270° Anströmung (W) für den Istzustand.....	47
Abbildung 2-37: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 270° Anströmung (W) für den Planzustand. ....	47
Abbildung 2-38: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 270° Anströmung.....	48
Abbildung 2-39: Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmebelastung.....	50
Abbildung 2-40: Gebäudekomplexe mit Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Durchlüftung.....	53
Abbildung 2-41: Orte mit höherer mittlerer Windgeschwindigkeit im Planfall.....	54

Abbildung 3-1: Nutzungsübersicht Regelgeschoss .....	56
Abbildung 3-2: Gebäudehöhen und Geschossigkeit.....	57
Abbildung 3-3: Bestandsgebäude Integration und Neubau .....	57
Abbildung 3-4: Darstellung des geordneten Wärmelastgangs .....	61
Abbildung 3-5: Darstellung des Jahresverlaufs des Wärmebedarfs.....	62
Abbildung 3-6: Darstellung des Jahresverlaufs des Wärmebedarfs.....	62
Abbildung 3-7: Jährlicher Strombedarfsverlauf .....	65
Abbildung 3-8: Vergleich Stromerzeugung zu Strombedarf im Quartier.....	65
Abbildung 3-9: Zusammenfassung der Bedarfsanalyseergebnisse .....	66
Abbildung 3-10: Schematische Darstellung der Versorgungsvariante 2 .....	69
Abbildung 3-11: Beispiel Kraftdach (Metternich Haustechnik 2022) .....	70
Abbildung 4-12: Schematische Darstellung der Versorgungsvariante 3 .....	71
Abbildung 3-13: Schematische Darstellung der Versorgungsvariante 3 .....	71
Abbildung 3-14: Karte der geothermischen Ergiebigkeit (auf Basis des geologischen Dienst NRW) .....	72
Abbildung 3-15: Darstellung einer Erdsonde (Quelle: <a href="http://www.energiesparhaus.at">www.energiesparhaus.at</a> ).....	73
Abbildung 3-16: Mögliche Positionierung Erdwärmesondenfelder im Norden des Quartiers .....	74
Abbildung 3-17: Potenzielles Verteilnetz inkl. Verortung Heizzentrale.....	75
Abbildung 3-18: Bestandsfernwärmenetze .....	76
Abbildung 3-19: Dachflächenpotenziale .....	77
Abbildung 3-20: Vergleich Stromerzeugung zu Strombedarf .....	80
Abbildung 3-21: Auslegung Variante 1 mit Wärmespeicher .....	83
Abbildung 3-22: Auslegung Variante 1 ohne Wärmespeicher .....	83
Abbildung 3-23: Sensitivitätsanalyse Biomethan-Preis.....	94
Abbildung 3-24: Sensitivitätsanalyse Strom-Preis .....	95
Abbildung 3-25: Sensitivitätsanalyse Holzhackschnitzel-Preis.....	96
Abbildung 3-26: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	97
Abbildung 3-27: Zusammenfassung der Ergebnisse der Primärenergiebilanz .....	98
Abbildung 3-28: Zusammenfassung der Emissionsbetrachtung .....	98

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Städtebauliche Kennwerte aus dem Rahmenplanvorentwurf.....	4
Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Akteursveranstaltung und Benennung der Kapitel .....	6
Tabelle 3: Skala der Physiologischen Äquivalenttemperatur PET für thermisches Empfinden.....	12
Tabelle 4: Qualitative Klimamerkmale von Bodenoberflächen.....	51
Tabelle 5: Eigenschaften von Dachbegrünungen .....	52
Tabelle 6: Übersicht der Gebäudetypen.....	58
Tabelle 7: Simulationsergebnisse Neubauten.....	59
Tabelle 8: Simulationsergebnisse Bestandsgebäude.....	60
Tabelle 9: Übersicht der Simulationsergebnisse Strombedarf .....	63
Tabelle 10: Übersicht des Strombedarfs .....	64
Tabelle 11: Stromleistungsbedarfe Haushaltsstrom .....	67
Tabelle 12: Stromleistungsbedarfe E-Mobilität .....	67
Tabelle 13: Dachflächenpotential Photovoltaik.....	77
Tabelle 14: Zusammenfassung der PV-Ergebnisse, Teil 1 .....	78
Tabelle 15: Zusammenfassung der PV-Ergebnisse, Teil 2 .....	79
Tabelle 16: Zusammenfassung der PV-Ergebnisse, Teil 3 .....	79
Tabelle 17: Zusammenfassung der PV-Ergebnisse, Teil 4 .....	80
Tabelle 18: Übersicht der Auslegungsergebnisse EH 40-Standard .....	82
Tabelle 19: Übersicht der Flächenbedarfe für zentrale Versorgungsvarianten.....	84
Tabelle 20: Kostenentwicklung der Inputstoffe über Betrachtungszeitraum.....	86
Tabelle 21: Übersicht der Wirtschaftlichkeitsergebnisse EH40-Standard Variante 1 bis 4 .....	87
Tabelle 22: Übersicht der CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	88
Tabelle 23: Übersicht der Primärenergiefaktoren .....	89
Tabelle 24: Übersicht zur Wärmeversorgung.....	90
Tabelle 25: Gesamtbilanz CO <sub>2</sub> der Versorgungsvarianten mit PV ohne Batteriespeicher .....	90
Tabelle 26: Gesamtbilanz CO <sub>2</sub> der Versorgungsvarianten mit PV mit Batteriespeicher .....	90
Tabelle 27: Primärenergieeinsatz der Wärmeversorgung und PV .....	91
Tabelle 28: Gesamtbilanz der Versorgungsvarianten mit PV ohne Batteriespeicher .....	91
Tabelle 29: Gesamtbilanz der Versorgungsvarianten mit PV mit Batteriespeicher.....	92
Tabelle 30: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse Biomethan-Preis.....	94
Tabelle 31: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse Strom-Preis.....	95
Tabelle 32: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse Hackschnitzel-Preis.....	96
Tabelle 33: Bewertungsmatrix Energieversorgungskonzept.....	99
Tabelle 34: Untersuchung von erhöhtem Strom- Wärme- Kältebedarf .....	102
Tabelle 35: Übersicht der Gestehungskosten ab 2045 .....	103
Tabelle 36: Übersicht unterschiedlicher Betreibermodelle .....	105

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Die Stadt Gütersloh plant im Rahmen der Projektentwicklung „Konversion Mansergh Barracks“ die Erstellung eines grün-blauen Infrastruktur- und Energiekonzeptes.

Das Gebiet liegt im Gütersloher Stadtteil Sundern, südlich der Dalke sowie östlich der Verler Straße. Der Geltungsbereich der städtebaulichen Neuordnung umfasst dabei eine insgesamt 40 ha große Fläche, welche sich überwiegend durch Mischnutzung auszeichnen wird. Auf dem Gebiet ist zukünftig, neben kleingewerblichen Nutzungen, auch die Ansiedlung eines Hochschulstandortes sowie die Realisierung von etwa 1.000 Wohneinheiten vorgesehen.

Die Abbildung 1-1 zeigt den Vorentwurf des Rahmenplans „Mansergh Quartier Gütersloh“ Stand 04.06.2021, entworfen von den Planungsbüros Studio Wessendorf und Studio RW Landschaftsarchitektur. Der Rahmenplan erhält dabei ausgewählte Gebäude der ehemaligen Kaserne und integriert diese in die vorgesehene Neubauplanung. Der Abbildung 1-2 zeigt eine Übersicht zur Baufeldnummerierung, der Tabelle 1 sind die entsprechenden städtebaulichen Kennwerte zu entnehmen.

Auf Grundlage dieses Rahmenplans soll ein blau-grünes Infrastruktur- und Energiekonzept aufgestellt werden. Eine Projektgruppe bestehend aus der energielenker projects GmbH, dem Ingenieurbüro Matthias Rau und dem Gutachterbüro Dr. Düttemeyer Umweltmeteorologie wurde mit der Ausarbeitung dieses Konzeptes beauftragt.

Das Mansergh Quartier soll ein vernetztes Quartier zum Wohnen und Arbeiten werden und sich zu einem zukunftsfähigen Stadtviertel mit innovativem Charakter entwickeln. Aus diesem Grund wird mit dem vorliegenden grün-blauen Infrastrukturkonzept der zukunftsweisende und ressourcenschonende Umgang, insbesondere in den Themenfeldern Energie und Wasser, untersucht. Ziel ist es, Maßnahmenvorschläge zum Klimaschutz und zur Klimafolgenanpassung aufzuzeigen.

Das vorliegende Infrastrukturkonzept für das Mansergh Quartier gliedert sich somit in folgende Untersuchungsschwerpunkte:

- Klimatologie des städtebaulichen Entwurfs (Kapitel 2)
- Energieversorgungskonzept (Kapitel 3)

Im Zuge der laufenden Bearbeitung dieses Konzepts wurde am 13.06.2022 durch den Hauptausschuss beschlossen, dass es im Entrée-Bereich des Quartiers an der Verler Straße eine bauliche Änderung geben sollte. Nun ist vorgesehen, das Innovationszentrum nicht mehr innerhalb der Waldfläche anzusiedeln, sondern im Bereich des Bildungscampus der Fachhochschule Bielefeld. Da teilweise entsprechende Untersuchungsschritte bereits abgeschlossen waren und keine wesentlichen Auswirkungen durch diese Änderung zu erwarten sind (z. B. im Bereich Mikroklima), bilden diese Teile des Konzepts noch den alten Stand des Rahmenplanvorentwurfs ab. Im jeweiligen Kapitel wird auf den Umgang mit der Verlagerung des Innovationszentrums kurz eingegangen.

Die zukünftigen Preiserhöhungen der Energieträger und Baukosten sind besonders in der derzeitigen politischen Lage äußerst schwer zu prognostizieren. Bei der Betrachtung der Erdgas- und Strompreise der letzten Jahre ist festzustellen, dass die Energiekosten im Allgemeinen gestiegen sind. Für die langfristige Zukunft wird auch in diesem Konzept von einem Anstieg der Strom- und Brennstoffpreise ausgegangen. Für eine genauere Abschätzung der zukünftigen Entwicklung gibt es verschiedene Faktoren zu beachten. Für die wirtschaftliche Einschätzung der Energieversorgung ist die Entwicklung der Strom- und Brennstoffpreise zueinander entscheidend. Einige Annahmen und Prognosen, welche diese Kosten beeinflussen sind z. B. der Wegfall der EEG-Umlage, die steigende Inflation und steigende Kosten für den Netzausbau.

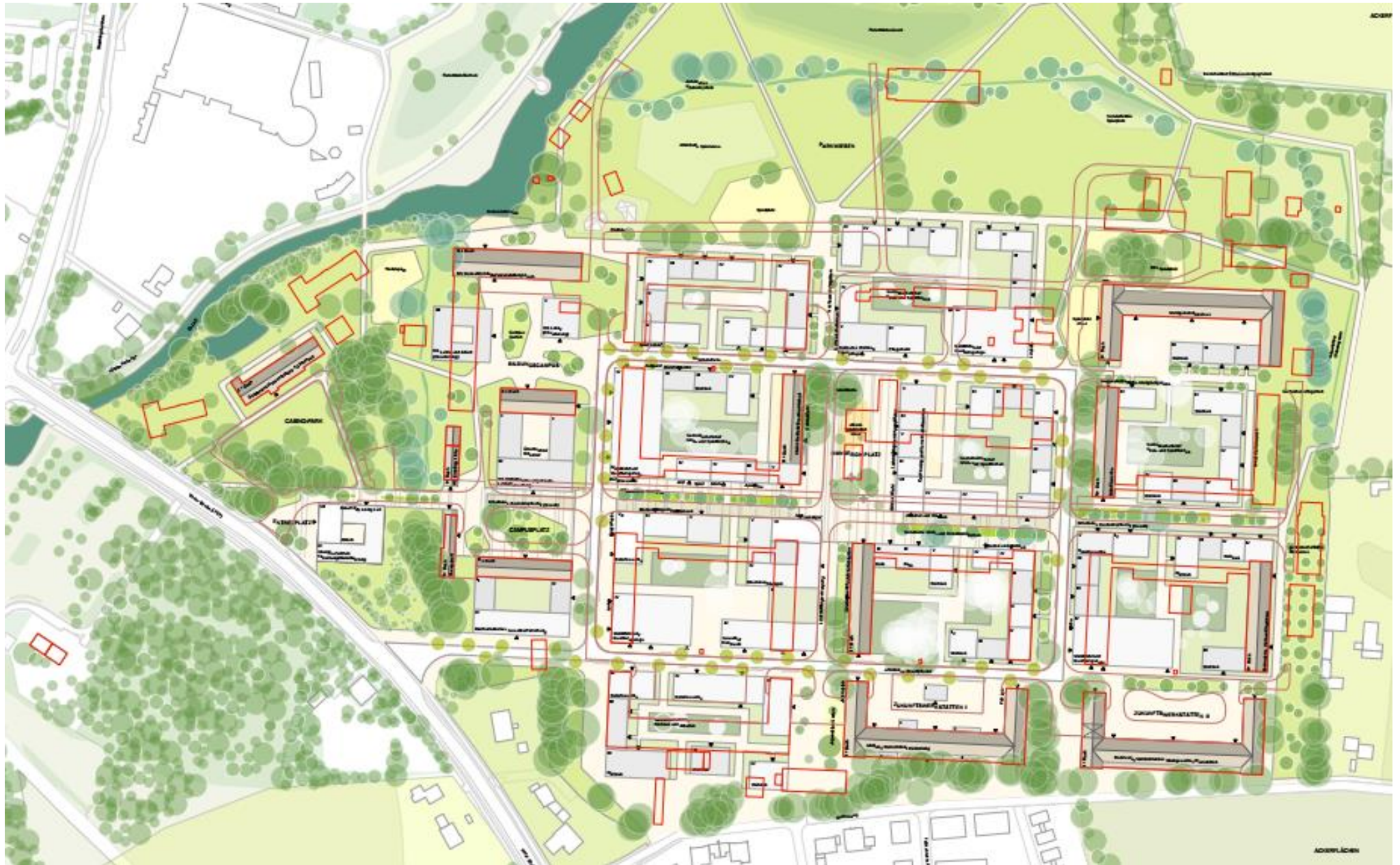
Die Strom- und Brennstoffpreise bleiben volatile Größen, sodass die Prognose für die mittel- und langfristigen Entwicklungen aus genannten Gründen ungewiss ist. Es wird angenommen, dass ausgehend vom heutigen Preisniveau z. B. der Gaspreis relativ in einem höheren Maße steigen wird als der Strompreis. Da dies jedoch nicht quantifizierbar ist, wird in diesem Bericht u. a. mit den aufgeführten Energiepreisen gerechnet.

Aufgrund der aktuellen Situation in Folge der Lieferengpässe und Inflation etc., ist zudem eine genaue Abschätzung der zukünftigen Investitionskosten nicht möglich, weshalb die Investitionskosten und angenommenen Strom- und Brennstoffpreise auf den ermittelten Daten zum Zeitpunkt der Durchführung der Wirtschaftlichkeitsberechnung beruhen.

Hinweis:

Dieses Konzept wurde zeitgleich mit der Untersuchung der technischen Infrastruktur und Erstellung eines Entwässerungskonzepts in enger inhaltlicher Abstimmung erarbeitet.





**MANSERGH QUARTIER GÜTERSLOH** 04.06.2021 Lageplan Vorentwurf mit Überlagerung Bestandslinien M 1:1.000 DIN A0

Abbildung 1-1: Städtebaulicher Vorentwurf (Auszug) „Mansergh Quartier Gütersloh“ von Studio Wessendorf und Studio RW Landschaftsarchitektur.



**Übersicht  
Baufeldnummerierung**

Abbildung 1-2: Übersicht der Baufeldnummerierung aus dem Rahmenplanvorentwurf

Tabelle 1: Städtebauliche Kennwerte aus dem Rahmenplanvorentwurf

	Grundstücks- fläche	Überbaute Grundfläche	GF Bestandserhalt	GF Neubau excl. Quartiersgaragen	GF Gesamt excl. Quartiersgaragen	GF Quartiersgaragen nur oberirdische Flächen	GF Gesamt incl. Quartiersgaragen	GRZ	GFZ	WE **
	Werte für GRZ/GFZ	Werte für GRZ					Werte für GFZ			
N1	15.400	6.900	3.800	11.300	15.100	0	15.100	0,4	1,0	0
N2	7.250	3.300	0	12.350	12.350	0	12.350	0,5	1,7	120
N3	11.300	5.200	0	14.300	14.300	6.300	20.600	0,5	1,8	120
N4	14.000	3.600	5.200	2.050	7.250	0	7.250	0,3	0,5	60
N5	9.000	5.200	2.350	8.200	10.550	8.600	19.150	0,6	2,1	60
N6	8.700	4.300	0	18.800	18.800	0	18.800	0,5	2,2	160
N7	11.200	3.300	2.950	8.650	11.600	0	11.600	0,3	1,0	80
S1	9.800	4.300	2.700	12.400	15.100	0	15.100	0,4	1,5	0
S2	11.500	7.100	0	22.850	22.850	6.500	29.350	0,6	2,6	130
S3	9.250	4.000	3.000	11.000	14.000	0	14.000	0,4	1,5	80
S4*	17.600	6.000	3.000	10.600	13.600	8.200	21.800	0,3	1,2	110
S5	13.100	4.400	0	15.900	15.900	0	15.900	0,3	1,2	80
S6	11.400	3.200	5.000	400	5.400	0	5.400	0,3	0,5	0
S7	7.600	2.800	5.250	0	5.250	0	5.250	0,4	0,7	0
P1	1.800	900	1.550	0	1.550	0	1.550	0,5	0,9	0
	158.900	64.500	34.800	148.800	183.600	29.600	213.200	0,4	1,3	1000

\* Die gemeinschaftliche Obstwiese am Ostrand wird in dieser Flächenaufstellung dem Baufeld S4 zugeschlagen.

\*\* WE = Standardwohneinheit von 100m<sup>2</sup> Geschossfläche (entspricht umgerechnet etwa 75 m<sup>2</sup> WF)

Die Werte in dieser Tabelle sind gerundet.



## 1.1 Beteiligungsprozess

Im Rahmen des Projekts erfolgte die kontinuierliche Einbindung der entsprechenden Fachabteilungen der Stadt Gütersloh, der concept GT mbH, der Stadtwerke Gütersloh GmbH, der Netzgesellschaft Gütersloh mbH sowie der Planungsbüros Studio Wessendorf und Studio RW.

Am 29.03.2022 wurde im Zuge des Projekts eine Akteursveranstaltung durchgeführt. Eingeladen waren neben den politischen Vertretungen verschiedene Verbände wie die Gesellschaft für Natur und Umwelt (GNU), der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), der Naturschutzbund Deutschland (NABU), die Bürgerinitiative Energiewende sowie der Klimabeirat der Stadt Gütersloh. In der Veranstaltung wurden in einem kurzen Input-Vortrag das Vorgehen und wesentliche Projektinformationen durch das Projekt-Team vorgestellt. In der Workshop-Phase wurden gemeinsam grundsätzliche Erwartungen an das Mansergh Quartier erarbeitet und im Zuge dessen unterschiedliche projektbezogene Fragen beantwortet.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse aus der Online-Veranstaltung zu der Fragestellung „Welche Möglichkeiten und Ideen gibt es im Bereich der Wasserwirtschaft, der Klimaanpassung, der Energieversorgung und energetischer Standards im Mansergh Quartier?“.



Abbildung 1-3: Ergebnisse aus der Akteursveranstaltung zu den Bereichen Klimaanpassung, Wassernutzung und -bewirtschaftung





Welche Möglichkeiten und Ideen gibt es im Bereich der Energieversorgung im Mansergh Quartier?

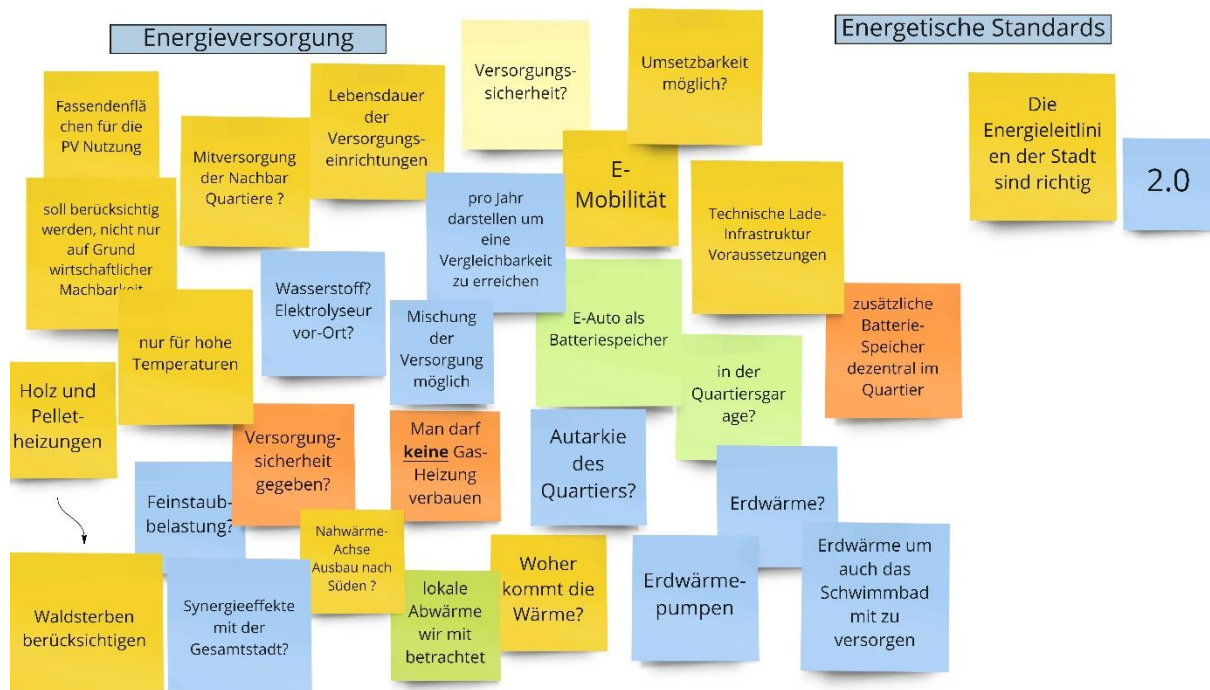


Abbildung 1-4: Ergebnisse aus der Akteursveranstaltung zu den Bereichen Energieversorgung und energetische Standards

Die Tabelle 2 beinhaltet die Ergebniszusammenfassung der Akteursveranstaltung vom 29.03.2022. Die Ideen und Hinweise aus der Veranstaltung wurden dazu geclustert und inhaltlich zusammengeführt. Darüber hinaus werden in der Tabelle die entsprechenden Kapitel, mit der Berücksichtigung dieser Themen, innerhalb dieses Konzeptes benannt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Akteursveranstaltung und Benennung der Kapitel (Grün-blaues Infrastruktur- und Energiekonzept = GBIE, Untersuchung der technischen Infrastruktur und Erstellung eines Entwässerungskonzepts=UIE)

Inhaltliche Zusammenführung der Themen	Berücksichtigt in Kapitel
<b>Klimaanpassung</b>	
<b>Hitzemindernde Maßnahmen</b> (u. a. helle Oberflächen, Fassadenbegrünung, Baumgruppen statt Einzelbäume)	GBIE s. Kapitel 2.5.1 GBIE s. Kapitel 2.5.2
<b>Maßnahmen zur menschlichen Gesundheit</b> (u. a. Aufenthaltsbereiche im Schatten)	GBIE s. Kapitel 2.3.2 GBIE s. Kapitel 2.5
<b>Retentionsmaßnahmen</b> (u. a. Dachbegrünung, Ausgleichsflächen)	GBIE s. Kapitel 2.5.1 UIE s. Kapitel 2.3.1

<b>Regenwassernutzungsanlagen und Wasserspeicherung</b> (u. a. Zisternen)	UIE s. Kapitel 2.2
<b>Energieversorgung</b>	
<b>Regenerative Stromversorgung</b> (u. a. Batteriespeicher, Fassadenflächen für Photovoltaik-Anlagen, Lebensdauer der Versorgungseinrichtungen)	GBIE s. Kapitel 3.3.9 GBIE s. Kapitel 3.12
<b>Regenerative Wärmeversorgung</b> (u. a. Holz- und Pelletheizungen, Nah- und Abwärme)	GBIE s. Kapitel 3.3.1 GBIE s. Kapitel 3.3.2 GBIE s. Kapitel 3.3.3
<b>Energetische Standards</b>	GBIE s. Kapitel 3.1

Folgende genannte Themenbereiche aus der Akteursveranstaltung sind kein Bestandteil des Grün-blauen Infrastrukturkonzepts, könnten jedoch in den weiteren Planungsphasen für das Mansergh Quartier weiter konkretisiert und geprüft werden:

<b>Inhaltliche Zusammenführung der Themen</b>
<b>Förderung der Artenvielfalt</b> (Streuobstwiesen, Teiche, Renaturierung der Dalke, Waldsterben etc.)
<b>Maßnahmen zur menschlichen Gesundheit</b> (Trinkwasserstellen)
<b>Klimafreundliche Mobilität</b> (E-Mobilität, Wasserstoff)

## 2 Klimatologie des städtebaulichen Entwurfs

Wie bei städtebaulichen Entwicklungen dieser Größenordnung üblich, werden unter anderem lokalklimatologische Auswirkungen auf angrenzende Siedlungsgebiete durch das Vorhaben geprüft. Durch die geplante Nachverdichtung besteht beispielsweise die Möglichkeit, dass großräumigere, thermisch bedingte Strömungssysteme (beispielsweise Kaltluftströmungen), die gegebenenfalls in typischen Strahlungsnächten das Plangebiet tangieren, durch die geplante Nachverdichtung in ihrem Fließverhalten beeinträchtigt und in ihrer Intensität geschwächt werden. Diese Auswirkungen sind großskalig einzuschätzen und könnten die nächstgelegenen Wohngebiete betreffen.

Des Weiteren ist es möglich, dass in dem Untersuchungsgebiet selbst durch die geplante Bebauung zum einen das bodennahe dynamische Windfeld, das eine unmittelbare Auswirkung auf das Temperatur- und Luftschadstoffaustauschpotenzial (Durchlüftung) hat, beeinflusst wird und zum anderen auch durch eine zunehmende Versiegelung insbesondere an windschwachen heißen Tagen, Überwärmungen in dem Gebiet auftreten.

Im Rahmen der Untersuchung zum Mansergh Quartier werden beide Aspekte betrachtet, und zwar zum einen die zu erwartenden klimatischen Verhältnisse während austauscharmer sommerlicher Witterungen, zum anderen die dynamischen Windverhältnisse bei eher untergeordnetem Einfluss der thermischen Verhältnisse. Während für die Untersuchung einer austauscharmen sommerlichen Wetterlage ein spezielles Stadtklimasimulationsmodell zum Einsatz kommt, mit dem für einen schwachwindigen hochsommerlichen Tag instationäre Berechnungen durchgeführt werden, kommt für die dynamischen Winduntersuchungen ein so genanntes mikroskaliges prognostisches Windfeldmodell zum Einsatz, mit dem unterschiedliche Anströmsituationen untersucht werden.

Das Klima eines Ortes wird grundsätzlich neben der zugehörigen Klimazone und dem Lagebezug zu den Ozeanen vor allem durch die vorhandene Topografie und das Relief geprägt (Hupfer & Kuttler 2006).

Während sog. *allochthoner*, d. h. austauschreicher Witterung, welche den Normalzustand der Atmosphäre darstellt, sind die Effekte der Topografie und des Reliefs eher schwach ausgeprägt: Die übergeordneten, überregionalen und mehrere hundert Meter bis einige Kilometer hohen Windfelder der Troposphäre durchdringen mit relativ hohen Windgeschwindigkeiten die bodennahe Atmosphäre und verwischen dabei die lokalen Klimateffekte durch Durchmischung und schnellen Abtransport. Diese Witterungssituation stellt i. d. R. *keine* für die menschliche Gesundheit kritische Situation dar.

Während sog. *autochthoner*, d. h. wolkenfreier und sonnenreicher sowie austauscharmer, von überregionalen Windfeldern unbeeinflussten, Wetterlagen tritt hingegen das lokale Klima deutlicher in Erscheinung. Das Klima wird hierbei *maßgeblich* durch das lokale Relief und die Topografie geprägt, allerdings ist deren räumliche Wirkung aufgrund des Fehlens eines überregionalen Windfeldes auf die nähere Umgebung beschränkt. Winde treten hierbei nur lokal vorzugsweise auf Freilandflächen und überwiegend nachts in Form *bodengebundener schwacher* Kaltluftströmungen auf, die äußerst anfällig für Strömungshindernisse wie z. B. städtische Bebauung, Dämme, Gehölzstreifen oder Wälder sind (VDI 2003). Flächennutzungen mit für die menschliche Gesundheit ungünstigen klimatischen oder lufthygienischen Eigenschaften können bei solchen Wetterlagen fallweise ein Problem darstellen:

Städte zeichnen sich gegenüber der freien Landschaft im Allgemeinen durch eine durch Sonneneinstrahlung bedingte Aufheizungstendenz von Gebäuden und versiegelten Oberflächen („Städtische Wärmeinsel“) sowie durch Industrie, Hausbrand und Verkehr bedingte erhöhte Spurenstoffbelastungen bei gleichzeitig bebauungsbedingten bedingten reduzierten Durchlüftungsverhältnissen aus (Kuttler 2004a,b).

Die Ausprägung der stadtklimatischen Effekte ist primär von der Lagedichte der Bebauung und der räumlichen Verteilung von versiegelten Flächen und Quellen atmosphärischer Spurenstoffe abhängig

(Helbig et al. 1999). Mit zunehmender räumlicher Dichte dieser Faktoren verstärken sich die o. g. stadtklimatischen Effekte, die in dicht bebauten Innenstadtbereichen deutlicher ausgeprägt sind als an aufgelockert bebauten und grüneren Stadträndern oder in ländlichen Siedlungen (MW-BW 2012).

Während autochthoner Witterung können bodennahe Kaltluftflüsse aus dem Umland als Kalt- oder Frischluft positiv auf das Klima der Siedlungsräume wirken (insbesondere in heißen Sommernächten), sofern sie nicht durch Strömungshindernisse blockiert und idealerweise zusätzlich über hindernisfreie Ventilationsbahnen in die Bebauung hineingelenkt werden können.

### *Topografische Situation*

Das Mansergh Quartier liegt im Gütersloher Stadtrandbereich zwischen der südlichen Kernstadt und dem Ortsteil Sundern (Abbildung 2-1).

Westlich und östlich des Quartiers befinden sich ausgedehnte, landwirtschaftliche Freiflächen, die durch einige Wälder, Gehölze und Parks durchsetzt sind.

Das Mesorelief ist weitgehend eben und leicht nach Südwesten zur Emsniederung geneigt. Im Mikrorelief liegt zwischen dem Quartier und der nördlichen Kernstadt die von Osten nach Westen verlaufende, flache Senke des Dalkebaches.

Die Höhenvariationen des Mikroreliefs betragen im Umkreis des Quartiers von 1 km maximal 8 m, entsprechend einer mittleren Hangneigung von 0,2 Grad bzw. einem Gefälle von 0,4 %. Damit ist gemäß VDI (2003) nur mit einem marginalen bis fehlenden Transport lokaler Kaltluft zu rechnen, zumal strömungshemmende Bauungen und Bäume i. d. R. deutlich höher sind als die Geländehöhenunterschiede.

Der Bachverlauf der Dalke ist mit strömungshemmenden Baum- und Gehölzstreifen gesäumt. Im Bereich des Quartiers liegen beiderseits der Dalke größere, begrünte und z. T. bewaldete Sportanlagen, welche die nördliche Bebauung gegen das Quartier abschirmen.

Eine direkte Nachbarschaft zu einer Wohnbebauung ist lediglich an der Südseite des Quartiers mit dem Ortsteil Sundern gegeben.



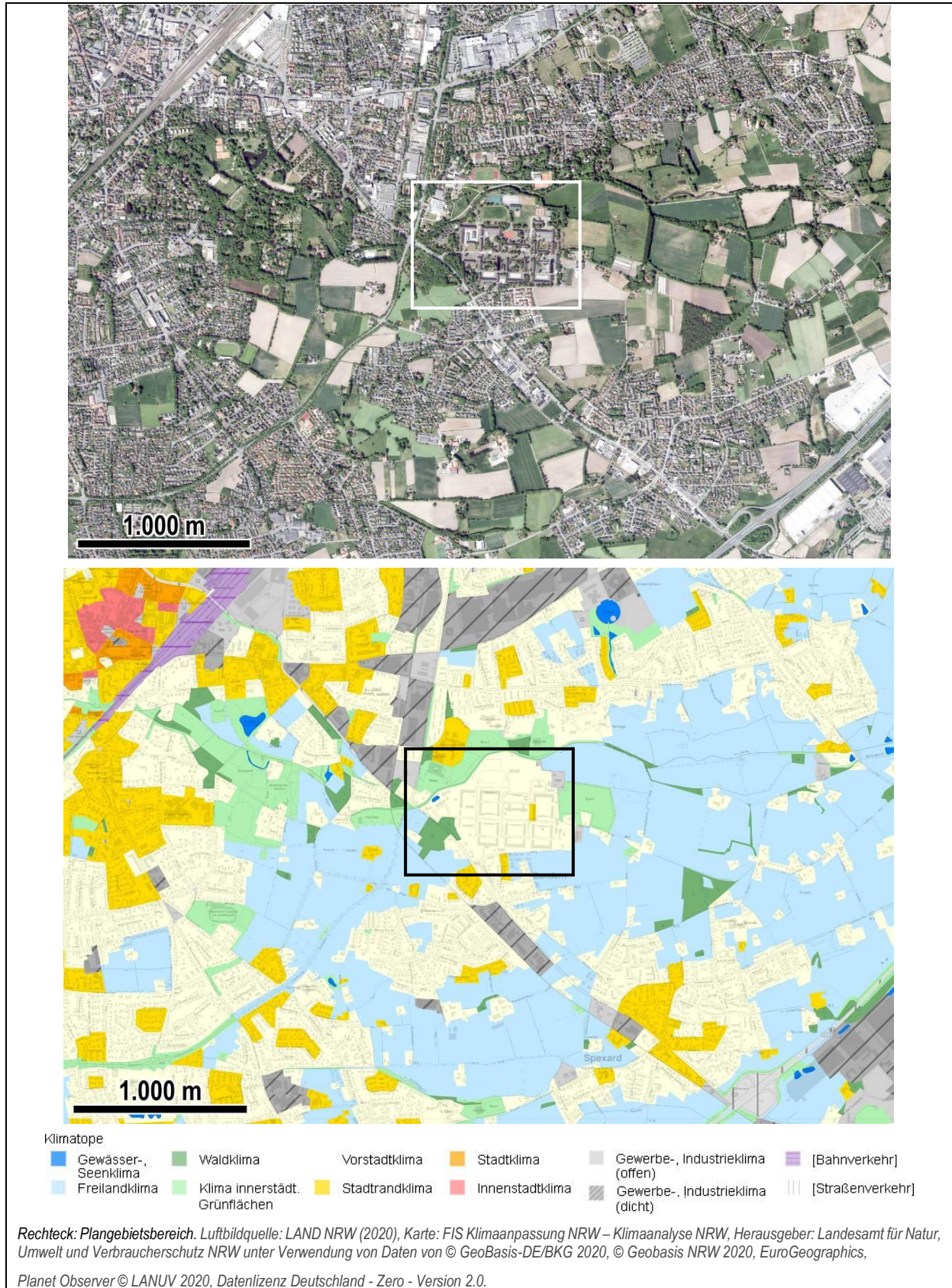


Abbildung 2-1: Flächennutzungsstruktur im Bereich des Mansergh Quartiers

## 2.1 Klimatologische Ausgangslage

### Allgemeine Klimatologie

Da es sich bei dem geplanten Quartier um eine aufgelockerte, weitabständige und stark durchgrünte Zeilenbebauung mit geringen Häuserhöhen und ohne gewerbliche oder industrielle Nutzung handelt, ist die klimatische Fernwirkung des Quartiers räumlich sehr begrenzt, wie nachfolgend gezeigt wird.

Von Interesse ist hier die potenzielle Wirkung des Quartiers auf benachbarte Bereiche mit potenziell sensibler Nutzung wie Wohngebiete und Gesundheits-, Pflege- oder Bildungseinrichtungen. Solche Nutzungen fehlen in den näheren Bereichen westlich und östlich des Quartiers. Die nördliche Bebauung beinhaltet zwar das Schulzentrum Ost und einige Sportanlagen, ist aber durch die baumreichen, strömungshemmenden Grünanlagen entlang der Dalke vor direkten Wirkungen durch das Quartier geschützt, zumal die erforderlichen Anströmrichtungen Südost bis Süd unter allochthonen, d. h. normalen mittleren, Witterungsbedingungen nur sehr selten auftreten (Abbildung 2-2).

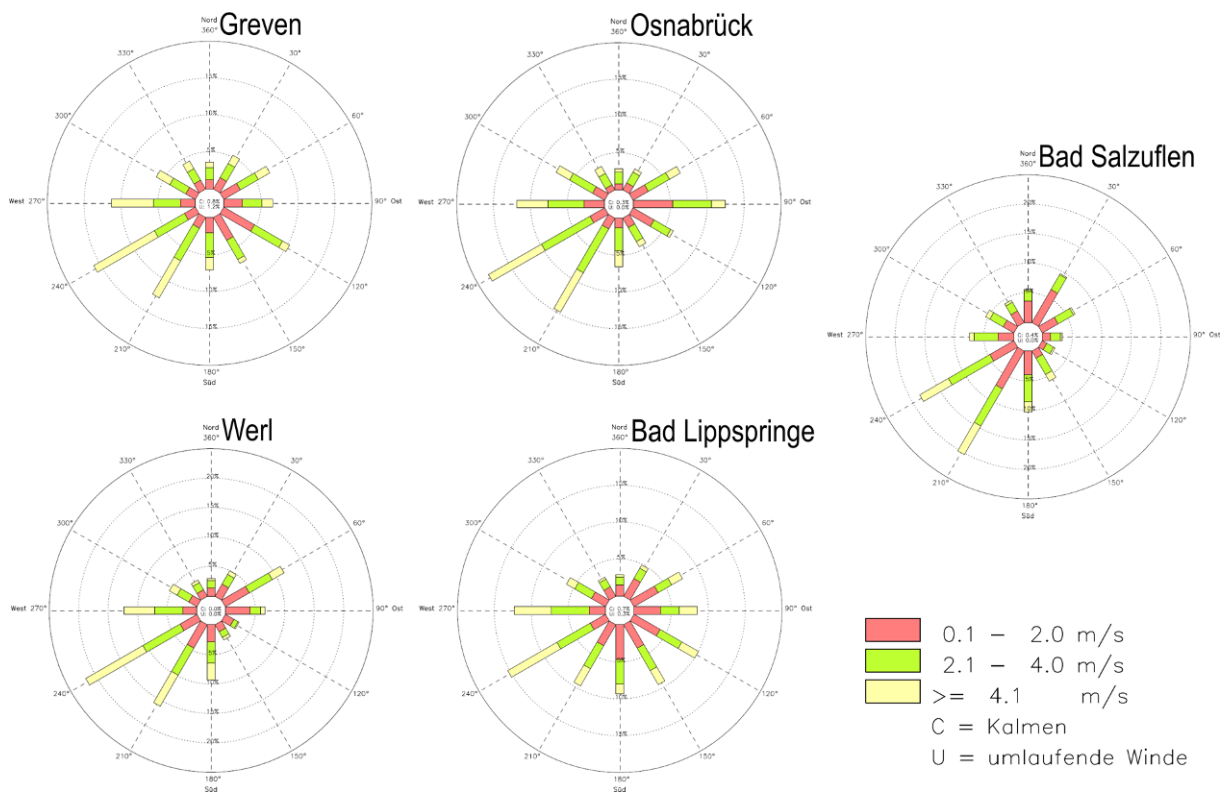


Abbildung 2-2: Langjährige mittlere Windrichtungsverteilung in der Region Ostwestfalen (LANUV NRW 2020): KlimaAtlas NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und Land NRW)

Auch die direkt südlich an das Quartier anschließende Wohnsiedlung Sundern liegt bei normalen Witterungsbedingungen nur selten im Einflussbereich des Quartiers, da die erforderliche Anströmrichtung Nord ebenfalls selten auftritt (Abbildung 2-2).

Von größerem praktischem Interesse sind die klimatischen Bedingungen während austauscharmer warmer bis heißer Sommertage, da es hierbei zu flächenhaften Wärmebelastungen für die Bevölkerung kommen kann, die während Hitzeperioden auch nachts auftreten können.

Bei den zu betrachtenden Witterungsbedingungen werden dabei überregionale Warmluftwindfelder (beispielsweise südliche Winde aus dem Mittelmeerraum oder der Sahara) ausgeschlossen, da diese so kräftig und heiß sind, dass sie die lokalen Klimateffekte einschließlich Kaltluftproduktion überlagern. Damit kommen lokale Kühleffekte nicht mehr zur Geltung, sodass Wärmebelastungen unabhängig von der Flächennutzung flächendeckend gegeben sind.

## Klima der austauscharmen sommerlichen Witterung

### Thermische Verhältnisse

Um das lokalklimatische Wirkungsgefüge zu erfassen, wird eine von überregionalen Windfeldern unbeeinflusste, sog. autochthone (d. h. austauscharme) Witterung angenommen. Dabei können sich, durch die Topografie und das Relief verursachte, lokalklimatische Effekte auch zu regionalen Klimateffekten entwickeln, wenn sich die ursächlichen Flächen- und Reliefstrukturen über einen weiten räumlichen Bereich ausdehnen, der fallweise bis zu mehrere zehner Kilometer weit reichen kann.

Die Wärmebelastung ist an heißen Sommertagen am Tage während des Nachmittags am größten. In der Klimaanalyse Gütersloh 2022 (Stadt Gütersloh / GEO-NET 2022) ist die Wärmebelastung um 14 Uhr MEZ für das Umfeld des Plangebietes anhand der Physiologischen Äquivalenttemperatur PET1 dargestellt (Abbildung 2-3 Erläuterung siehe Tabelle 1).

Tabelle 3: Skala der Physiologischen Äquivalenttemperatur PET für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006).

PET in °C	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Physiologische Wirkung
4	sehr kalt	extreme Belastung	Kältestress
8	kalt	starke Belastung	
13	kühl	mäßige Belastung	Kühlereiz
18	leicht kühl	schwache Belastung	
23	behaglich	keine Belastung	
29	leicht warm	schwache Belastung	Wärmereiz
35	warm	mäßige Belastung	
41	heiß	starke Belastung	Hitze stress
	sehr heiß	extreme Belastung	

<sup>1</sup> Die **Physiologische Äquivalenttemperatur (PET)** (VDI 2008, MAYER 2006) ist ähnlich der *gefühlten Lufttemperatur* des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ein Wärmebehaglichkeitsmaß und berücksichtigt neben der Lufttemperatur weitere meteorologische Einflussgrößen, welche die Thermoregulation des menschlichen Körpers beeinflussen. Hierzu zählen die Luftfeuchtigkeit (vgl. trockene „Wüsten“- vs. feuchte „Tropen“-Hitze), die Transpiration fördernde Windgeschwindigkeit (zur Schweißverdunstung), die Wärmestrahlung der Oberflächen und umliegenden Gebäude sowie insbesondere die direkte Sonneneinstrahlung am Tage („Weißes- vs. Schwarzes-T-Shirt-Effekt“ und Sonnenstich). Daher ist an heißen Tagen die Hitzebelastung auf sonnenexponierten Freilandflächen am Tage deutlich höher als z. B. in verschatteten Straßenschluchten einer dichten Bebauung.



## K05: Wärmebelastung (PET) am Tage Stadt Gütersloh

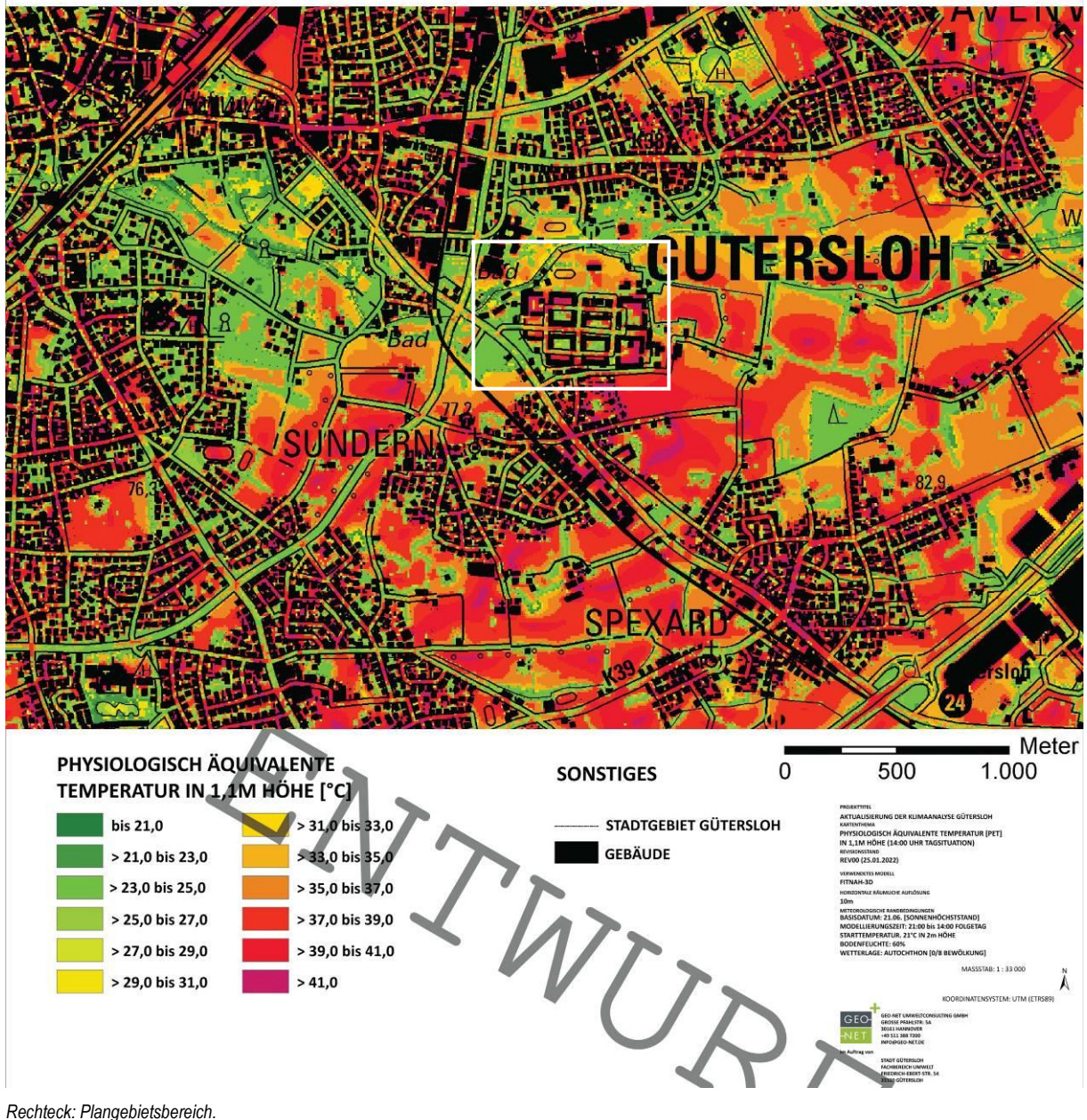


Abbildung 2-3: Wärmebelastung um 14 Uhr MEZ in 2 m ü. Gr. am Tage während austauscharmer, heißer Witterung in Gütersloh. Quelle: Klimaanalyse Gütersloh (Stadt Gütersloh / GEO-NET 2022)

Prinzipiell herrschen über allen unverschatteten Flächen oder an Orten mit Hitzestau *heiße* Bedingungen vor (rote Bereiche). Bei den unverschatteten Flächen dominiert die direkte Sonneneinstrahlung die Wärmebelastung. Dieses betrifft trotz der relativ guten Durchlüftung vor allem die weitläufigen Freilandflächen, wo jegliche Verschattung fehlt. In der Bebauung hingegen tritt Hitzestau an Stellen auf, wo durch Sonneneinstrahlung aufgeheizte Verkehrsflächen oder Gebäudefassaden sowie hohe Lufttemperaturen und / oder reduzierte Durchlüftung zusammentreffen.

Das für heiße Tage relative Optimum der nur *leicht warmen* Bedingungen (grüne Bereiche) tritt hingegen ausschließlich in Schattenbereichen auf. Hier stehen Wälder und größere Gehölze hervor (z. B.



Stadtpark), aber auch mit Bäumen ausgestattete Straßenzüge in der Bebauung sowie die Schattenzonen von Gebäuden.

Sobald die Bebauung etwas aufgelockerter ist oder sich die Baumbestände lichten, entsteht ein kleinräumiges Mosaik aus Besonnungs- und Verschattungsbereichen, in denen insgesamt *warme* Verhältnisse herrschen (gelb-orange Bereiche, z. B. die Sportanlagen nördlich des Mansergh Quartiers).

Das Mansergh Quartier ist ebenfalls durch dieses Verteilungsmuster geprägt. Deutlich zu erkennen sind die drei nur *leicht warmen*, begrünten und mit Schatten spendenden Bäumen bestehenden Innenhöfe sowie das Gehölz an der westlichen Pforte, während der Schulhof und die Garagenhöfe aufgrund der Versiegelung und Besonnung *heiß* sind.

Ferner ist zu erkennen, dass die einzelnen lokalen Effekte auf den engsten Umkreis von höchstens einigen zehner Metern beschränkt bleiben und daher keine Fernwirkung in die weitere Umgebung aufweisen.

In der Nacht austauscharmer Sommertage stellt sich die thermische Situation räumlich differenzierter dar (Abbildung 2-4).

## K01: Nächtliches Lufttemperaturfeld Stadt Gütersloh

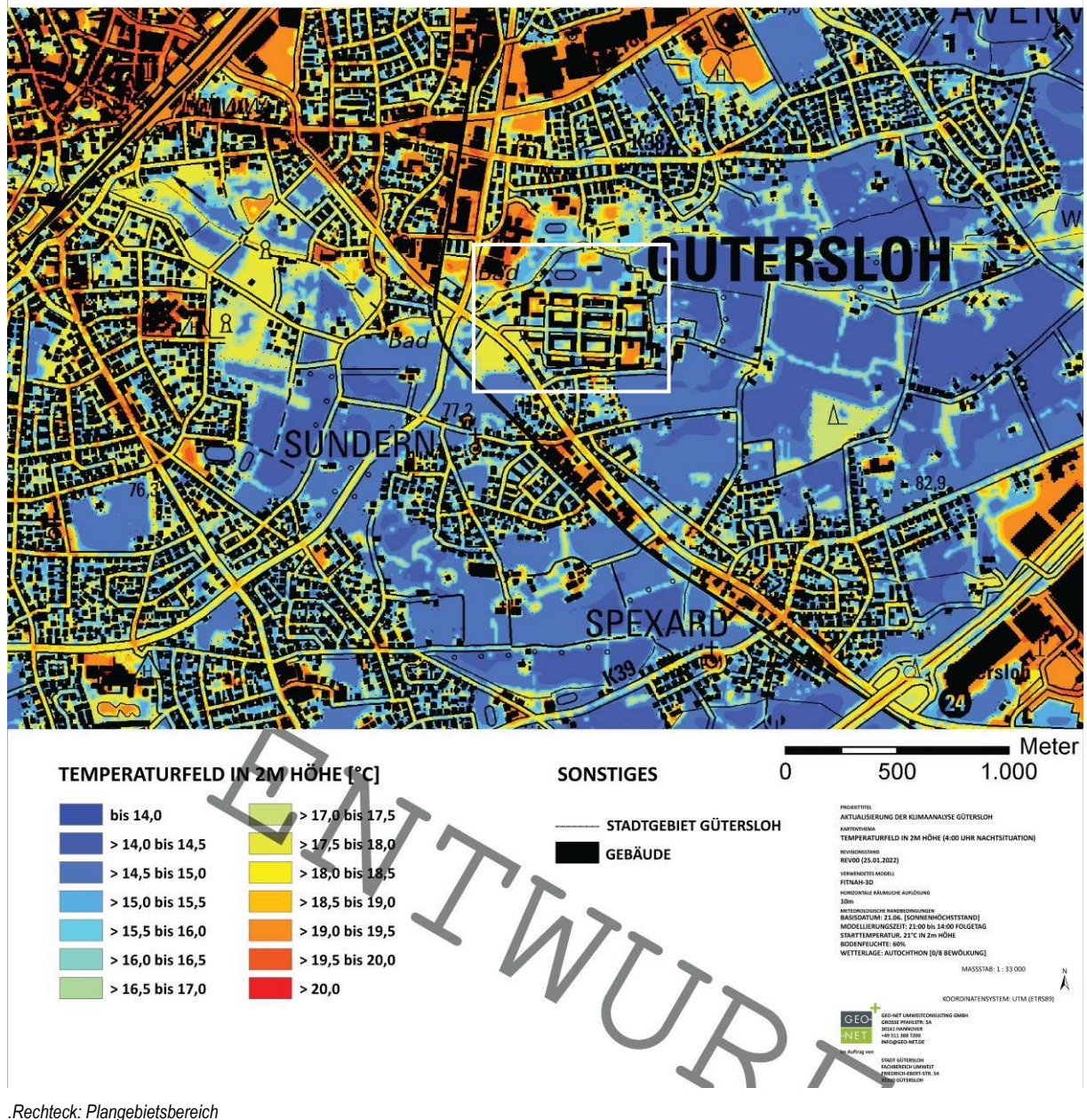


Abbildung 2-4: Nächtliche Lufttemperatur um 4 Uhr MEZ in 2 m ü. Gr. während austauschbarer, heißer Witterung in Gütersloh. Quelle: Klimaanalyse Gütersloh 2022 (Stadt Gütersloh)

Hier zeigt sich, dass nachts unter Abwesenheit der Sonneneinstrahlung die Höhe der Lufttemperatur primär von der Flächennutzung abhängt. Die unversiegelten Freiland- und größeren unbewaldeten Parkflächen stellen mit  $< 15\text{ °C}$  die kühleren Bereiche dar (blaue Färbung). Aufgrund der starken Auskühlung handelt es sich hierbei um Kaltluftproduktionsflächen. Die aufgelockerten Wohnsiedlungen in Stadtrandlage sind aufgrund der starken Durchgrünung (Hausgärten) mit  $15\text{ °C}$  bis  $17\text{ °C}$  (türkis) nur unwesentlich wärmer, wobei Hotspots lediglich bei vereinzelt dichten Gebäudelagen oder größeren Versiegelungen zu erkennen sind. Eine weitere Erwärmung auf bis zu  $18,5\text{ °C}$  (gelb) ist bei den größeren Straßen und den Wäldern bzw. größeren Gehölzen zu erkennen (z. B. im Stadtpark oder an der Westpforte des Mansergh Quartiers): Während die Straßen die am Tage durch Sonneneinstrahlung zugeführte und gespeicherte Wärme nachts wesentlich langsamer als die natürlichen Oberflächen in die



Atmosphäre abstrahlen, reduzieren in den Gehölzen und Wäldern die Baumkronen die vom natürlichen Boden ausgehende Wärmeabstrahlung in die darüber liegende freie Atmosphäre. Diese relative nächtliche Wärme ist für Wälder und Gehölze typisch und wird als „Stammraumklima“ bezeichnet.

Die höchsten Lufttemperaturen von über 19 °C (orange bis rot) finden sich ausschließlich in größeren Bereichen mit einem hohen Versiegelungsgrad und /oder hoher Lagedichte von Gebäuden. Dieses betrifft insbesondere die Innenstadt, die Industriegebiete, aber z. B. auch das Klinikum Gütersloh.

Die beschriebenen Temperaturmuster treffen auch auf das Mansergh Quartier zu, wo die Straßenzüge und Garagenhöfe etwas wärmer sind als die begrünten Innenhöfe und die Sportanlage. Auch hier ist zu erkennen, dass die einzelnen lokalen Effekte auf den engsten Umkreis von höchstens einigen zehner Metern beschränkt bleiben und daher keine Fernwirkung in die weitere Umgebung aufweisen.

### Durchlüftung und Kaltluftprozesse

Die Kaltluftbildung auf den Freiflächen bewirkt in Abhängigkeit des Betrachtungsmaßstabes unterschiedlich starke Kaltlufttransporte. Auf der lokalen Ebene sind aufgrund des nur schwach ausgeprägten Reliefs die Kaltlufttransporte gering, wie später gezeigt wird. Da sich aber die Kaltluftentstehungsgebiete bis zu 12 km nach Osten bis zur Westabdachung des Teutoburger Waldes bei Bielefeld / Sennestadt ausdehnen, sind von dort ebenfalls Kaltluftzuflüsse zu erwarten, die dann der regionalen Skala bzw. Mesoskala zuzurechnen sind. Diese Kaltluftströme sind so intensiv, dass sie die lokalen Kaltluftbewegungen überlagern. Diese Situation ist in Abbildung 2-5 dargestellt.

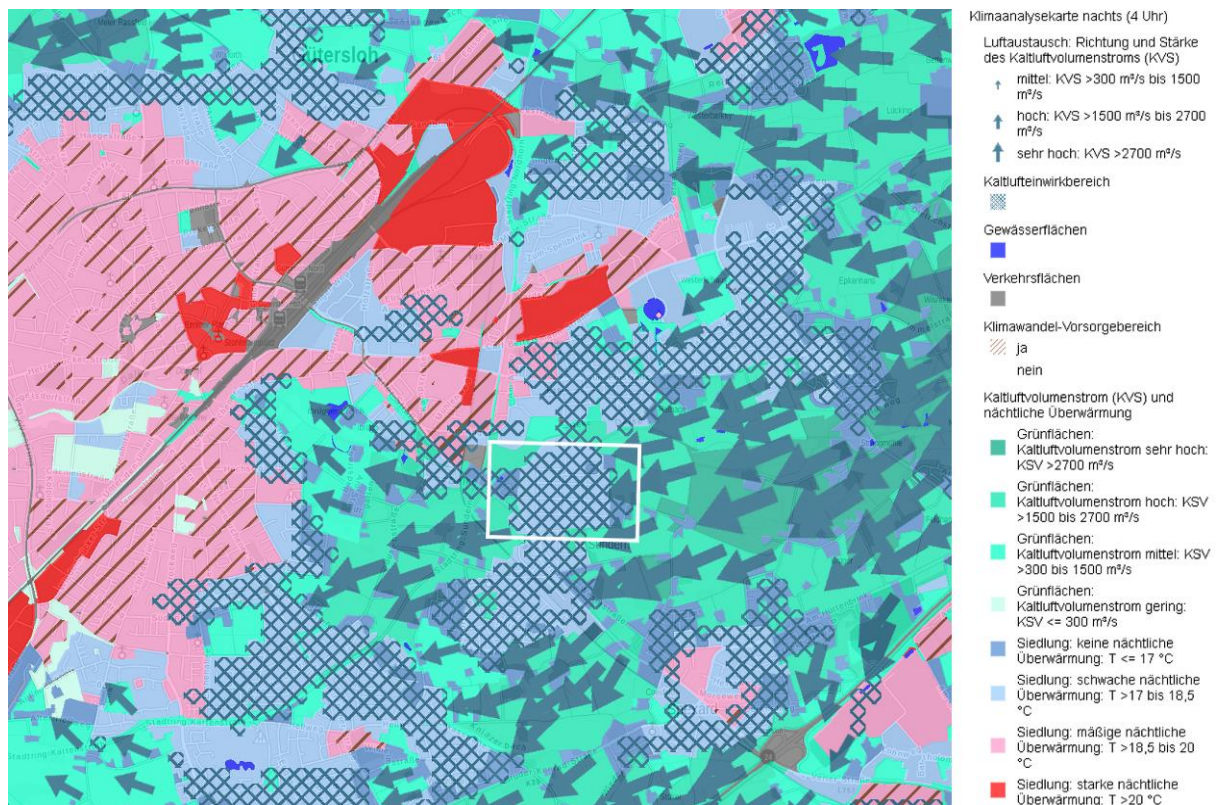


Abbildung 2-5: Mesoskalige Klimaeffekte 2 m ü. Gr. in austauscharmen Sommernächten in Gütersloh. Rechteck: Plangebietsbereich. Quelle: FIS Klimaanpassung NRW – Klimaanalyse NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von © GeoBasis-DE/BKG 2020, © Geobasis NRW 2020, Planet Observer © LANUV 2020, Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0.

Das lokale Klima im Umfeld des Quartiers ist deutlich durch mesoskalige regionale, nordöstliche Kaltluftflüsse von der Westabdachung des Teutoburger Waldes geprägt, die über die Freiflächen und das Quartier hinweg bis zum westlichen Gütersloher Siedlungsrand vordringen.

Durch die stetige Kaltluftzufuhr weisen die Siedlungsbereiche des Stadtrandes sowie das Quartier keine nächtliche Wärmebelastung auf. Diese tritt erst mit Annäherung an den Siedlungskern auf und ist in der Innenstadt sowie einigen Gewerbegebieten am größten.

Ein ungünstiger klimatischer Einfluss des Mansergh Quartiers auf die Umgebung ist somit in Sommernächten mit regionalen Kaltluftströmungen nicht zu erwarten.

Im Fall des Ausbleibens regionaler Kaltluftzuflüsse treten die lokalen Kaltluftprozesse deutlich in Erscheinung (s. Abbildung 2-6 und Abbildung 2-7).



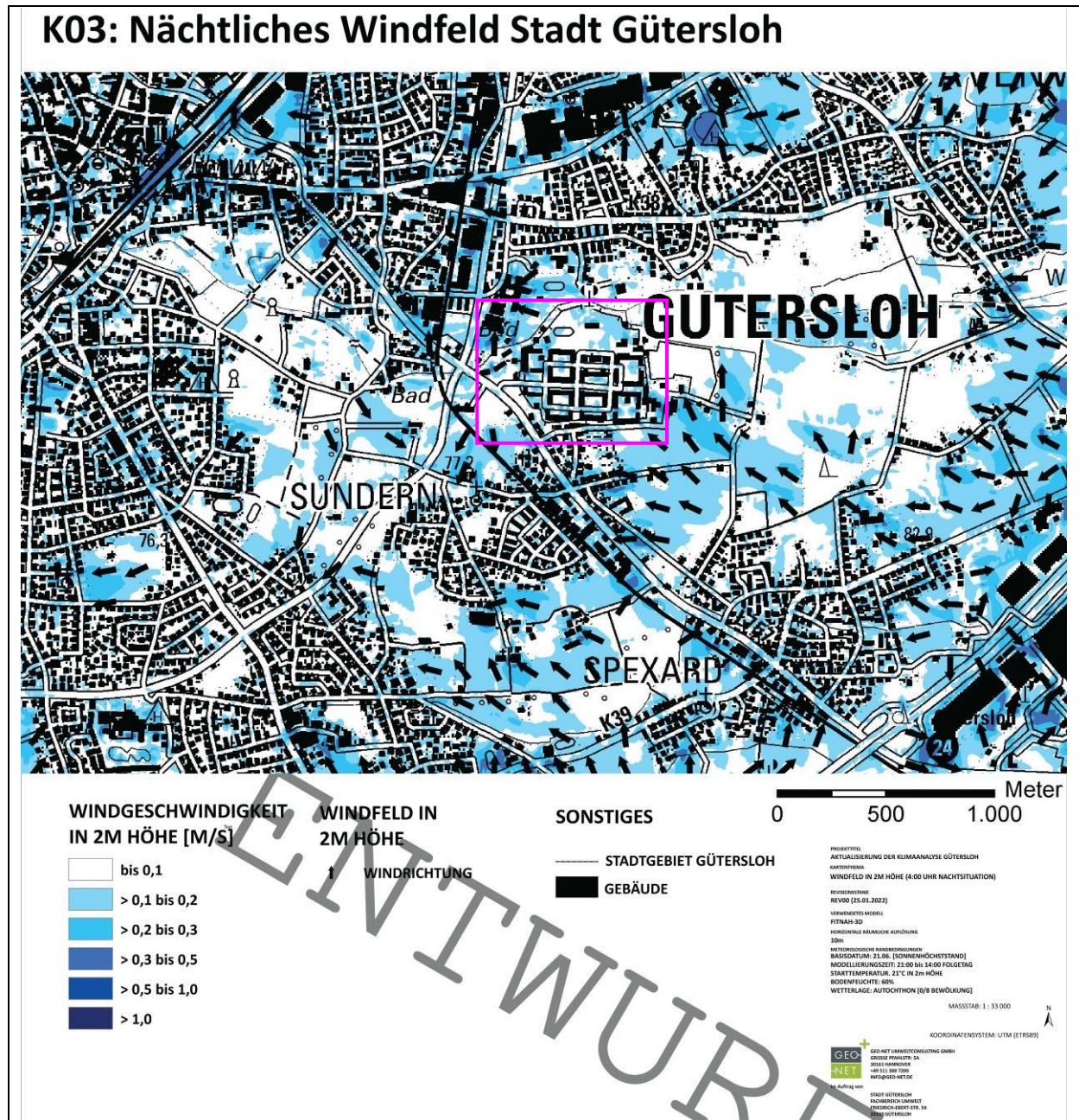


Abbildung 2-6: Nächtliches Windfeld um 4 Uhr MEZ in 2 m ü. Gr. während austauscharmer, heißer Witterung in Gütersloh. Rechteck: Plangebietsbereich. Quelle: Klimaanalyse Gütersloh (Stadt Gütersloh / GEO-NET 2022)



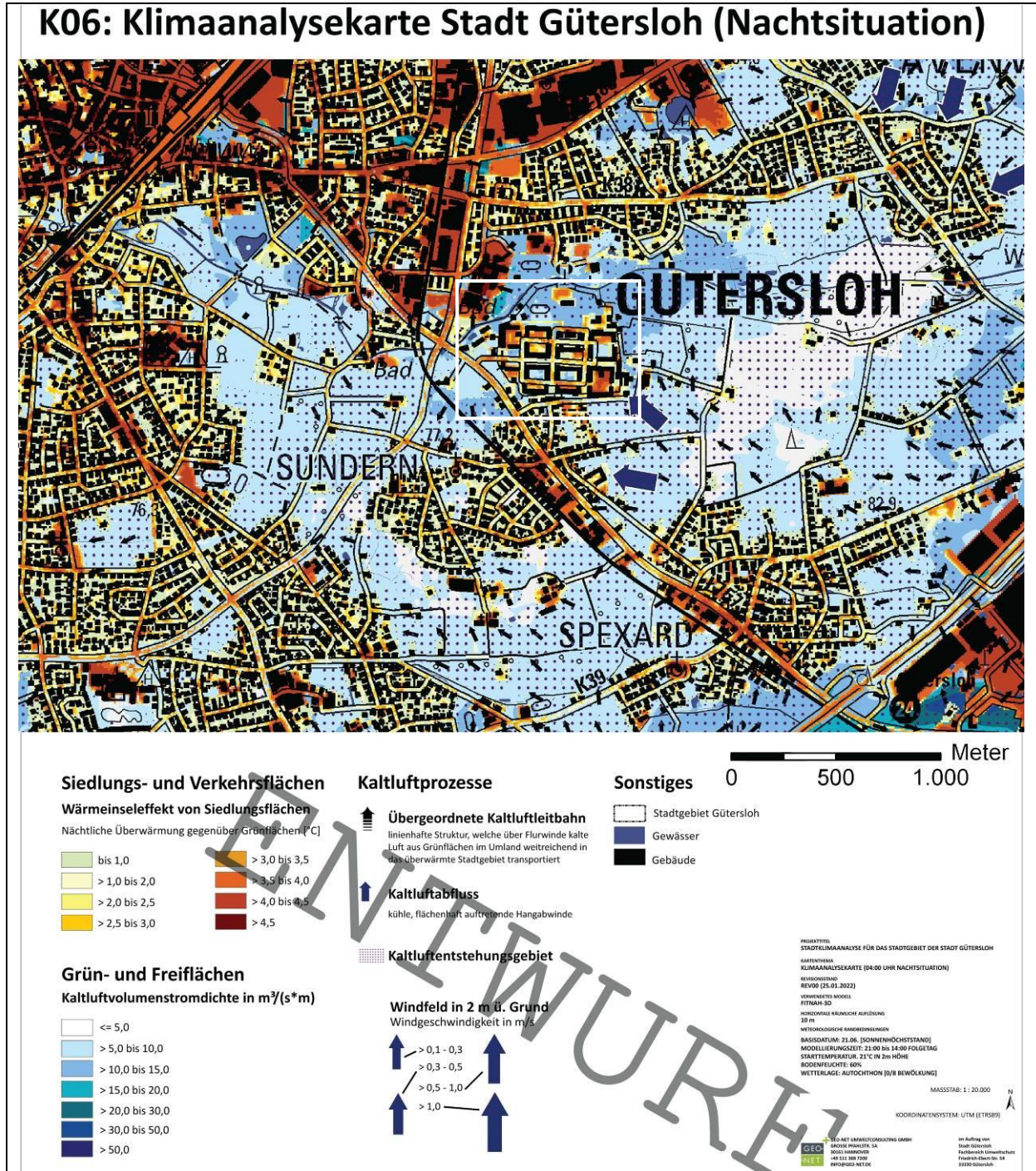


Abbildung 2-7: Klimaanalysekarte zur Nachtsituation um 4 Uhr MEZ in 2 m ü. Gr. während austauscharmer, heißer Witterung in Gütersloh. Rechteck: Plangebietsbereich. Quelle: Klimaanalyse Gütersloh (Stadt Gütersloh / GEO-NET 2022)

Die lokalen Kaltluftflüsse sind jedoch deutlich schwächer ausgeprägt als die regionalen Kaltluftflüsse. Aufgrund des nur sehr schwach ausgeprägten Reliefs findet in vielen Bereichen (weiße Farbe) kein Kaltlufttransport statt. Ansonsten sind die Fließgeschwindigkeiten mit  $< 0,5$  m extrem niedrig, wobei der hauptsächliche Kaltluftzufluss von den südöstlich des Quartiers gelegenen, zur Dalke geneigten, Freiflächen erfolgt. Aus den Fließgeschwindigkeiten und den Kaltluftvolumenströmen lassen sich die vertikalen Kaltluftmächtigkeiten abschätzen, die im Durchschnitt 30 m bis 50 m betragen. Die Kaltluftflüsse sind damit hoch genug, um über die Gehölze und normalen Wohnbebauungen sowie das Mansergh Quartier hinweg strömen zu können, nicht jedoch über größere Hallengebäude der

Gewerbegebiete. Ein bodennahes Eindringen der Kaltluft in die Bebauung ist aufgrund der schwachen Fließgeschwindigkeit hingegen kaum feststellbar.

Unter diesen Bedingungen stellt auch das Mansergh Quartier einen Strömungsriegel für bodennahe Kaltluftflüsse dar, der jedoch von dieser überströmt werden kann.

### *Lufthygienische Situation*

Die Stadt Gütersloh hat zurzeit keine Umweltzone, unterliegt keinem Luftreinhalteplan und ist beim LANUV in lufthygienischer Sicht bisher nicht auffällig geworden.

Anhaltspunkte für mögliche Spurenstoffemissionen gibt das Emissionskataster des LANUV (LANUV 2020), das auf einem 1-km<sup>2</sup>-Raster für verschiedene Spurenstoffe grob klassifizierte Emissionsmengen für verschiedene Emittentengruppen angibt. Für die aktuell wichtigsten Spurenstoffe Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Feinstäube (PM<sub>x</sub>) werden für den Plangebietsbereich keine industriellen Emittenten ausgewiesen. Für Kleinf Feuerungsanlagen (Hausbrand) und Kfz-Verkehr liegen die Werte in einem für Wohngebiete typischen Bereich und sind daher unauffällig. Für den Planfall wird daher keine kritische Zusatzbelastung erwartet.

## 2.2 Klimaprojektion für den Raum Gütersloh

### 2.2.1 Klima von heute und bereits beobachtete Änderungen

Der Landkreis Gütersloh liegt im Bereich des gemäßigten Klimas mit einer durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur von 9,5°C für den Referenzzeitraum 1971 – 2000. Die geringste monatliche Durchschnittstemperatur liegt bei 1,9°C im Januar, die höchste im Juli bei 17,7°C. Die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme betrug für den Referenzzeitraum 1971 – 2000 ca. 800 mm, wobei die geringsten Niederschläge im Februar und die höchsten im Juni auftraten. Aus langjährigen Beobachtungsdaten von Klimastationen im Raum Gütersloh ergeben sich für den Referenzzeitraum folgende Werte für typische Ereignistage:

Sommertage (mindestens 25°C):	29,1 Tage/Jahr
Heiße Tage (Lufttemperatur mindestens 30°C):	5,3 Tage/Jahr
Tropische Nächte (Lufttemperatur minimal 20°C):	0,1 Tage/Jahr
Maximale Dauer von Hitzeperioden:	2,7 Tage
Niederschlag >= 20 mm/Tag:	3,6 Tage/Jahr.

Vergleicht man zwei 30-Jahreszeiträume (1951-1980 und 1986-2015) miteinander, stellt man bereits eine Zunahme der Lufttemperatur von durchschnittlich 0,9°C fest. Dabei ist anzumerken, dass bei dem viel diskutierten 1,5°-Ziel immer die Zunahme gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter gemeint ist. Davon fallen allein 0,9° auf diese beiden 30-Jahreszeiträume. Beim Niederschlag wird im Vergleich der beiden Zeitperioden ebenfalls eine mittlere Zunahme von ca. 46 mm/Jahr festgestellt, die aber statistisch nicht signifikant ist.

### 2.2.2 Klimaprojektionen

Mit geeigneten Klimamodellen können Projektionen für das zukünftige Klima berechnet werden. Dabei werden unterschiedliche Szenarien zugrunde gelegt, denen unterschiedliche Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung, dem technologischen Fortschritt oder der Wirtschaftsleistung zugrunde

liegen, die wiederum zu unterschiedlichen Entwicklungspfaden von Emissionen und Treibhausgas-konzentrationen führen.

Dabei beschreibt das Szenario RCP 8,5 (die Einstufung geschieht entsprechend des zusätzlichen Strahlungsantriebs um das Jahr 2100 gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter) einen weiterhin kontinuierlichen Anstieg der Treibhausgasemissionen (business as usual). Das mittlere Szenario unterstellt, dass die Emissionen noch bis Mitte des Jahrhunderts leicht ansteigen und danach sinken. Das sehr ambitionierte Szenario 2,6 beinhaltet ambitionierte Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und sogar bis zum Ende des Jahrhunderts eine netto-Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre. Die Fachwelt ist sich mittlerweile einig, dass realistisch von dem nicht ambitionierten Ansatz (RCP 8.5) ausgegangen werden sollte. Mit diesem Ansatz ist gegenüber dem Pariser Abkommen (1,5°-Ziel) ein deutlich höherer mittlerer Temperaturanstieg zu erwarten.

Bei den Projektionsrechnungen handelt es sich um mittlere Werte für das gesamte Stadtgebiet von Gütersloh. Der lokale Wärmeineffekt in der Innenstadt führt zu einer „Verschärfung“ der thermischen Verhältnisse, die mit diesen Mittelwerten nicht erfasst sind. Dies betrifft insbesondere die Anzahl der Ereignistage bzw. die Auftretenshäufigkeit von Hitzeperioden. Das Plangebiet liegt südlich des Stadtgebietes und grenzt im Osten und Westen an Freiflächen. Die Verschärfungen durch den Wärmeineffekt des dicht bebauten Innenstadtbereiches ist somit hier nicht unbedingt zu erwarten.

Durch die Klimaänderung ist mit einer Verschärfung der Wärmebelastung zu rechnen. Bezüglich der Wärmebelastung sind dabei die Sommertage sowie insbesondere die heißen Tage, die Tropennächte und die Tage mit Hitzestress von Interesse. Für das RCP8.5-Szenario wird bei den Sommertagen die Auftrittshäufigkeit bis zur Mitte des Jahrhunderts um mindestens ein Drittel ( $\geq +33\%$ ) sowie zum Ende des Jahrhunderts um mehr als  $2/3$  ( $\geq +75\%$ ) ansteigen. Bei den Hitzetagen ist im Mittel in naher Zukunft ein Anstieg um  $60\%$ , in der fernen Zukunft (2069-2098) um  $150\%$  zu erwarten. Dabei handelt es sich um mittlere Werte. Die Projektionsrechnungen schwanken sehr. So geben die einzelnen Modelle für die heißen Tage für die ferne Zukunft Zunahmen gegenüber dem Referenzzeitraum zwischen 2,6 Tagen/Jahr und 43 Tagen/Jahr an.

Bei den Tropennächten (min. Temp.  $> 20^{\circ}\text{C}$ ) ist ein Anstieg auf durchschnittlich 1,5 Nächte in der nahen Zukunft (maximal 14,7 Tage /Jahr) und 13,5 Nächte in der fernen Zukunft (maximal 39,4 Tage/Jahr) zu erwarten.

Nachfolgend wird untersucht, wie sich der Planentwurf des Mansergh Quartiers auf das lokale Klima während austauscharmer, heißer Sommernächte auswirkt.

### 2.3 Untersuchung des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich thermischer Belange

Bei dem Mansergh Quartier handelt es sich derzeit um eine aufgelockerte, weitabständige und stark durchgrünte Zeilenbebauung in offener Blockanordnung ehemals militärischer Nutzung mit überwiegend zwei- bis dreigeschossigen Mannschaftsunterkünften, Verwaltungsgebäuden und Schulen im nördlichen Teil sowie Panzerhallen im südlichen Teil. Klimatologisch wird das Quartier als Vorstadtklimatop mit nur leichten Überwärmungstendenzen eingestuft (vgl. Abbildung 2-1).

Die Planung (Stand 04.06.2021, Abbildung 2-8) sieht den großteiligen Abriss der Bestandsgebäude vor und den Bau neuer und höherer Wohn- und Bürogebäude mit bis zu sieben Geschossen. Damit bleiben Lage und Größe des Baufeldes sowie die Lageanordnung der Gebäude in den Grundzügen erhalten. Die neuen Gebäude haben jedoch etwas größere Grundrisse und z. T. ergänzende Gebäudeflügel, sodass sich die Lagedichte der Gebäude leicht erhöht, während die Straßenbreiten etwas schrumpfen. Gleichzeitig sieht der Planentwurf einen höheren Anteil an Bäumen sowohl in den Straßen als auch in den



Gebäudehöfen sowie auf den Freiflächen vor. Daher nimmt die Riegelwirkung auf Winde gegenüber dem Ist-Zustand leicht zu.



Abbildung 2-8: Luftbildkarte zum Simulationsgebiet Mansergh Quartier. Kartengrundlage: LAND NRW (2020): Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2020, EuroGeographics. Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0

Insgesamt führt das Planvorhaben zu keiner wesentlichen Änderung der Flächennutzungsstruktur, sodass die klimatischen Auswirkungen eher gering sein werden, wie nachfolgend gezeigt wird.

Dazu wurde im April 2022<sup>2</sup> mit einem Stadtklimasimulationsmodell das Klima des Planentwurfs für einen heißen Sommertag (Lufttemperatur Tags  $\geq 30\text{ °C}$ ) einschließlich Tropennacht (Lufttemperatur nachts  $\geq 20\text{ °C}$ ) bezüglich Durchlüftung, thermischen Verhältnissen und Wärmebelastung untersucht. Als Anströmung wurde entsprechend der lokalen Kaltluftflüsse ein südöstlicher Wind mit einer Geschwindigkeit von 1,3 m/s gewählt.

Das Untersuchungsgebiet ist in Abbildung 2-8 dargestellt und schließt den räumlichen Wirkungsbereich im Umfeld des Quartiers mit ein. Das Simulationsgebiet ist 1.309 m x 910 m bzw. 8,4 ha groß. Die räumliche Auflösung (kleinste Darstellungsgröße) des Modells beträgt 3,5 m.

Die genaue Arbeitsweise des Modells, die Geländemodelle für dieses Gebiet und die metrologischen Vorgaben sind in Anhang A ausführlich beschrieben.

<sup>2</sup> Gemäß aktuellem Planungstand vom 13.06.2022 entfällt das Gebäude des Innovationszentrums an der Zufahrt Verler Str., dessen Stelle von der klimatisch günstigen Grünfläche eingenommen wird. Stattdessen wird das Gebäude des Bildungscampus im Grundriss vergrößert, wobei die hierdurch bedingten Klimaänderungen so gering sein werden, dass eine erneute Klimauntersuchung nicht erforderlich ist.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt analog zur Klimaanalyse Gütersloh 2022 für eine Betrachtungshöhe von 2 Metern über Grund, soweit nicht anders angegeben. Dabei sind Gebäude als graue Grundrissflächen dargestellt.

Alle Zeitangaben erfolgen für die mitteleuropäische (Winter- bzw. Normal-) Zeit (MEZ).

### 2.3.1 Windfeld

Das Windfeld ist in Abbildung 2-9 dargestellt. Die Anströmung erfolgt von Südosten, d. h. vom rechten unteren Kartenrand her.

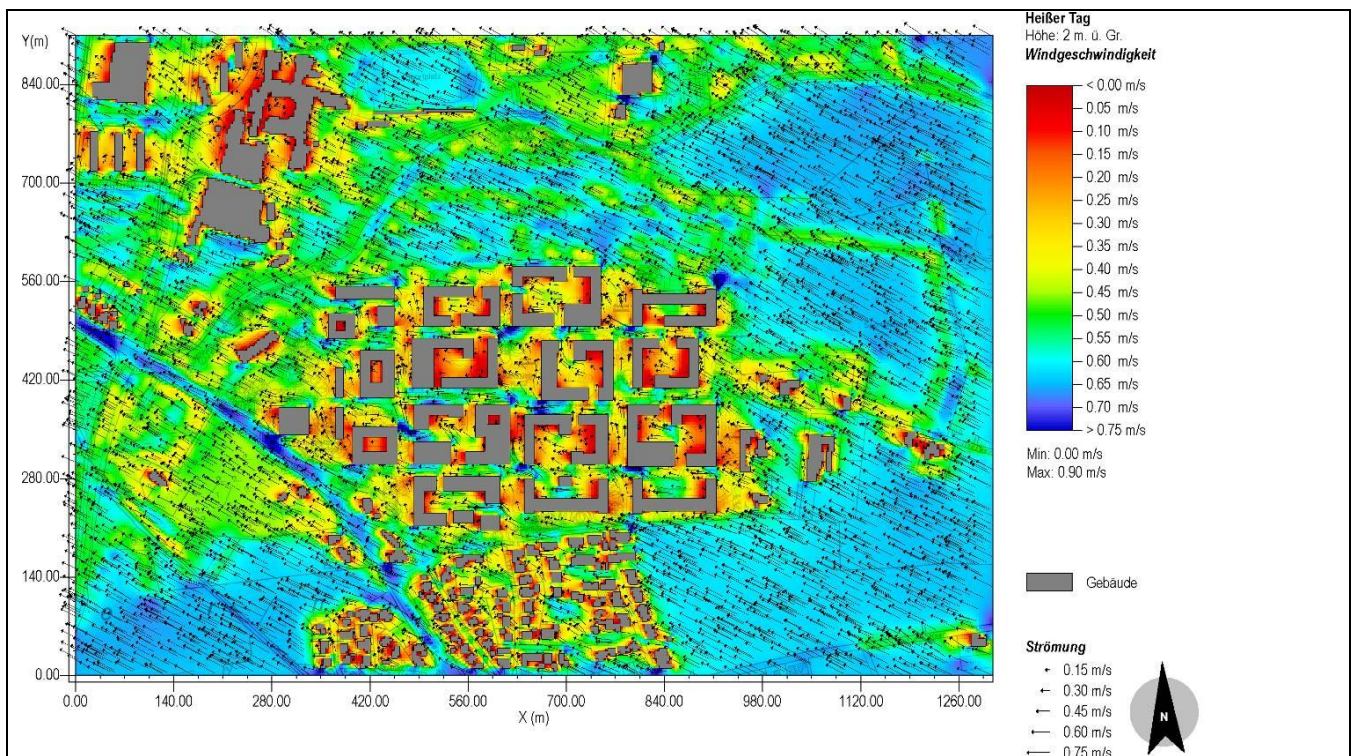


Abbildung 2-9: Windfeld in 2 m ü. Gr. während eines heißen Tages für den Ist-Zustand. Kartengrundlage: LAND NRW (2020): Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2020, EuroGeographics. Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0

Das Strömungsmuster wird durch die Topografie des Untersuchungsraumes geprägt, wobei insbesondere Gebäude und Baumgruppen Strömungshindernisse darstellen.

Relativ gute Austauschverhältnisse mit Windgeschwindigkeiten  $> 0,6$  m/s (türkis bis blaue Färbung) herrschen vor allem auf weitläufigen offenen Flächen vor, insbesondere auf den Landwirtschaftsflächen und Sportplätzen. An einigen verengten, grob zur Anströmrichtung ausgerichteten Strömungsquerschnitten mit hohen seitlichen Hindernissen kommt es zur weiteren Beschleunigung des Windes („Düseneffekt“) auf bis zu  $0,9$  m/s, z. B. Verler Straße, aber auch an vereinzelten Stellen im Mansergh Quartier. Diese Stellen haben einen ungünstigen Windkomfort und könnten daher für einen längeren Aufenthalt im Freien, beispielsweise als ÖPNV-Haltestellen oder Gastronomieterrassen, weniger geeignet sein (siehe Kapitel 2.4).

Mäßige Austauschverhältnisse mit Geschwindigkeiten zwischen  $0,45$  m/s und  $0,6$  m/s (grüne Färbung) herrschen im Bereich von Wäldern, Gehölzen, Baumgruppen und Baumreihen, die poröse Strömungshindernisse darstellen.



Im Umfeld von Gebäuden ist die Durchlüftung mit  $< 0,4$  m/s erwartungsgemäß am geringsten (gelbe bis rote Färbung). Die ungünstigen Durchlüftungsverhältnisse (rot) finden sich bei dicht angeordneten Gebäuden, in engen Hinterhöfen und schmalen Straßenschluchten sowie in Straßen, die quer zur Anströmrichtung liegen und damit einen undurchlässigen Strömungsriegel bilden. Dort kommt die Durchlüftung faktisch zum Erliegen (Strömungsblockaden). Dieses betrifft erwartungsgemäß auch viele Stellen im Mansergh Quartier.

### 2.3.2 Tagsituation

Während des Nachmittages von sehr warmen bis heißen Sommertagen werden die höchsten Tagestemperaturen erreicht, sodass zu dieser Zeit auch die Wärmebelastung am größten ist. Aus bioklimatischer Sicht ist dieser Zeitpunkt daher als Worst-Case zu betrachten.

#### Temperaturen

Die Oberflächentemperaturen für 15 Uhr eines heißen Tages sind in Abbildung 2-10 dargestellt.

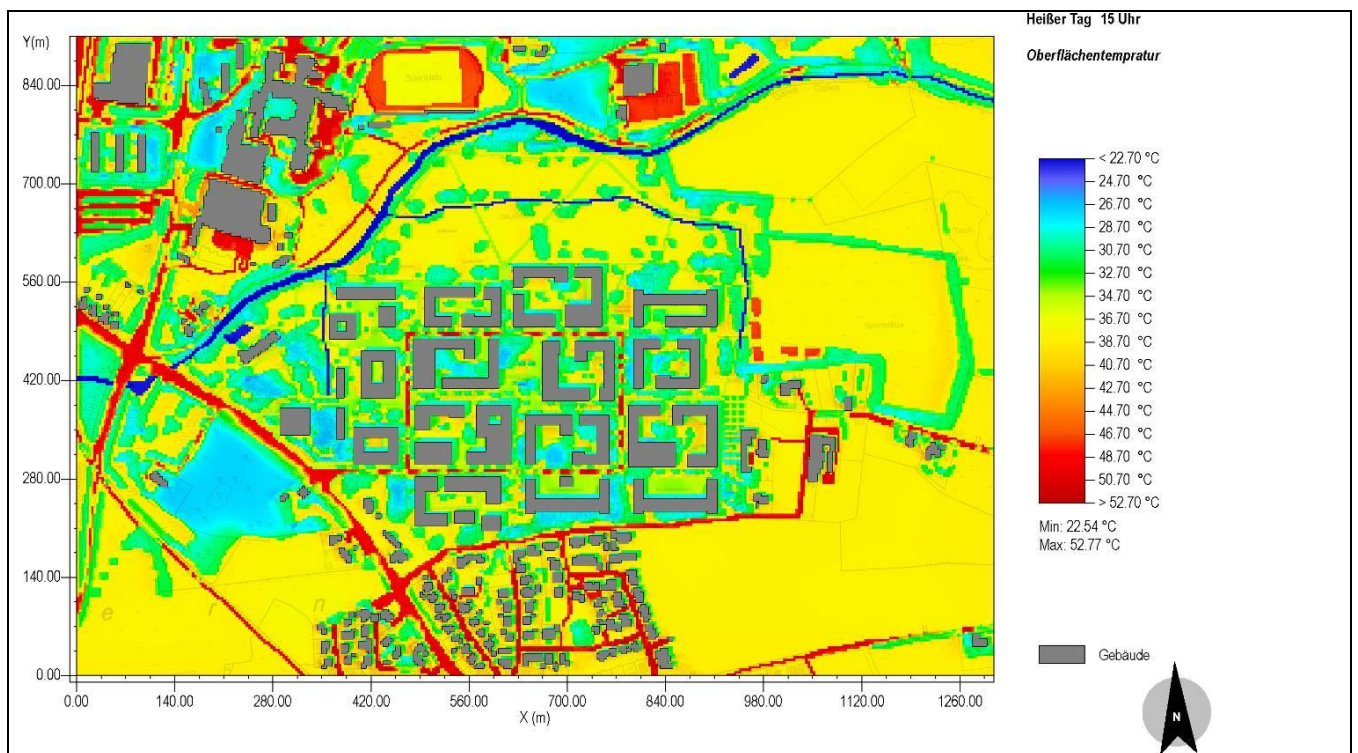


Abbildung 2-10: Oberflächentemperatur in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr MEZ eines heißen Tages für den klimatischen Zustand. Kartengrundlage: LAND NRW (2020); Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2020, EuroGeographics. Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0

Hierbei zeigen die sonnenexponierten Flächen die höheren Werte. Die unversiegelten Flächen einschließlich Sportplätzen sind ca. 37 °C heiß (gelb) und werden nur von den versiegelten Flächen, insbesondere den schwarz asphaltierten Straßen, mit  $> 44$  °C bis zu 52 °C übertroffen (rot). Im Mansergh Quartier bestehen die Versiegelungen neben der schwarz asphaltierten Erschließungsstraße hauptsächlich aus hellen Steinplatten, die sich mit Oberflächentemperaturen zwischen 29 °C bis 34 °C (grün) deutlich weniger aufheizen. Gleiches gilt für die Schattenbereiche von einzelnen Bäumen und Baumgruppen sowie von größeren Gebäuden. Noch tiefere Werte werden im Kern größerer Gehölze

und Wälder (ca. 27 °C, türkis) erreicht. Die kühlesten Bereiche stellen mit < 25 °C erwartungsgemäß die Gewässer dar (u. a. Dalkebach).

Die Wärme dieser Oberflächen wird an die Atmosphäre abgegeben, wo sie mit dem Wind räumlich verteilt wird. Entsprechend sind die Lufttemperaturen niedriger und in ihrer räumlichen Differenzierung unschärfer (Abbildung 2-11).

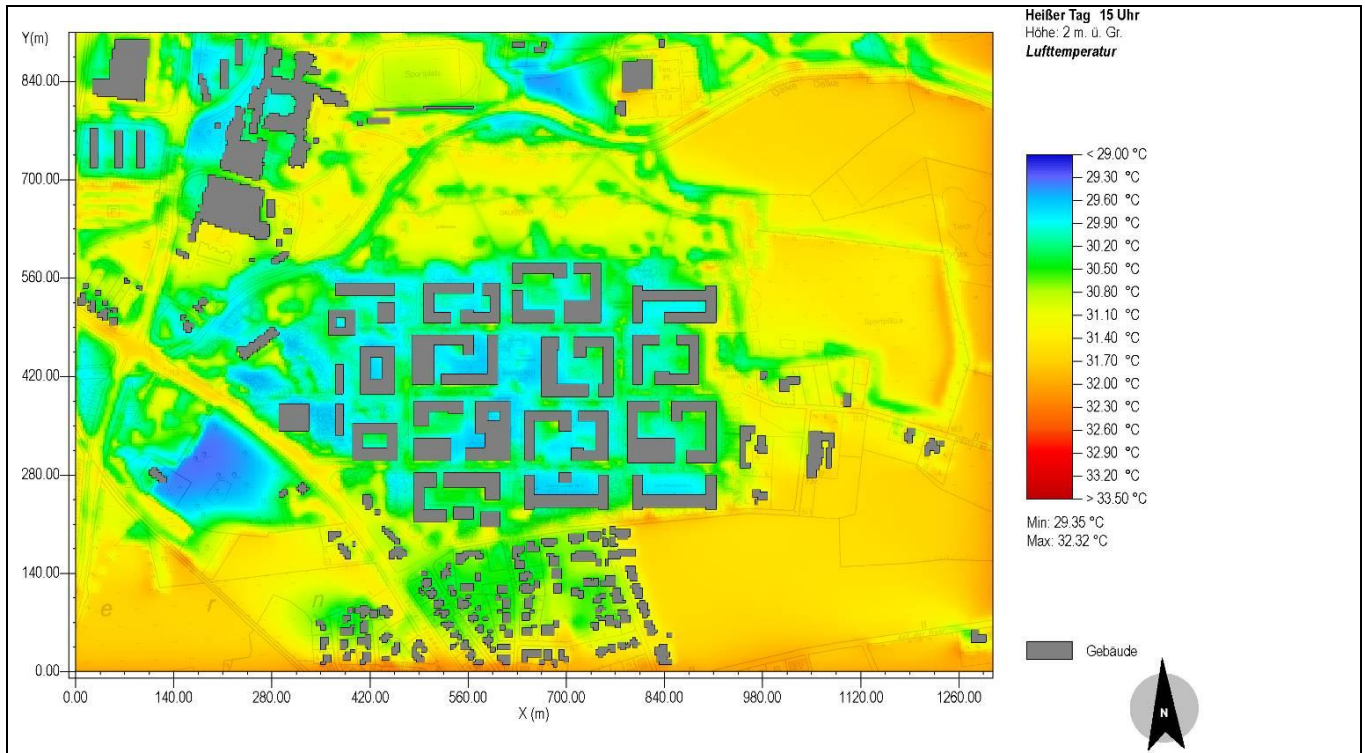


Abbildung 2-11: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr MEZ eines heißen Tages für den klimatischen Zustand. Kartengrundlage: LAND NRW (2020): Geobasis NRW, Geobasis-DE/BKG 2020, EuroGeographics. Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0

Zunächst ist festzustellen, dass durch den, gemäß den meteorologischen Vorgaben, stetigen Zustrom heißer Luft in das Simulationsgebiet die Spannweite der Werte von 29,4 °C bis 32,3 °C (= 5,9 K) erwartungsgemäß gering ist.

Über den sonnenexponierten Flächen herrschen Lufttemperaturen von ca. 31,5 °C, die im Bereich von Wind stauenden Hindernissen (Baumreihen) oder heißer Verkehrswege auf bis zu 32 °C ansteigen können. Im Bereich von Bäumen und kleineren Baumgruppen sowie entlang der verschatteten Dalke findet eine Abkühlung auf 30 °C bis 32 °C statt. In größeren Gehölzen und Wäldern sind die Lufttemperaturen mit < 29,8 °C am niedrigsten.

Das Mansergh Quartier sticht ebenfalls durch vergleichsweise niedrigere Lufttemperaturen von ca. 29,7 °C bis 30,2 °C hervor. Dieser in dichteren Bebauungen häufig zu beobachtende Effekt der nachmittäglichen „Kühleinsel“ resultiert aus einer großflächigen bodennahen Verschattung, die durch hohe Gebäude und Bäume hervorgerufen wird.

Eine Wirkung der Kühleinsel auf die Umgebung ist hingegen nicht zu erkennen.

### Thermische Behaglichkeit

Die Darstellungen der Lufttemperaturen sind insgesamt plausibel, aber wenig aussagekräftig. Für Aussagen zum Bioklima wird stattdessen das medizin-meteorologische Wärmebehaglichkeitsmaß der Physiologischen Äquivalenttemperatur verwendet (Abbildung 2-12).

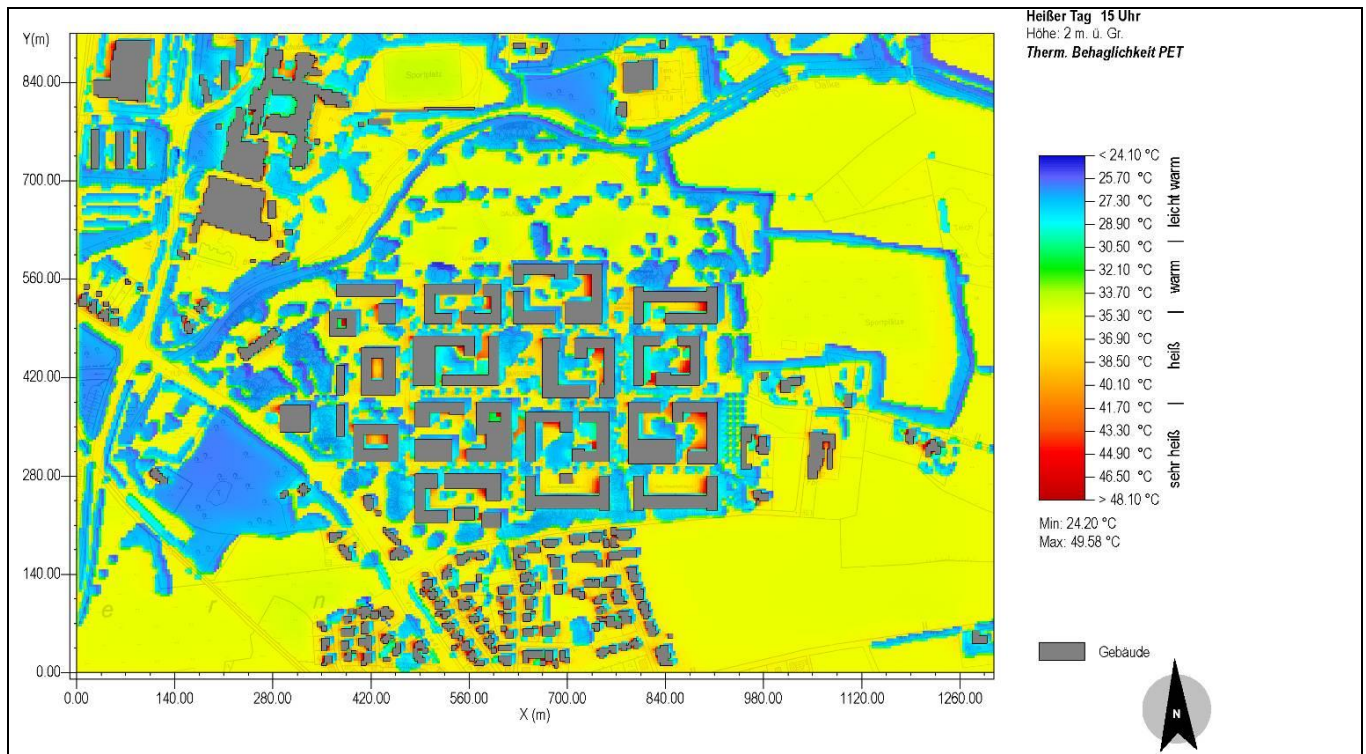


Abbildung 2-12: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 15 Uhr MEZ eines heißen Tages für den Ist-Zustand. Kartengrundlage: LAND NRW (2020): Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2020, EuroGeographics. Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0

Prinzipiell gilt, dass entsprechend der Vorgabe des klaren heißen Tages im Allgemeinen über allen unverschatteten Freiflächen *heiße* Bedingungen herrschen, die sich entweder im Bereich sonnenexponierter Gebäude und Verkehrsflächen verstärken oder im Bereich von Wald-, Baum- oder Gebäudeschatten abschwächen.

Im Detail werden auf den größeren, unverschatteten Freiflächen PET-Werte von ca. 35 °C bis 37 °C und damit *heiße* Bedingungen erreicht. Hierzu zählen die landwirtschaftlichen Freiflächen, Parkwiesen und Sportanlagen. Primäre Ursache der hohen Wärmebelastung ist hier die direkte Sonnenstrahlung, deren Wirkung nicht durch verdunstungsbedingte, kühlere Lufttemperaturen (s. o.) kompensiert werden kann (Stichwort: *Sonnenstich*).

Ein Anstieg der Wärmebelastung auf bis zu 41 °C PET (*sehr heiß*) erfolgt an den südlichen und westlichen Fassaden sonnenexponierter Gebäude, die nach einstrahlungsbedingter Aufheizung die Wärme in die Umgebung abstrahlen. Bei einzelnen, freistehenden Gebäuden reicht die Wärmeabstrahlung nur wenige Meter weit, wie z. B. an den Hofstellen östlich des Mansergh Quartiers gut zu erkennen ist. Mit zunehmender Lagedichte der Gebäude wirkt sich die Wärmestrahlung auch bis in die Hausgärten aus, wie an den Wohngebäuden in Sundern gut zu erkennen ist.

Die höchsten Wärmebelastungen > 43 °C PET werden an den südlichen und westlichen Fassaden der Baublockinnenhöfe im Mansergh Quartier erreicht, wo die Kombination aus hohen aufgeheizten



Fassaden, hohen Lufttemperaturen und schwacher Durchlüftung zu Hitzestau mit höchstem Wärmestress führt.

Gleichzeitig ist im Mansergh Quartier aber auch zu erkennen, dass in den Verschattungsbereichen der Bäume und Gebäude (Nord- bis Ostfassaden) die Wärmebelastungen deutlich niedriger sind und bei < 29 °C PET nur *leicht warme* und damit erträgliche Bedingungen erreichen. Gleiches gilt für alle Wälder, Gehölze und die Schattenzonen von Baumreihen (z. B. Dalkebach).

Eine Wirkung des Quartiers auf die Umgebung ist hingegen nicht zu erkennen.

### 2.3.3 Nachtsituation

Zum Ende der Nacht werden früh morgens kurz vor Sonnenaufgang die niedrigsten Tagestemperaturen erreicht, sodass diese Tageszeit das Optimum der für einen sehr warmen bis heißen Sommertag zu erwartenden thermischen Verhältnisse aufzeigt. Sofern auch zu dieser Zeit thermisch mindestens behagliche Bedingungen überwiegen, ist davon auszugehen, dass die nächtliche Erholungsfunktion im Verlauf der Nacht erreicht wird. Sollte hingegen zu dieser Uhrzeit noch eine Wärmebelastung festgestellt werden, deutet das auf überwärmte Wohnungen insbesondere in Obergeschossen hin, in denen eine nächtliche Erholung nicht gewährleistet sein könnte.

#### *Temperaturen*

Die Oberflächentemperaturen am Ende der Folgenacht eines heißen Tages um 5 Uhr sind in Abbildung 2-13 dargestellt.

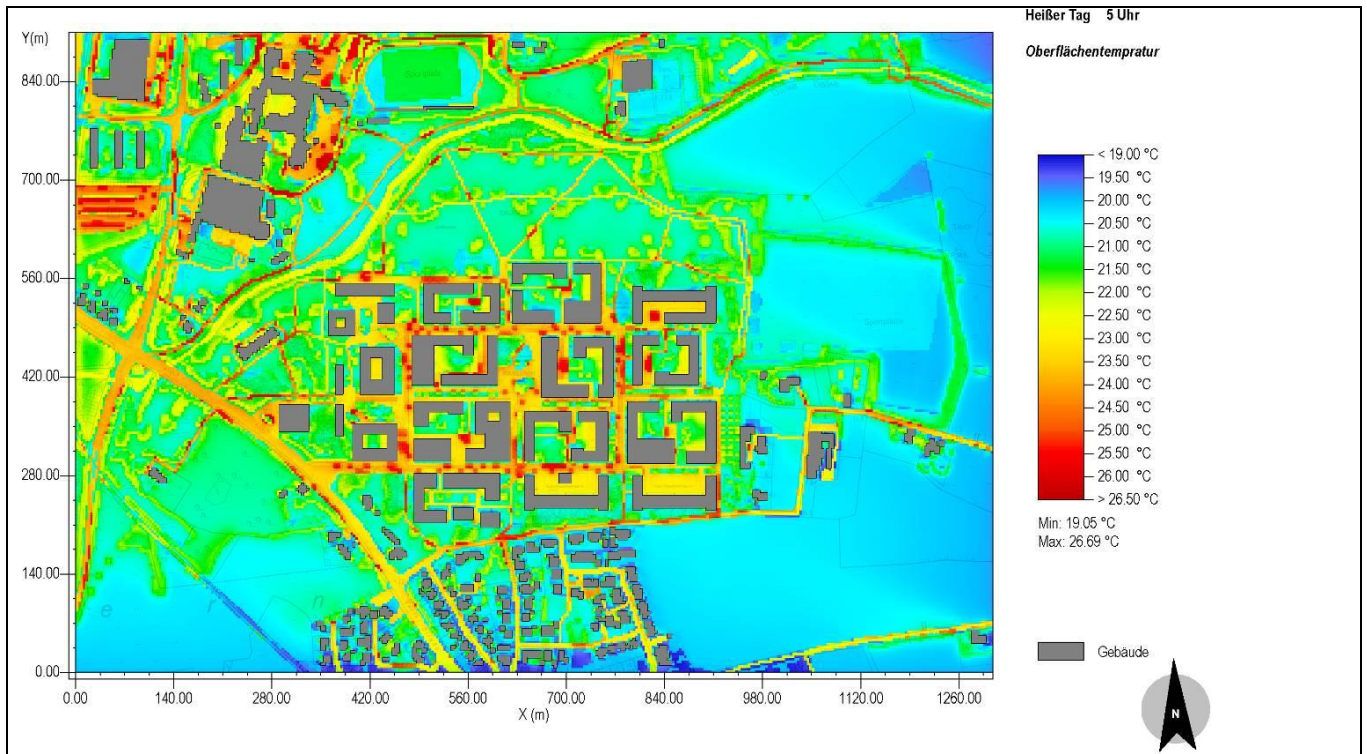


Abbildung 2-13: Oberflächentemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr MEZ eines heißen Tages für den Ist-Zustand. Kartengrundlage: LAND NRW (2020): Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2020, EuroGeographics. Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0

Alle unversiegelten Flächen weisen relativ niedrige Lufttemperaturen von < 22 °C auf. Dieses gilt vor allem für Parkwiesen und Hausgärten mit ihren relativ dichten Böden sowie die Stammräume der Gehölze und Wälder. Die etwas lockeren Böden der Landwirtschaftsflächen sind mit < 21 °C noch etwas kühler.

Relativ warm ist hingegen der Dalkebach mit ca. 23 °C. Noch höhere Oberflächentemperaturen herrschen auf den versiegelten Flächen, insbesondere den Straßen, welche die am Tage durch Sonneneinstrahlung zugeführte und gespeicherte Wärme nachts wesentlich langsamer als die natürlichen Oberflächen in die Atmosphäre abstrahlen. Besonders gut zu erkennen ist das an den Straßen Stadtring Sundern und Verler Straße, aber auch im Mansergh Quartier anhand der Erschließungsstraße und den versiegelten Garagenhöfen.

Die Lufttemperaturen am Ende der Folgenacht eines heißen Tages um 5 Uhr sind in Abbildung 2-14 dargestellt.

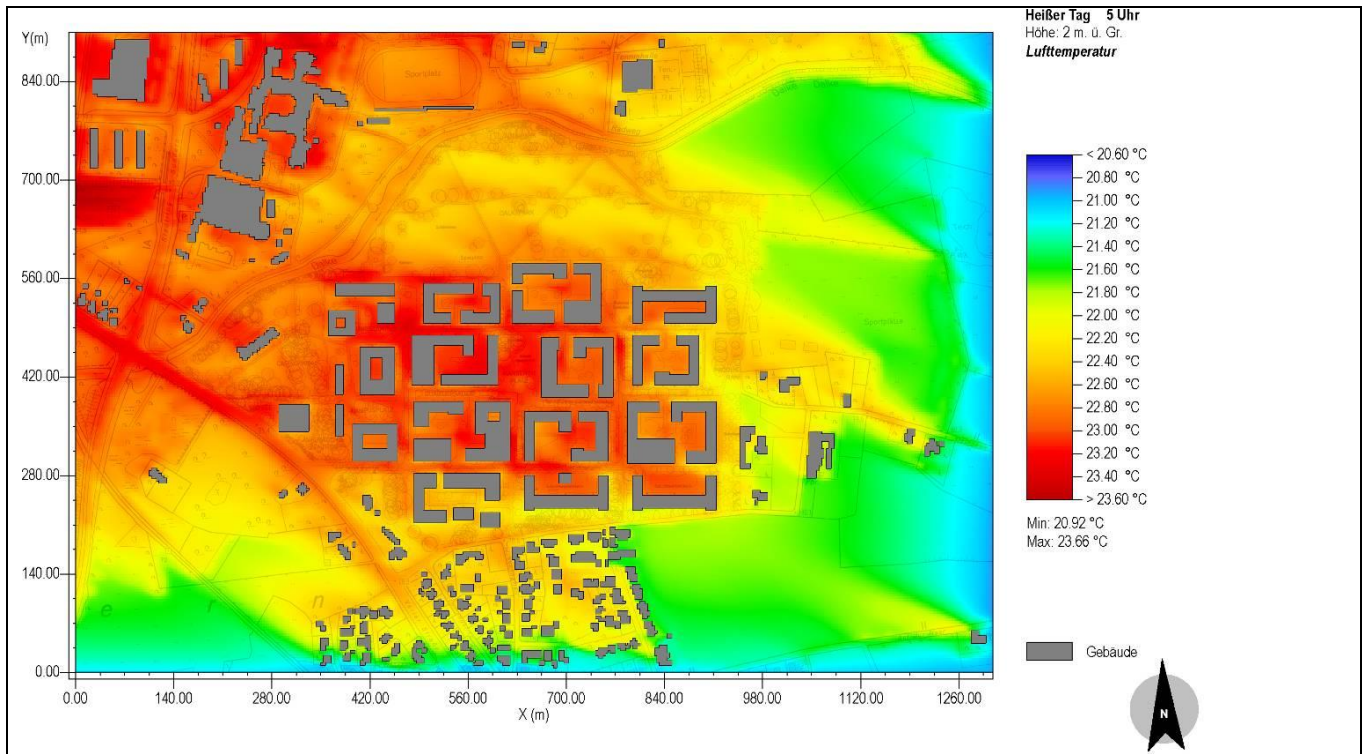


Abbildung 2-14: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr MEZ eines heißen Tages für den Ist-Zustand. Kartengrundlage: LAND NRW (2020): Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2020, EuroGeographics. Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0

Die von den Oberflächen sowie von den Gebäuden abgestrahlte Wärme wird mit dem Wind durchmischt und räumlich verteilt. Der Wind seinerseits ist gemäß den meteorologischen Vorgaben ein stetiger Zustrom warmer Luft, sodass die Spannweite der Lufttemperatur mit Werten von 20,9 °C bis 23,7 °C (= 2,7 K) erwartungsgemäß gering und die räumliche Differenzierung daher relativ diffus ist.

Im Freilandbereich ist es mit < 21,9 °C am kühlgsten. Im Stammraum der Gehölze und Wälder ist es mit ca. 22,0 °C bis 22,6 °C etwas wärmer, da die Baumkronen die vom natürlichen Boden ausgehende Wärmeabstrahlung in die darüber liegende freie Atmosphäre reduzieren.

Erwartungsgemäß stellen die meisten bebauten Bereiche mit Lufttemperaturen > 22,8°C eine deutliche Wärmeinsel dar. Diese betrifft insbesondere die nordwestlichen Bereiche sowie das Mansergh Quartier. Ebenfalls ist zu erkennen, dass sich die Wärmeinsel mit dem Wind nach Westen ausdehnt („Wärmefahne“), nicht jedoch nach Osten (Luv-Seite).



### Thermische Behaglichkeit

Die thermischen Behaglichkeiten am Ende der Folgenacht eines heißen Tages um 5 Uhr sind in Abbildung 2-15 dargestellt.

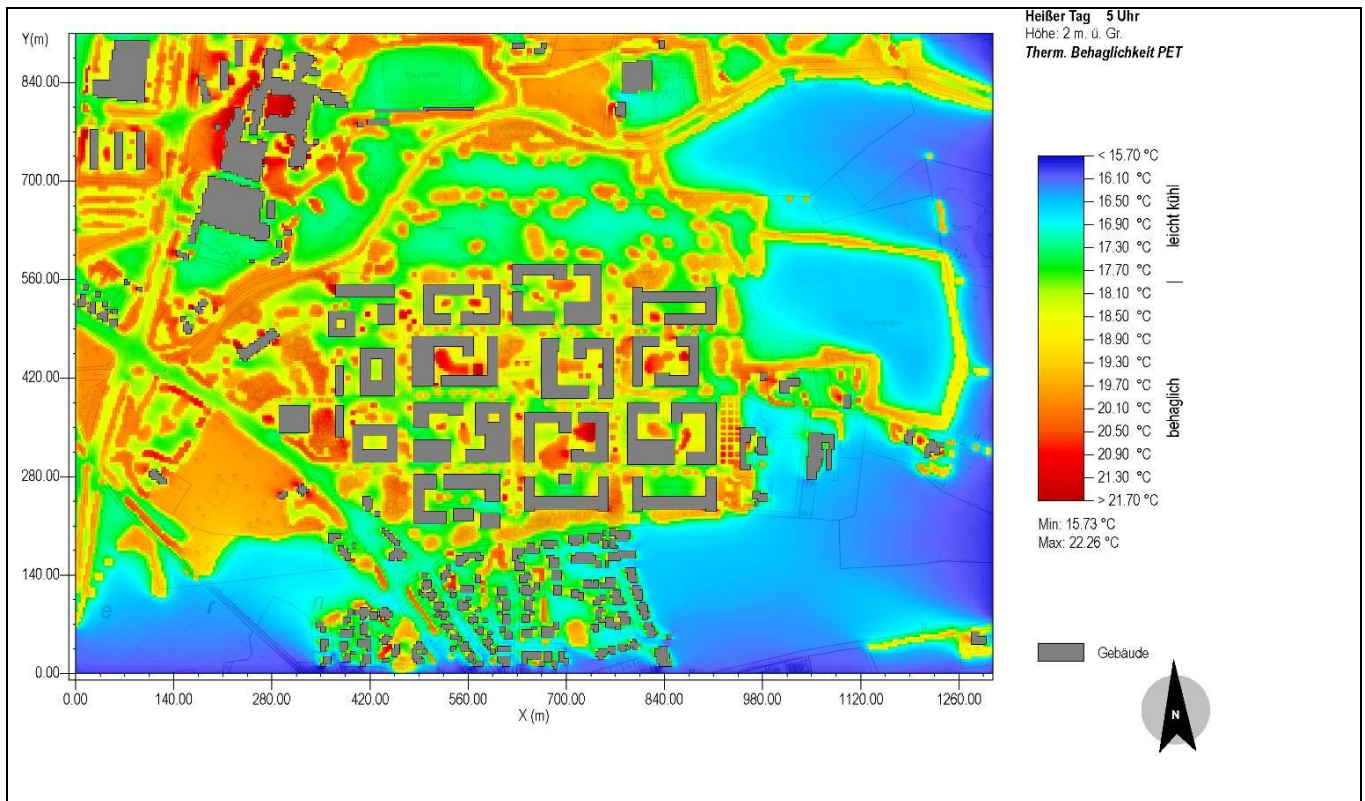


Abbildung 2-15: Thermische Behaglichkeit in 2 m ü. Gr. um 5 Uhr MEZ eines heißen Tages für den Ist-Zustand. Kartengrundlage: LAND NRW (2020): Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2020, EuroGeographics. Datenlizenz Deutschland - Zero - Version 2.0

Im gesamten Untersuchungsraum werden leicht kühle bis behagliche Bedingungen beobachtet. Wärmebelastungen treten daher nicht auf.

Die leicht kühlen Bedingungen ( $< 18\text{ }^\circ\text{C}$  PET) finden sich insbesondere auf den Freilandflächen (blaue Färbung) sowie etwas abgeschwächt auf Parkwiesen und in Hausgärten einschließlich vieler baumfreier Grünflächen im Mansergh Quartier (grün).

Die gelben Bereiche mit behaglichen Verhältnissen finden sich hauptsächlich auf kleineren baumfreien Grünflächen und Verkehrsflächen, die am Tage nur zeitweise in der Sonne liegen. Diese Bereiche finden sich am Rande von Gehölzen oder in der Nähe von Gebäuden, wie am Mansergh Quartier gut zu erkennen ist.

Die orangen bis roten Bereiche stellen ausschließlich Baumstandorte dar, deren Anordnung von Einzelbäumen bis hin zu Wäldern reicht. Die Baumkronen verhindern eine Wärmeabstrahlung vom Untergrund in die freie Atmosphäre, während gleichzeitig aufgrund der reduzierten Durchlüftung im Stammraum ein Abtransport der Wärme erschwert wird.

Im Mansergh Quartier ist die Trennung zwischen Baumstandorten und Grünflächen deutlich in Form eines gelbroten Mosaiks zu erkennen.

Eine Wirkung des Quartiers auf die Umgebung ist hingegen nicht zu erkennen.

### 2.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse thermische Simulationen

Der Planentwurf des Mansergh Quartiers zeigt im Umfeld der Gebäude eine nur geringe Durchlüftung. Die ungünstigen Durchlüftungsverhältnisse finden sich bei dicht angeordneten Gebäuden, in engen Hinterhöfen und schmalen Straßenschluchten sowie in Straßen, die quer zur Anströmrichtung liegen und damit einen Strömungsriegel bilden. Dort kommt die Durchlüftung faktisch zum Erliegen. Andererseits kommt es an einigen verengten, grob zur Anströmrichtung ausgerichteten Strömungsquerschnitten mit hoher seitlicher Bebauung zur Beschleunigung des Windes („Düseneffekt“). Diese Stellen haben einen ungünstigen Windkomfort und sind daher für einen längeren Aufenthalt im Freien, beispielsweise als ÖPNV-Haltestellen oder Gastronomieterrassen, weniger geeignet.

Die thermische Situation während des Nachmittags heißer Tage zeigt für das Quartier insgesamt eine durch die Verschattung der hohen Neubauten und Bäume sowie überwiegend hellen Wegplatten hervorgerufene Kühleinsel der Lufttemperatur. In diesen Verschattungszonen ist der thermische Komfort mit leicht warmen und damit erträglichen Bedingungen unkritisch. An den sonnenexponierten südlichen und westlichen Fassaden der Baublockinnenhöfe kommt es jedoch aufgrund der kombinierenden Wirkung aus hohen aufgeheizten Fassaden, hohen Lufttemperaturen und schwacher Durchlüftung zu Hitzestau und damit zu sehr heißen Bedingungen mit höchstem Wärmestress.

Nachts führt die Wärmeabstrahlung der versiegelten Flächen und Gebäude zur Ausbildung einer ca. 23 °C warmen Wärmeinsel, die mit dem Wind als Warmluftfahne auch nach Westen transportiert wird. Der thermische Komfort reicht von leicht kühlen Verhältnissen auf baumfreien Grünflächen bis zu behaglichen Verhältnissen unter Bäumen und Gehölzen. Wärmebelastungen treten daher nicht auf.

Eine klimatische Wirkung des Mansergh Quartiers auf die Umgebung konnte nicht festgestellt werden.

Zu den klimatischen Auswirkungen der nachträglich beschlossenen Planänderungen „Aufforstung Energiewiesen“<sup>3</sup> und „Abholzung Verler Straße“ gibt die Fa. GEO-NET, die mit der Erarbeitung eines gesamtstädtischen Klimagutachtens beauftragt ist, folgende Hinweise:

- Die Aufforstung der am Nordostrand des Plangebietes sog. Energiewiesen stehen dem Kaltlufttransport in die überwärmten Siedlungsbereiche nicht im Wege. Der südlichere Kaltlufttransport aus Südost auf das Mansergh Quartier würde durch eine Aufforstung der Energiewiesen nicht benachteiligt werden.
- Da die Fläche derzeit kaum überströmt wird und somit nicht effektiv zum Kaltlufttransport beiträgt, ist eine Aufforstung dieser Fläche nicht als einschränkendes Strömungshindernis, sondern als neu geschaffenes, schattenreiches Entlastungsgebiet zur Naherholung am Tage zu betrachten (bei ausreichender Wuchshöhe und Kronendurchmesser der Bäume).
- Eine Nutzung der Energiewiesen oder der Parkwiesen zur weiteren Siedlungsentwicklung im Quartier ist aus klimaökologischer Sicht nicht zu empfehlen. Zwar wird in diesen Gebieten bodennah kaum Kaltluft in die bewohnten Bereiche transportiert, aber die Stärke des Kaltluftvolumenstroms auf den Flächen zeigt an, dass hier dennoch effizient Kaltluft produziert und in höheren Schichten transportiert wird. Eine Überbauung der Flächen wäre ein starker Eingriff in den Kaltlufthaushalt vor Ort und würde gleichzeitig eine Erhöhung der nächtlichen Wärmebelastung im Betrachtungsraum mit sich bringen.

---

<sup>3</sup> östlich liegende Freifläche

- Die Abholzung der bestehenden Waldfläche nordöstlich der Verler Straße geht wahrscheinlich mit keiner Verschlechterung des Kaltlufthaushaltes vor Ort einher. Doch die Erholungsqualität des Waldes am Tage, gekennzeichnet durch schwache Wärmebelastung, würde großflächig entfallen. Aus bioklimatischer Sicht ist generell von der Abholzung gesunder Waldflächen aufgrund ihrer vielen positiven Eigenschaften (Rückzugsort am hitzebelasteten Tage, Frischluftproduzent, CO<sub>2</sub>-Senke, etc.) abzusehen, vor allem wenn alternative und weniger wertvolle Flächen für die Entwicklung zur Verfügung stehen.

#### *Stadtklimatisch kritische Punkte des Planentwurfs auf einen Blick:*

- Unverschattete Gebäudefassaden mit Ausrichtung nach Süden bis Westen sind einer hohen Wärmebelastung ausgesetzt.
- Einige offene Innenhöfe sind nur schwach durchlüftet.
- An Stellen mit Düseneffekten ist der Windkomfort eingeschränkt.

## 2.4 Untersuchung des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich der Durchlüftung

### 2.4.1 Vorgehensweise bei der Untersuchung der Durchlüftung

#### *Allgemeine Grundlagen*

Durch die geplante Bebauung im Zuge einer Umsetzung des Rahmenplans ist nicht auszuschließen, dass entsprechend der jeweils vorherrschenden Windverhältnisse in Lee der geplanten Bebauung die bodennahen Windgeschwindigkeiten lokal reduziert werden. Eine großflächige Reduzierung der bodennahen Windgeschwindigkeiten wäre gleichbedeutend mit einer Verschlechterung der Durchlüftungssituation innerhalb des untersuchten Gebietes. Des Weiteren werden sich jedoch innerhalb des Plangebietes selbst im Planfall lokal Zonen mit einer Geschwindigkeitsreduzierung bzw. –überhöhung gegenüber einer derzeit durch Gebäude beeinflussten Situation darstellen. Dies ist vor allem für die Beurteilung der Gebietsnutzung sowie einer unbedingt notwendigen Begrünung, bspw. durch Baumpflanzungen, von Bedeutung. Um dies zu quantifizieren, werden für ausgesuchte Anströmsituationen mit einem mikroskaligen Modell, das in der Lage ist die Strömung in komplexer Bebauung realitätsnah abzubilden, Berechnungen für das bodennahe Windfeld durchgeführt.

Im vorliegenden Fall werden für insgesamt 12 Anströmrichtungen in 30°-Schritten Windfeldberechnungen für den baulichen Ist- und Plan-Zustand durchgeführt. Es wird das Modell MISKAM eingesetzt, das in der Lage ist, die Strömung innerhalb komplexer Bebauung darzustellen. MISKAM umfasst alle physikalischen Prozesse, die in der Mikroskala (1 - 10<sup>3</sup> m) relevant sind. Es wird die Minderung der bodennahen Windgeschwindigkeit und damit der Durchlüftungswirkung gegenüber der ungestörten Anströmung sowohl innerhalb des Plangebietes als auch in den nächstgelegenen, genannten bebauten Gebieten ermittelt. Aus den Ergebnissen werden vor allem Aussagen zu einer möglichen Optimierung von Gebäudeanordnung und –stellung innerhalb des Plangebietes getroffen.

#### *Das eingesetzte Modell*

Die Bewertung einer möglichen Beeinflussung der Durchlüftung des Plangebietes bzw. der direkt angrenzenden Bebauung durch die geplante Nachverdichtung erfolgt über das bodennahe Windfeld. Das hierzu eingesetzte Modell MISKAM zählt zu der Klasse der mikroskaligen prognostischen Strömungs-



und Ausbreitungsmodelle. Diese Modelle sind in der Lage, die hochkomplexe dreidimensionale Strömungsstruktur innerhalb bebauter Gebiete realistisch abzubilden.

Das Modell MISKAM wurde an der Universität Mainz (J. Eichhorn 1989; J. Eichhorn 2011) entwickelt und wird sowohl zu Forschungszwecken als auch im Rahmen gutachtlicher Tätigkeit in vielen Beratungsbüros in Deutschland eingesetzt. MISKAM beruht auf den grundlegenden strömungsmechanischen Grundgleichungen. Das Windfeld wird durch die numerische Lösung der Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und Energie berechnet. Als Turbulenzmodell wird ein Standard- $k,\epsilon$ -Modell eingesetzt. Einzelne Gebäude und Hindernisse können somit explizit in ihrer Form aufgelöst werden. Das Modellsystem MISKAM umfasst das Windfeldmodell sowie ein Eulersches Ausbreitungsmodell. Vergleiche mit Messergebnissen aus Windkanälen zeigen, dass die Um- und Überströmung von Gebäuden und Gebäudekomplexen, die Ausbildung von Rückströmzonen, der Frontwirbelbereich etc. mit MISKAM realistisch abgebildet werden können (M. Rau 2000; R. Röckle 1995).

MISKAM ist ein Episodenmodell. Es berechnet stationäre dreidimensionale Strömungs- und Ausbreitungsfelder, wie sie sich im dynamischen Gleichgewicht unter den baulichen (Rauigkeits- und Bebauungsstruktur) und meteorologischen Randbedingungen (Anströmprofil) einstellen. Instationäre Berechnungen unter Berücksichtigung zeitabhängiger Randbedingungen wie z.B. Energieflüsse am Boden bzw. an Gebäudeoberflächen sind nicht möglich. Die Simulation rein thermisch bedingter Windsysteme ohne jeden dynamischen Antrieb ist somit nicht möglich.

### *Modellvorgaben*

In der Abbildung 2-16 ist die räumliche Lage des Plangebietes sowie der Umriss des für die Modellrechnungen zum bodennahen Windfeld mit MISKAM gewählten Modellgebiet gegeben.

Das den Berechnungen mit dem Modell MISKAM zugrundeliegende Modellgebiet hat eine Ausdehnung von ca. 1100 m in Ost-Westrichtung und ca. 900 m in Nord-Südrichtung. Die horizontale Auflösung wurde im Kernbereich im Bereich des Plangebietes äquidistant mit  $2,5 \times 2,5 \text{ m}^2$  festgelegt. In der Vertikalen wurde bis in eine Höhe von 20 m eine Auflösung von 1,0 m gewählt. Darüber nimmt die Gitterweite bis zum oberen Modellrand, der mit der vierfachen Höhe des höchsten Gebäudes zur Vermeidung von Randeffekten gewählt wird, kontinuierlich zu. Das Modellgebiet ist nach Nord ausgerichtet. Die einzelnen Gebäudekomplexe im Planfall sind durchnummeriert, um die bei der Ergebnispräsentation getroffenen Feststellungen besser verorten zu können.

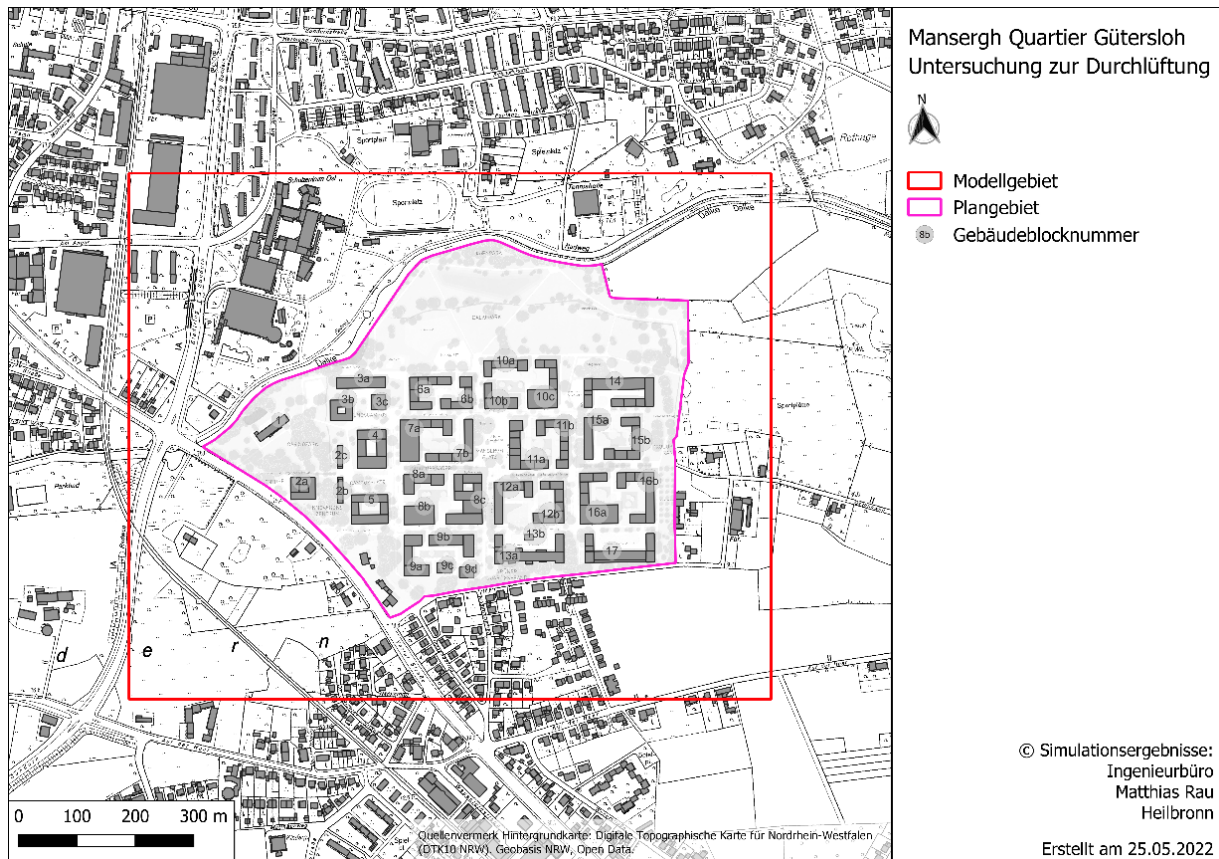


Abbildung 2-16: Lageplan des Plangebiets mit Umriss des Modellgebietes. Eingetragen sind frei gewählte Gebäudenummern.

### Plangrundlagen

Für die Erzeugung des digitalen Gittermodells müssen alle maßgeblichen Gebäude für den Ist- und den Plan-Zustand des Untersuchungsgebietes erfasst und modelltechnisch umgesetzt werden. Für die Istbebauung wurden die frei verfügbaren LOD1-Daten des Geodatenservers NRW herangezogen. Die geplante Bebauung wurde von der Auftraggeberin zur Verfügung gestellt.

### Untersuchungsumfang

Die MISKAM-Windfeldberechnungen wurden für insgesamt 12 30°-Anströmungen sowohl für den Istzustand als auch für den Planzustand (ursprüngliche Planung) bei einer Anströmgeschwindigkeit von 10 m/s in 100 m Höhe durchgeführt.

Betrachtet wurden die häufigsten Windrichtungen, die im Bereich des Plangebietes anzutreffen sind. Diese wurden auf Basis der synthetischen Ausbreitungsklassenstatistiken, die deutschlandweit in einem Raster von 500 x 500 m<sup>2</sup> vorliegen und die Windverhältnisse in 10 m Höhe über Verdrängungshöhe realistisch widerspiegeln, festgelegt (K. Bigalke 2013; Bigalke et al. 2008). Die für das Untersuchungsgebiet repräsentative langjährige Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen, der Windgeschwindigkeitsklassen und der AK-Klassen ist in Abbildung 2-17 dargestellt. Das Windrichtungsmaximum ist demnach bei Winden aus SSW bis WSW zu erwarten; das Sekundärmaximum liegt bei Winden aus ONO und SO. Das mittlere Windgeschwindigkeitsniveau liegt bei 3,2 m/s in einer Höhe von 10 m über Geländeniveau.

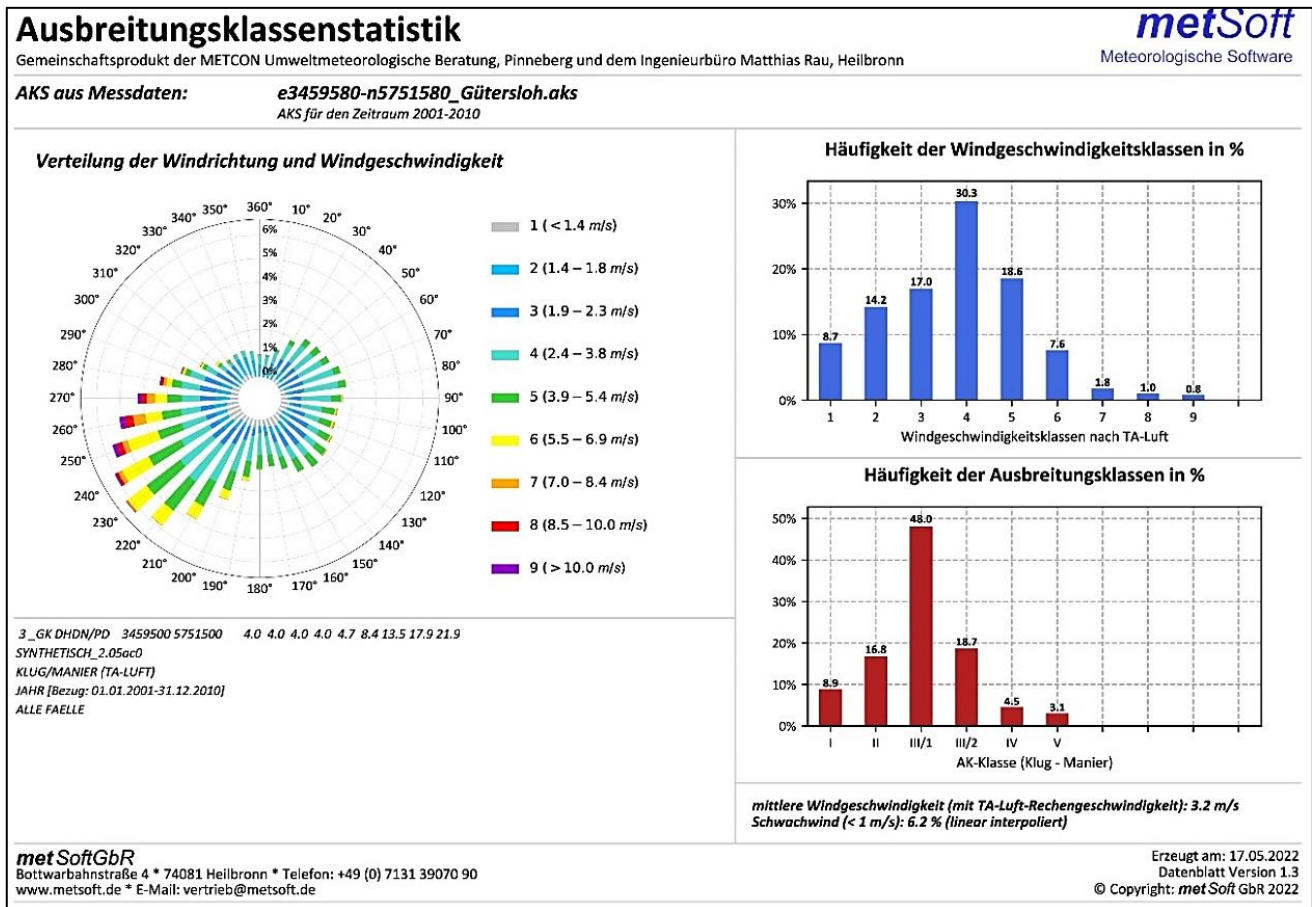


Abbildung 2-17: Synthetische Winddaten im Bereich des Plangebietes.

Auf Grund dieser Verteilung werden im Folgenden die Ergebnisse für die Windrichtungen 30°, 60°, 90°, 120°, 210°, 240° und 270° dargestellt, die insgesamt über 80% der Jahreshäufigkeiten ausmachen. Die Untersuchungen wurden bei einer Anströmgeschwindigkeit von 10 m/s in 100 m Höhe durchgeführt.

Da in diesem Untersuchungsschritt das dynamische Windfeld ohne thermische Einflüsse betrachtet wird, lassen sich die bei dieser Anströmgeschwindigkeit berechneten lokalen Geschwindigkeiten auf andere Anströmgeschwindigkeiten übertragen.

Bei der Auswertung wird das Geschwindigkeitsverhältnis zwischen dem Planfall und dem Istzustand betrachtet. Ein Verhältnis > 1 bedeutet eine lokale Geschwindigkeitsverstärkung im Planfall gegenüber dem Istzustand, ein Verhältnis < 1 entsprechend eine Geschwindigkeitsminderung. Um Artefakte, die sich bei sehr kleinen Geschwindigkeiten bei Änderungen zwischen Planfall und Istfall ergeben können, zu vermeiden, wurden nur absolute Änderungen der bodennahen Windgeschwindigkeit (1,5 m Höhe) > 0,2 m/s, bezogen auf die jeweils Sektor gemittelte langjährige Windgeschwindigkeit, betrachtet.

### 2.4.2 Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlüftung

Die Untersuchungen zur Durchlüftung wurden für insgesamt zwölf 30°Anströmungssektoren durchgeführt. Dargestellt werden im Folgenden die Ergebnisse für sieben Anströmrichtungen. Bei der Um- und Überströmung von Gebäudekomplexen bilden sich in Lee (windabgewandte Seite) jedes einzelnen Gebäudeblocks sowie in Lee des gesamten Gebietes Nachlaufzonen mit reduzierter Windgeschwindigkeit aus. Durch Kanalisierungseffekte und die gebäudeinduzierte Turbulenz bilden sich andererseits Zonen mit erhöhten Geschwindigkeiten aus, die die Durchlüftung positiv beeinflussen



können. Die Ausdehnung und Ausprägung dieser Nachlaufzonen mit reduzierter Geschwindigkeit und die Zonen mit einer Geschwindigkeitserhöhung müssen integral bewertet werden und geben insgesamt Aufschluss über mögliche Durchlüftungseinschränkungen in den angrenzenden Gebieten sowie im Plangebiet selbst infolge der geplanten Nachverdichtung.

Zur vergleichenden Darstellung der Auswirkung der geplanten Bebauung auf das bodennahe Strömungsfeld innerhalb des Plangebietes sowie im Nahbereich des Plangebietes wurden daher die Geschwindigkeitsverhältnisse für die insgesamt sieben untersuchten Windrichtungen zwischen Plan- und Istzustand in 1,5 m Höhe ermittelt. Neben den mittleren absoluten Geschwindigkeiten für den Ist- und den Planzustand, bezogen jeweils auf die langjährige sektorgemittelte Windgeschwindigkeit, liegen der Ergebnisdiskussion auch die Geschwindigkeitsverhältnisse zu Grunde. Die absoluten Geschwindigkeiten sind sowohl farblich als auch mit überlagerten Vektoren dargestellt. Bei den Geschwindigkeitsverhältnissen ist die Skala so gewählt, dass weiße Flächen Geschwindigkeits-erhöhungen bzw. Reduktionen < 10% angeben. Diese Änderungen werden als sehr gering eingestuft. Die blauen Farben zeigen dementsprechend Geschwindigkeitsreduktionen im Planfall gegenüber dem Istzustand von 10-25%, 25-50%, 50-75% und größer 75% an. Die Grüntöne stehen entsprechend für Geschwindigkeitserhöhungen im Planfall gegenüber dem Istzustand von mehr als 10-25%, 25-50%, 50-75% sowie >75%.

Bei nordnordöstlichen Winden (Abbildung 2-18; 30°) zeigt sich in Lee der Istbebauung eine ausgeprägte Zone mit recht geringem Windgeschwindigkeitsniveau. Das Quartier ist im Istzustand geprägt durch insgesamt 7 aufgelockerte Gebäudeanordnungen, die jeweils einen Hof umschließen. Innerhalb dieser Höfe sind jeweils im nördlichen Teil der Höfe eher niedrigere bodennahe Windgeschwindigkeiten, im südlichen Teil der Höfe eher etwas höhere Geschwindigkeiten zu erwarten. Die Windvektoren zeigen deutlich die heterogene Strömungsstruktur innerhalb der Gebäudestrukturen mit Kanalisierungseffekten, Rücklaufzonen sowie Wirbelstrukturen. In den Siedlungsbereichen außerhalb des Plangebietes wechseln sich Bereiche mit höheren und niedrigeren Windgeschwindigkeiten ab.

Durch die Planbebauung (Abbildung 2-19) ändern sich die bodennahen Windgeschwindigkeitsverteilungen außerhalb des Plangebietes nur wenig. Innerhalb des Plangebietes findet gegenüber dem Istzustand eine bauliche Nachverdichtung statt. Die von den Gebäuden umschlossenen Hofflächen wirken geschlossener und sind flächenmäßig gegenüber dem Istzustand teilweise reduziert. In den von den Gebäudekomplexen umschlossenen Innenhöfen wird das Geschwindigkeitsniveau reduziert. Eine gute Durchlüftung der Straßenräume des Plangebietes ist im nordöstlichen Teil des Plangebietes sowie im Zentrum gegeben.

Die Darstellung der Geschwindigkeitsverhältnisse verdeutlicht die Situation (Abbildung 2-20). Auswirkungen der Planbebauung in dem nächstliegenden Siedlungsbereich sind nicht zu verzeichnen. Innerhalb des Plangebietes werden die bodennahen Windgeschwindigkeiten in den Straßenzügen eher verstärkt, dahingehen in den Innenhöfen lokal eher gemindert.

Die drei Abbildungen 2-21 bis Abbildung 2-23 zeigen die bodennahen Geschwindigkeitsstrukturen für eine Anströmung aus 60° (ONO). Wie schon bei der Anströmung aus NNO (30°) sind die absoluten Geschwindigkeitsbeträge sowie die Strukturen der Windvektoren außerhalb des Plangebietes für den Ist- und den Planfall sehr ähnlich. Gegenüber dem Istzustand zeigt sich eine deutliche Geschwindigkeitsreduktion in dem zentralen Bereich des Plangebietes, insbesondere der West-Ost-Achse, die im Planzustand weniger Breite aufweist. Innerhalb einiger Innenhöfe dehnen sich die Flächen mit reduzierter Windgeschwindigkeit aus. Vergleicht man wieder den Ist- mit dem Planfall, bekommt man ein Gesamtbild. In den Innenhofbereichen der Gebäudekomplexe 3, 8, 12, 14 und 16 bilden sich in den Innenhöfen Zonen mit deutlicher Geschwindigkeitszunahme. Dies liegt zum Teil daran, dass gegenüber dem Istzustand bspw. im Bereich der Gebäudekomplexe 3, 8 und 16 im Planfall Gebäude wegfallen. Die

deutlichen Geschwindigkeitsreduktionen im Zentrum bestätigen sich. Deutliche Durchlüftungseinschränkungen sind innerhalb der Gebäudekomplexe 4, 10 und 11 zu erwarten.

Bei einer Anströmung aus östlichen Richtungen (90°) sind im Istzustand (Abbildung 2-24) die zentrale Ost-West-Achse, aber auch die nördlich und südlich gelegenen Straßenachsen gut durchlüftet. Innerhalb der Innenhöfe nimmt das Geschwindigkeitsniveau deutlich ab. Im Planfall (Abbildung 2-25) ist ebenfalls in den Ost-West-orientierten Straßen und Wegen eine gute Durchlüftung zu erwarten. In den Innenhofbereichen ist wie im Istzustand das Geschwindigkeitsniveau insgesamt niedriger. Vergleicht man allerdings die Geschwindigkeitsverhältnisse zwischen dem Ist- und dem Planfall (Abbildung 2-26), dann ist im östlichen Teil der Hauptachse für den Planfall eine bessere Durchlüftung zu erwarten, im westlichen Teil eher eine Verschlechterung. In einigen Innenhofbereichen werden nur geringe Änderungen zwischen Ist- und Planzustand berechnet. Die Verhältnisse verschlechtern sich bei den Gebäudekomplexen 10 und 11 und verbessern sich bei dieser Anströmrichtung innerhalb der Gebäudekomplexe 3, 8 und 12.

Bei einer Anströmung aus ostsüdöstlichen Richtungen (120°) sind im Istzustand (Abbildung 2-27) die zentrale Ost-West-Achse, aber auch die nördlich und südlich gelegenen Straßenachsen gut durchlüftet. Innerhalb der Innenhöfe nimmt das Geschwindigkeitsniveau deutlich ab. Im Planfall (Abbildung 2-28) zeigen sich recht ähnliche Strömungsmuster; in den Ost-West-orientierten Straßen und Wegen ist ebenfalls eine gute Durchlüftung zu erwarten. In den Innenhofbereichen ist wie im Istzustand das Geschwindigkeitsniveau insgesamt niedriger. Vergleicht man die Geschwindigkeitsverhältnisse zwischen dem Ist- und dem Planfall (Abbildung 2-29), dann zeigt sich kein eindeutiges Bild: insbesondere innerhalb der Innenhofbereiche wechseln sich Zonen mit einer lokalen Geschwindigkeitszunahme bzw. -abnahme ab. Lediglich innerhalb der Gebäudekomplexe 11 ist großräumiger mit einer Durchlüftungsreduzierung zu rechnen.

Bei einer Anströmung aus Südsüdwest (210°) sind sowohl im Ist- als auch im Planzustand (Abbildung 2-30 und Abbildung 2-31) die Nord-Südachsen gut durchlüftet. In den Innenhofbereichen scheint das Durchlüftungspotenzial im Istzustand etwas höher als im Planzustand zu sein. Das zeigt sich auch im Verhältnis Planzustand/Istzustand (Abbildung 2-32): eine deutliche Minderung des bodennahen Geschwindigkeitsniveaus ist im Planfall insbesondere im Bereich der Gebäudekomplexe 11, 14, 15 und 16 zu erwarten.

Bei der Hauptwindrichtung 240° ist das Gebiet im Istzustand insgesamt gut durchlüftet (Abbildung 2-33). Lokal bilden sich Düseneffekte mit erhöhten Geschwindigkeiten in den Öffnungen zwischen den von Nord nach Süd verlaufenden Gebäuderiegeln. Für den Planfall zeigt sich zumindest für den westlichen Teil des Plangebietes ein ähnliches Bild (Abbildung 2-34). Im östlichen Teil scheint das Geschwindigkeitsniveau im Planfall insgesamt, bedingt durch die erhöhte Rauigkeit und Bebauungsdichte im Planfall, etwas abzunehmen. Das zeigt sich insbesondere im Verhältnisplot (Abbildung 2-35) im Bereich der Gebäudekomplexe 11, 15 und 16 mit einer deutlichen, flächig auftretenden Reduktion der bodennahen Geschwindigkeit.

Bei einer Anströmung aus West (270°) findet im Istzustand (Abbildung 2-36) eine sehr gute Durchlüftung der von Ost nach West orientierten Straßen statt. Durch einen Düsen- oder Wasserstrahlpumpeneffekt werden teilweise auch die Innenhofbereiche noch ausreichend belüftet. Im Planfall (Abbildung 2-37) wird diese bodennahe Windgeschwindigkeit in der zentralen Ost-Westachse leicht abgemindert; eine ausreichende Durchlüftung der Straßenzüge dürfte bei dieser Anströmrichtung weiterhin gegeben sein. Das Geschwindigkeitsverhältnis (Abbildung 2-38) zeigt entsprechend in der Hauptachse eine Geschwindigkeitsminderung im Planfall. Die beiden parallelen Straßen in Ost-Westrichtung werden ausreichend belüftet. Einige der Innenhofbereiche erfahren im Planfall eine bessere Durchlüftung als im Istfall. Geschwindigkeitsreduktionen sind im Bereich der Gebäudekomplexe 4, 5, 10 und 11 zu erwarten.

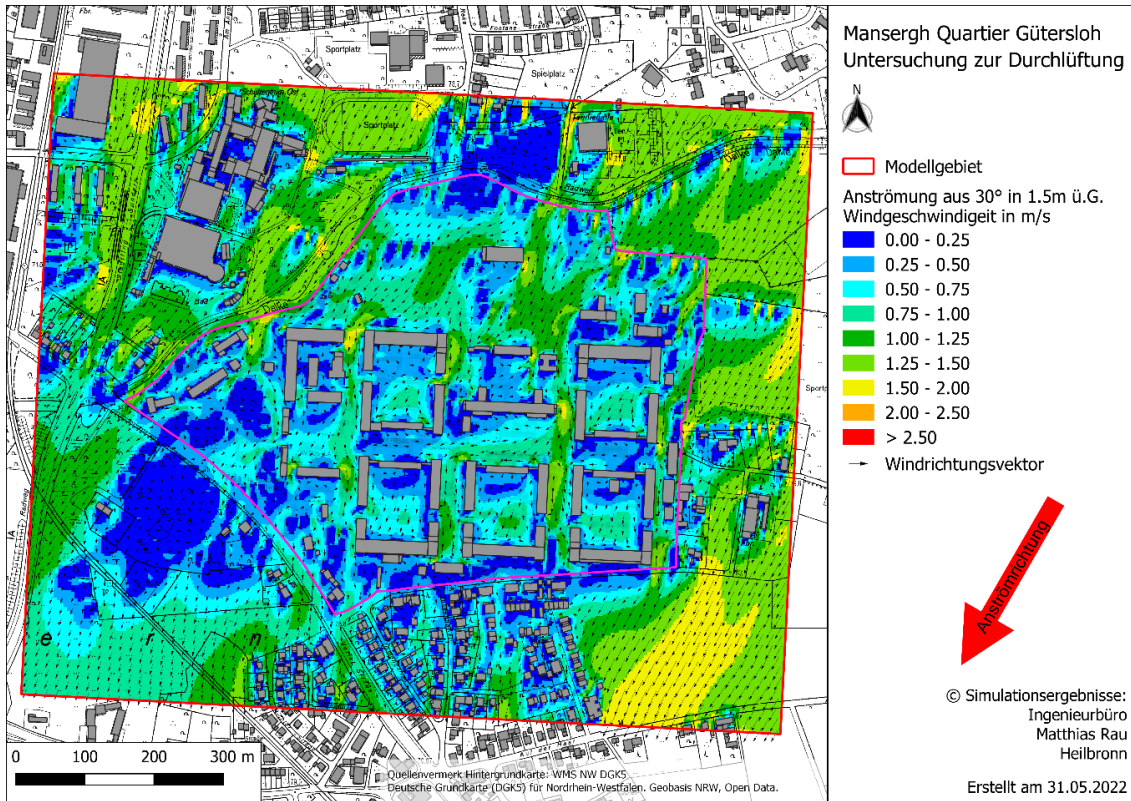


Abbildung 2-18: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 30° Anströmung (NNO) für den Istzustand.

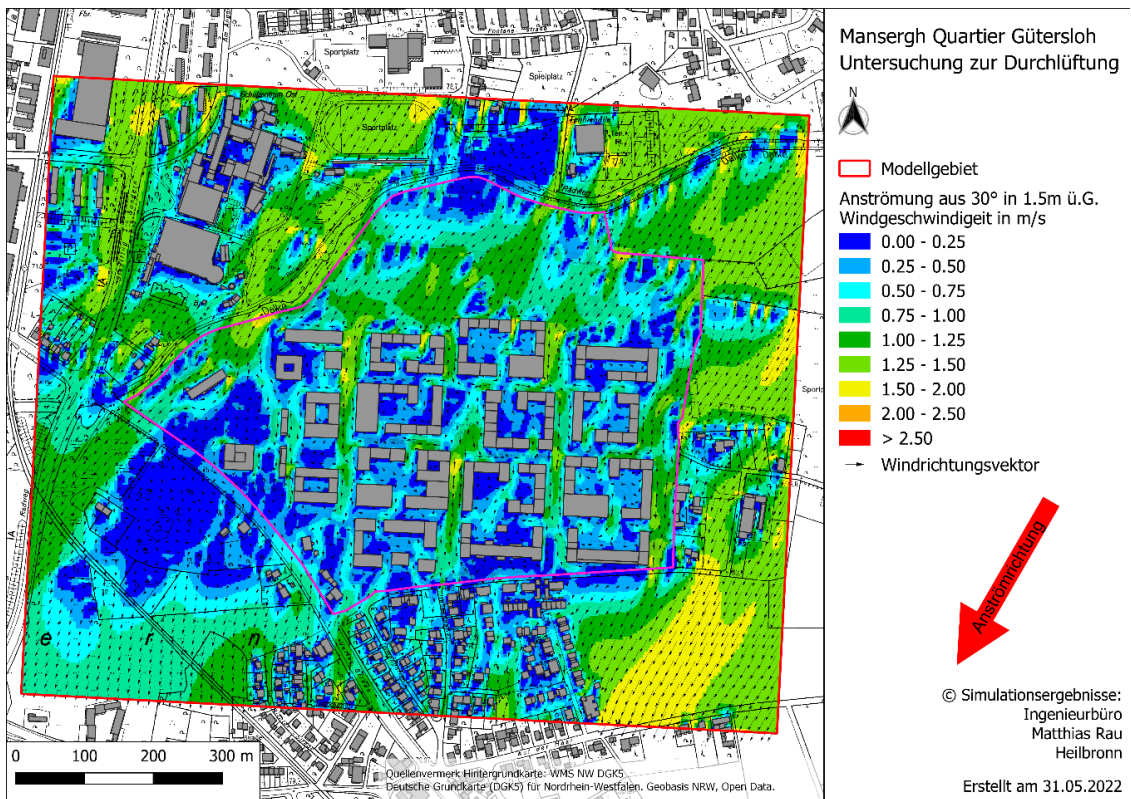


Abbildung 2-19: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 30° Anströmung (NNO) für den Planzustand



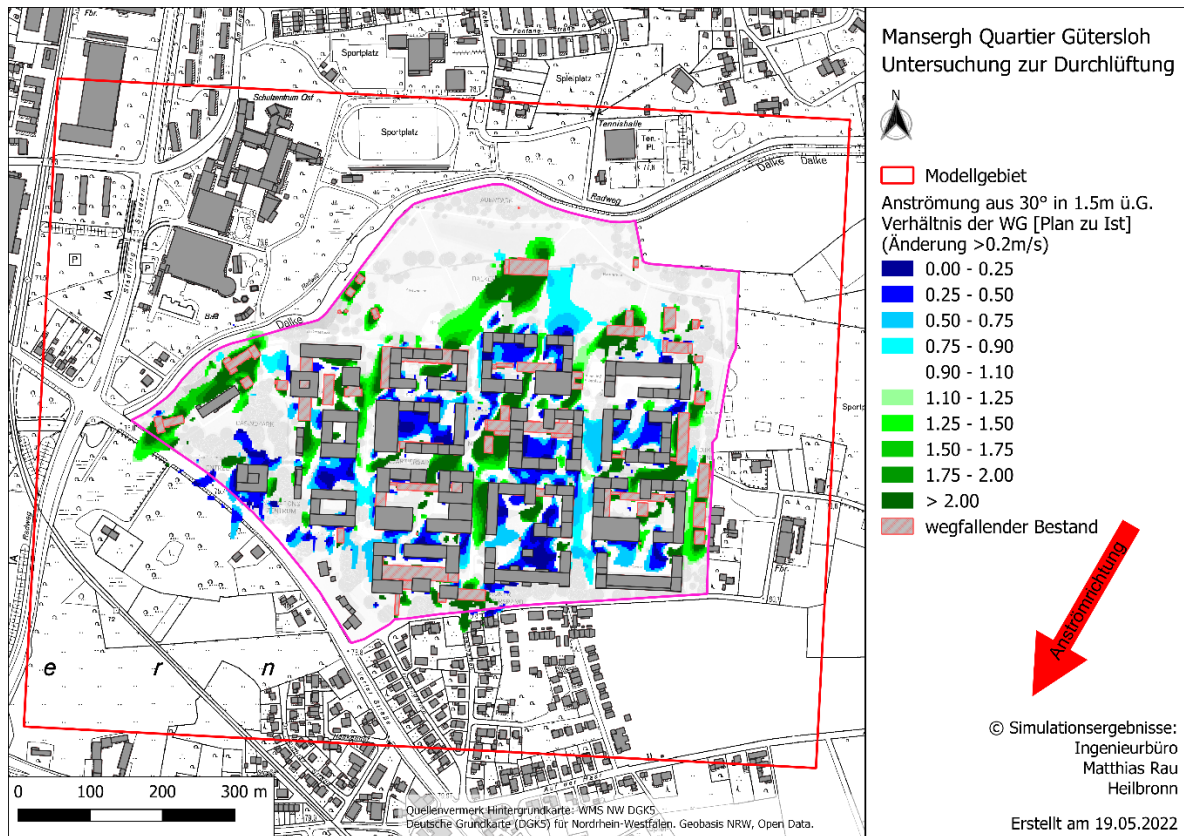


Abbildung 2-20: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 30° Anströmung (NNO)

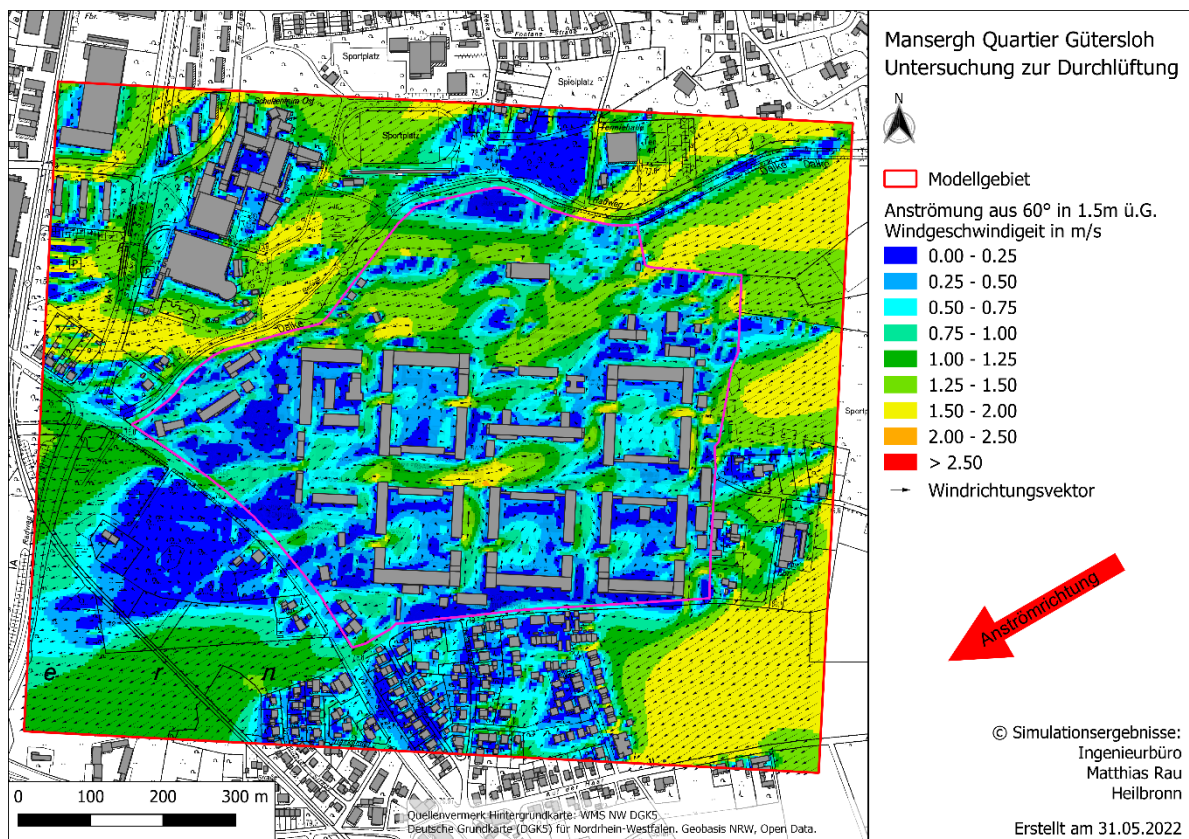


Abbildung 2-21: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 60° Anströmung (ONO) für den Istzustand

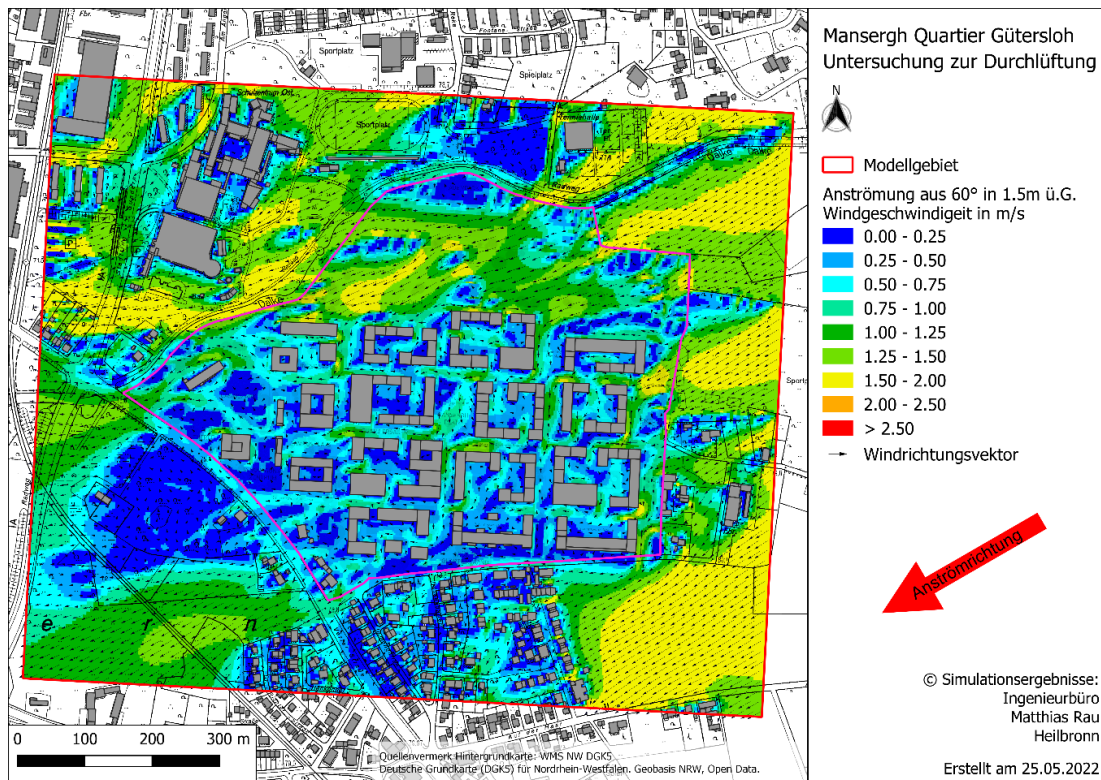


Abbildung 2-22: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 60° Anströmung (ONO) für den Planzustand.

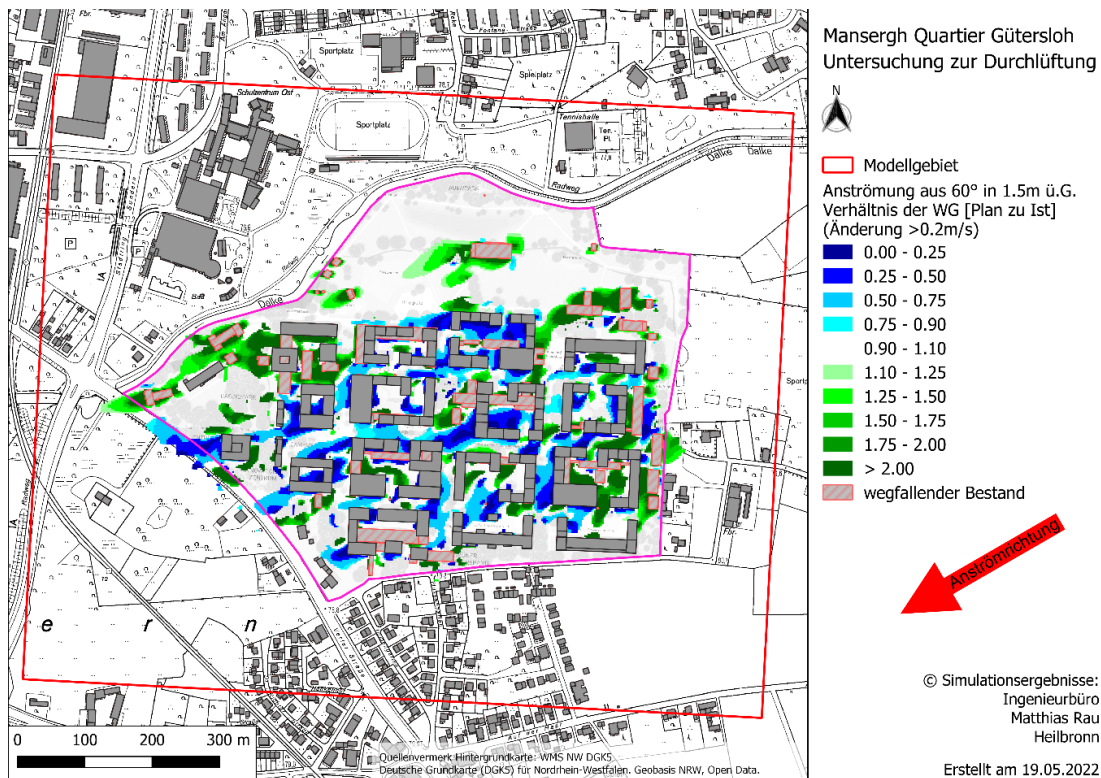


Abbildung 2-23: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 60° Anströmung (ONO).



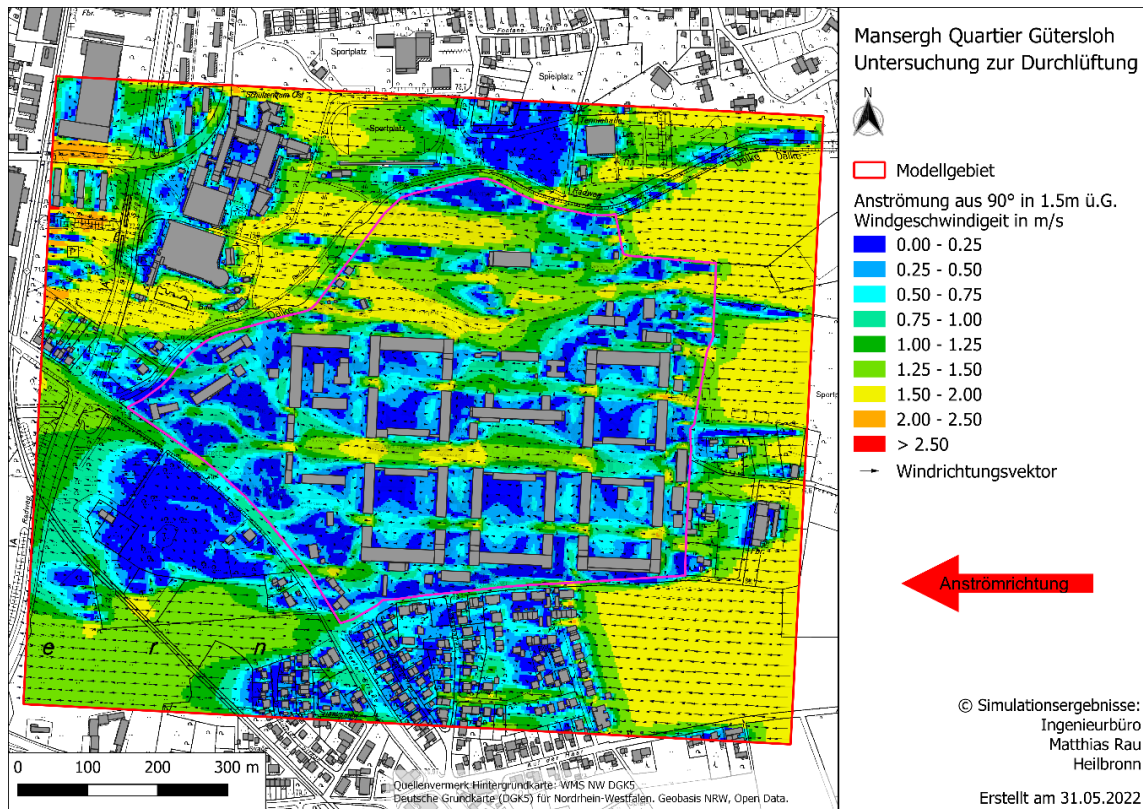


Abbildung 2-24: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 90° Anströmung (O) für den Istzustand.

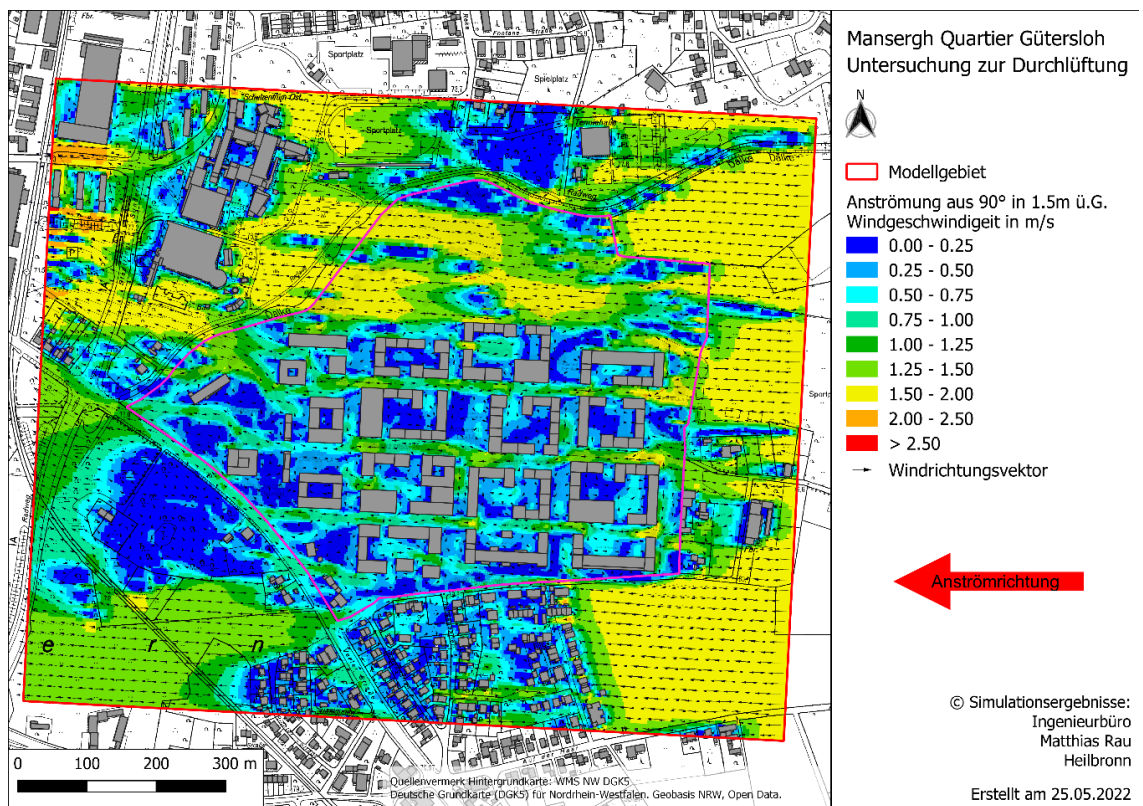


Abbildung 2-25: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 90° Anströmung (O) für den Planzustand.

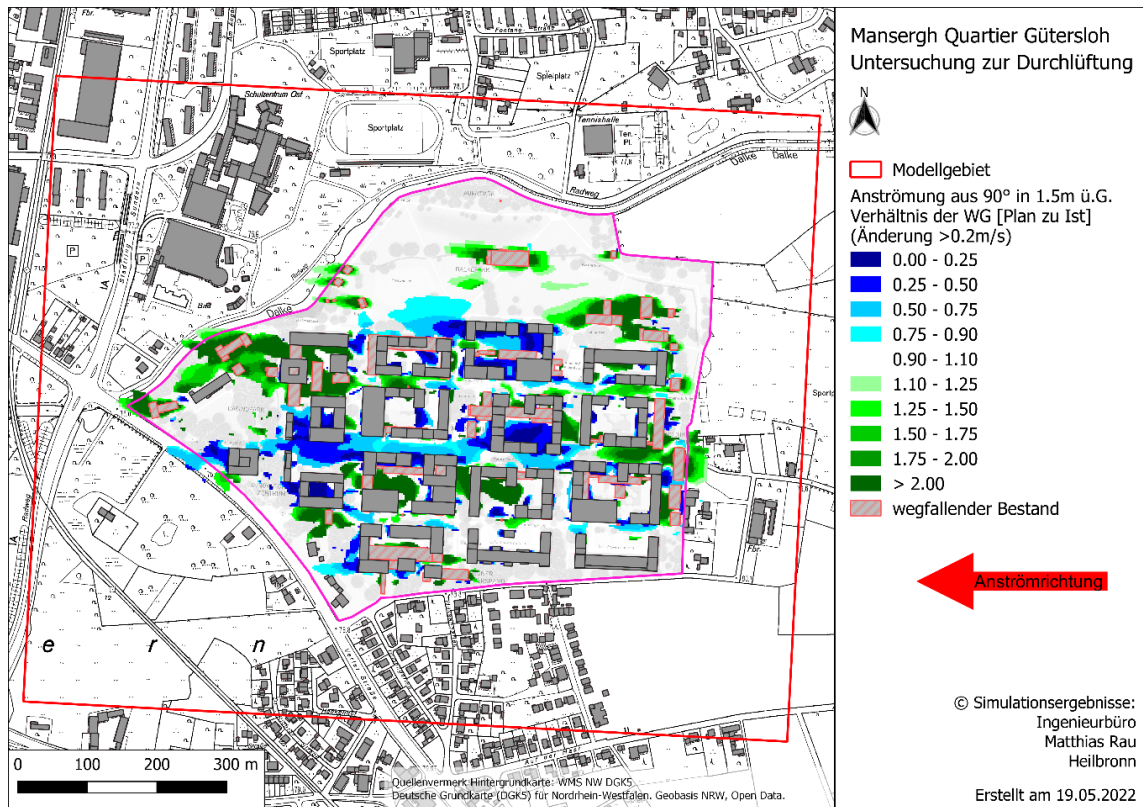


Abbildung 2-26: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 90° Anströmung (O).

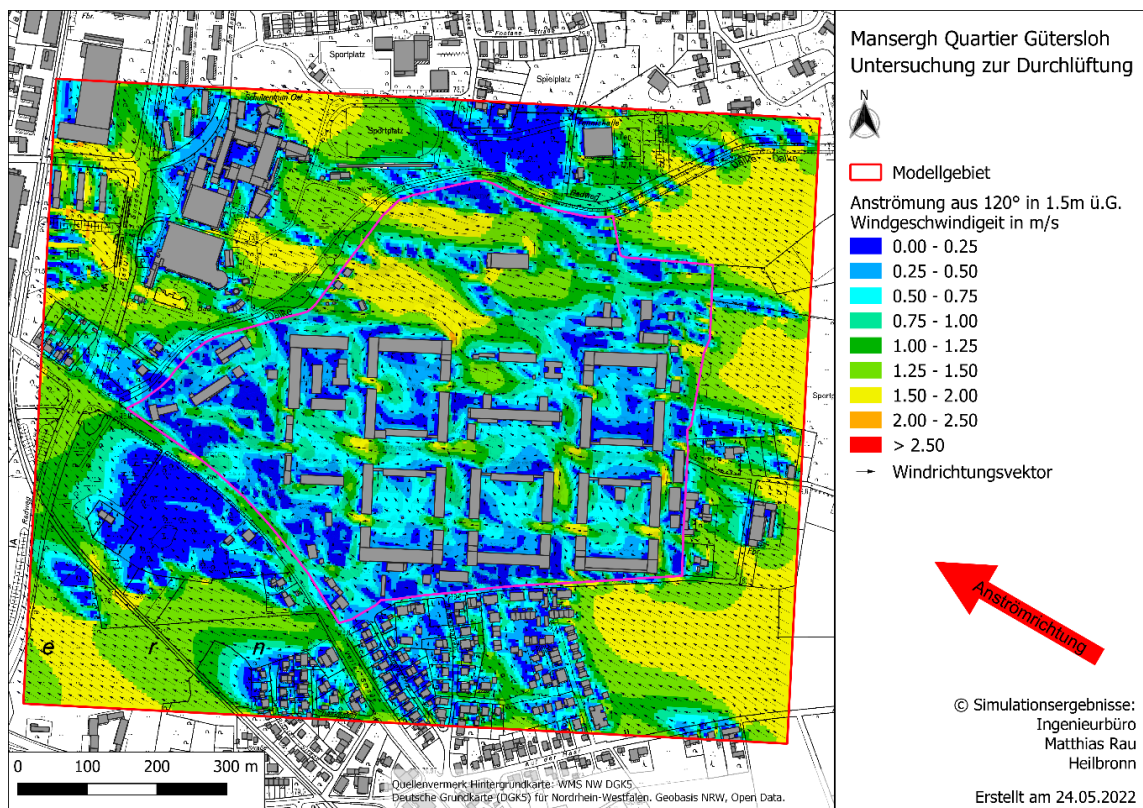


Abbildung 2-27: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 120° Anströmung (OSO) für den Istzustand.



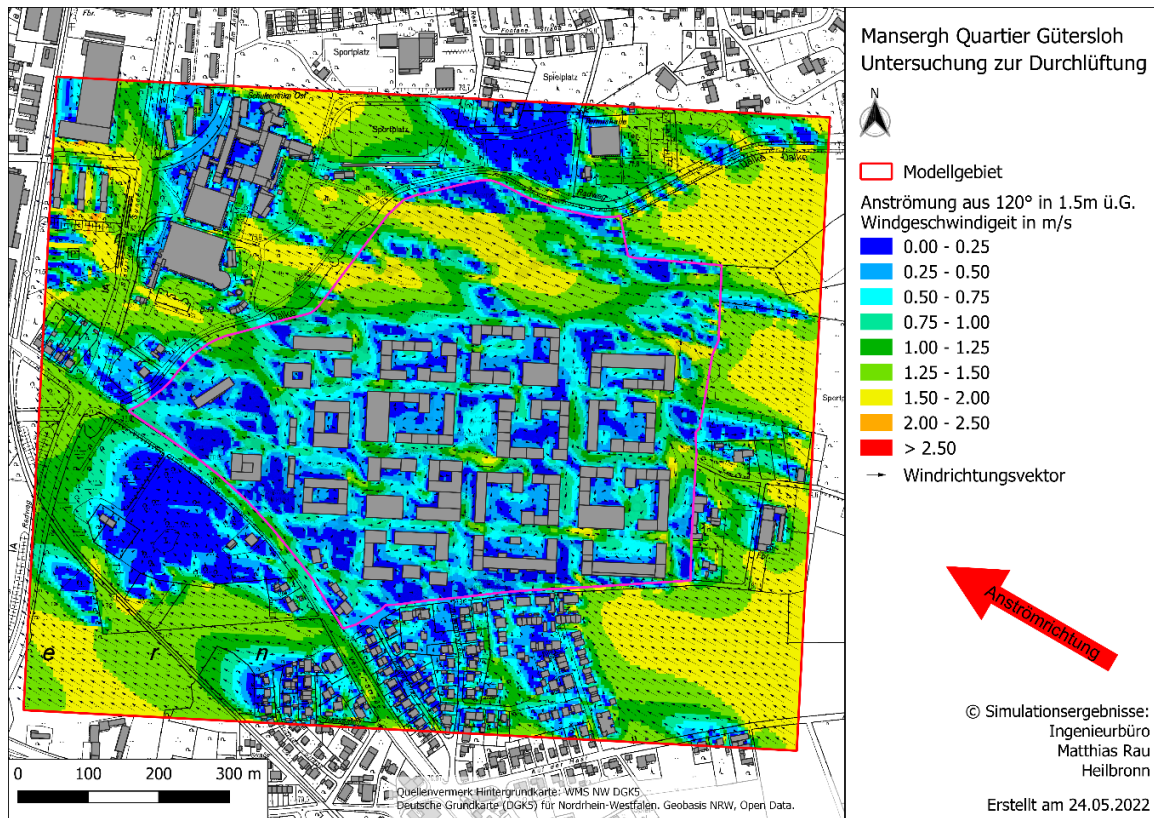


Abbildung 2-28: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 120° Anströmung (OSO) für den Planzustand.

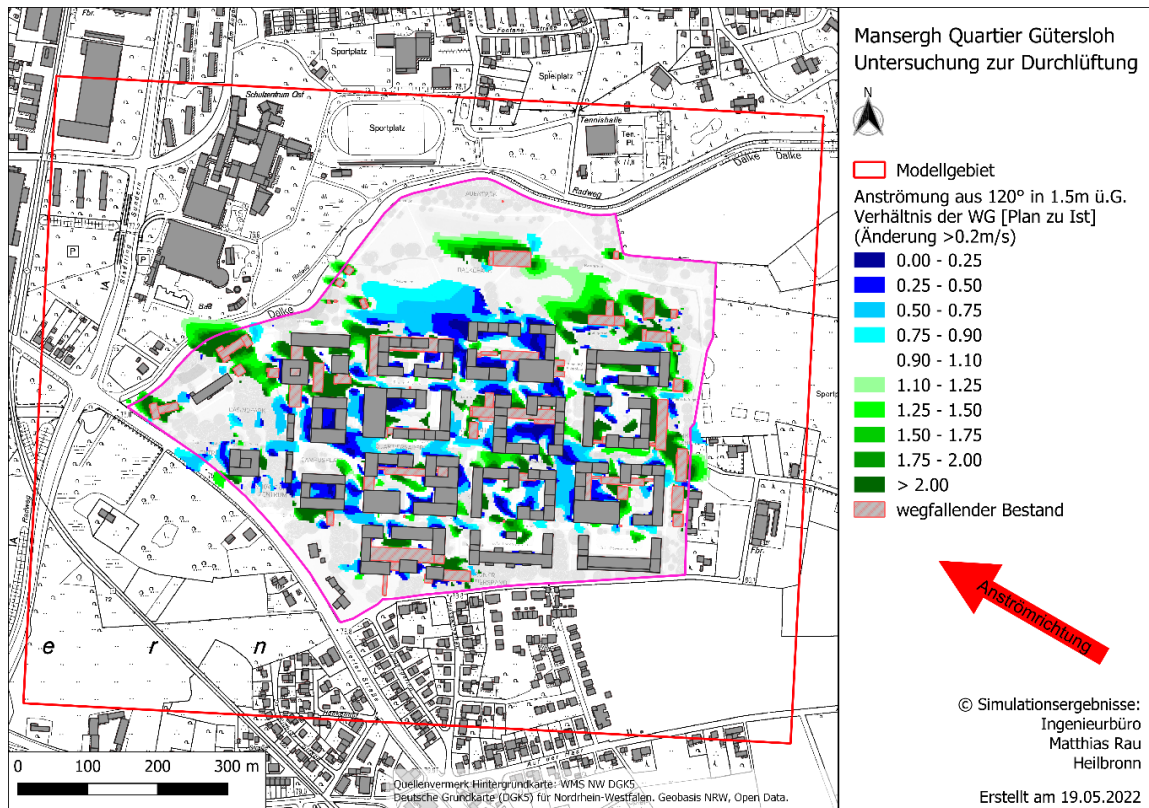


Abbildung 2-29: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 120° Anströmung (OSO).

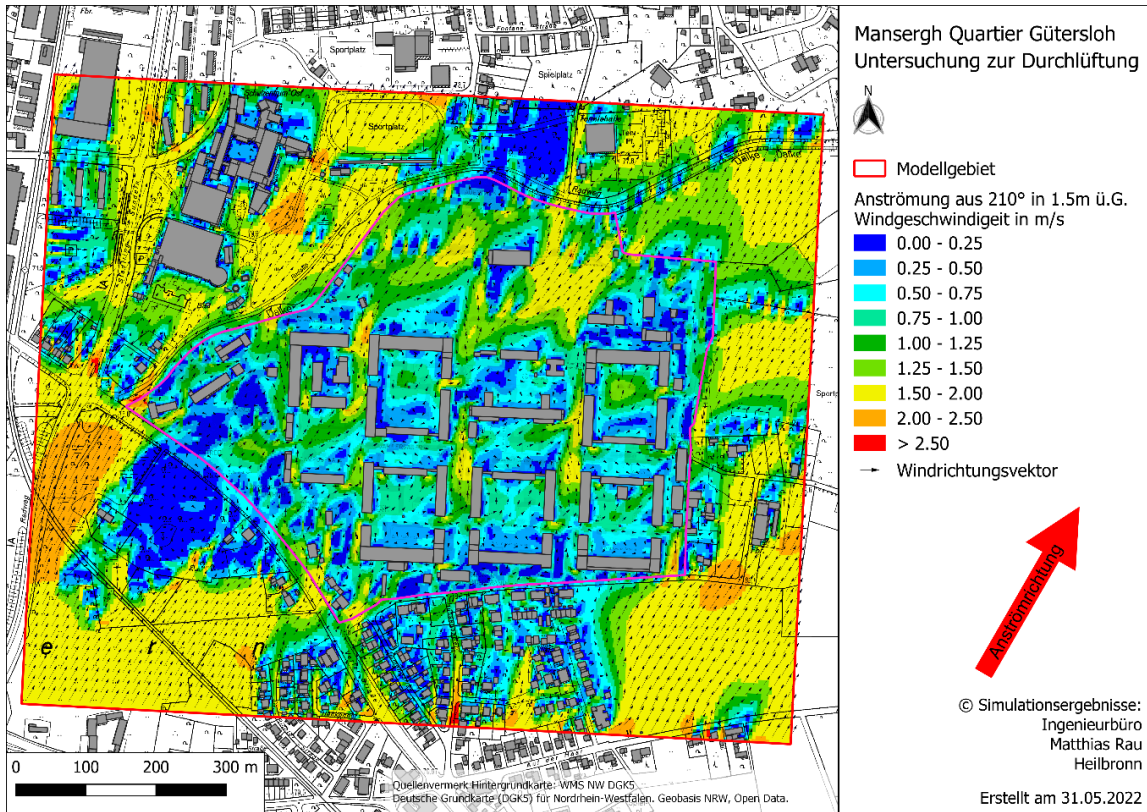


Abbildung 2-30: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 210° Anströmung (SSW) für den Istzustand.

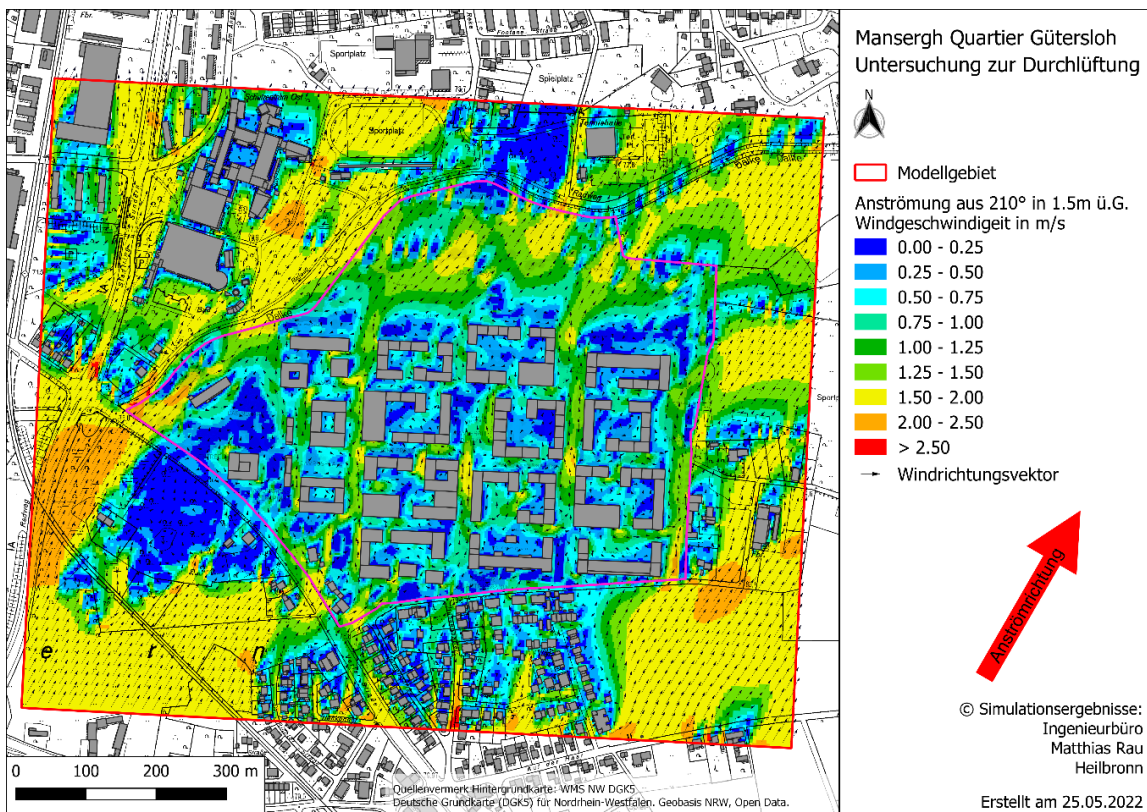


Abbildung 2-31: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 210° Anströmung (SSW) für den Planzustand.



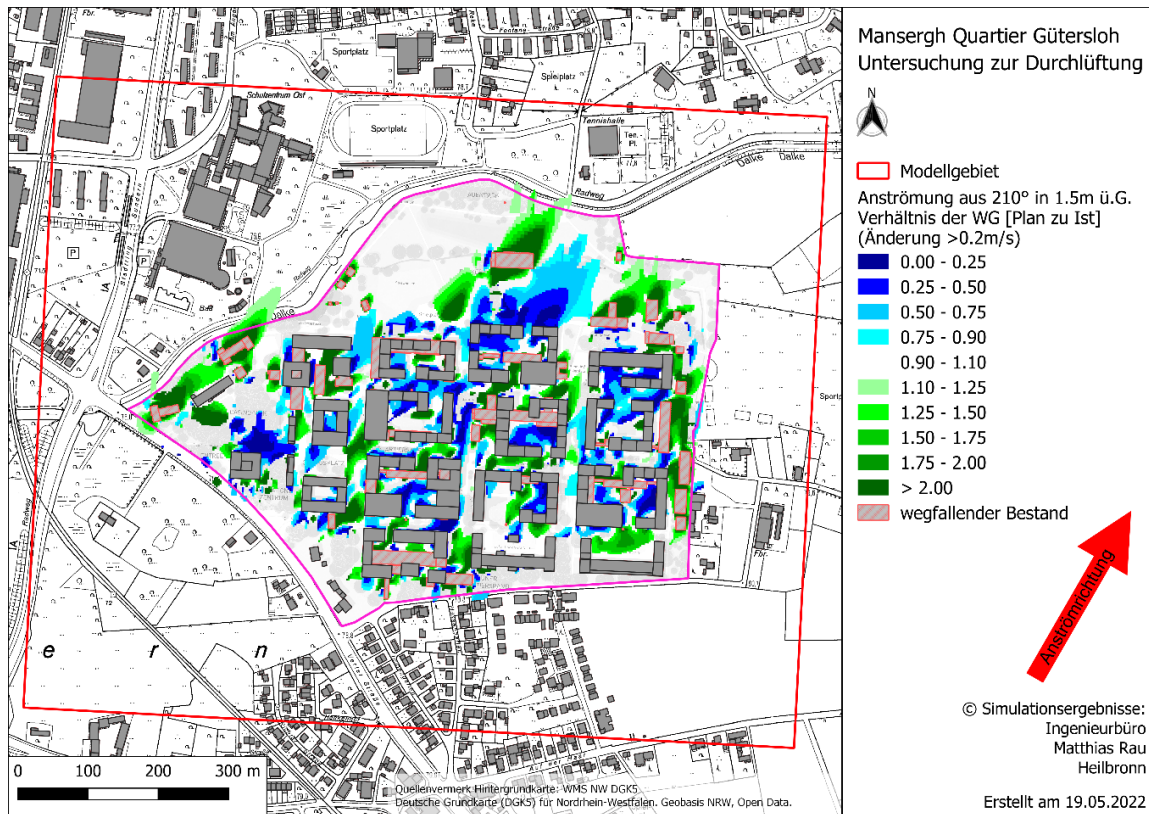


Abbildung 2-32: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 210° Anströmung (SSW).

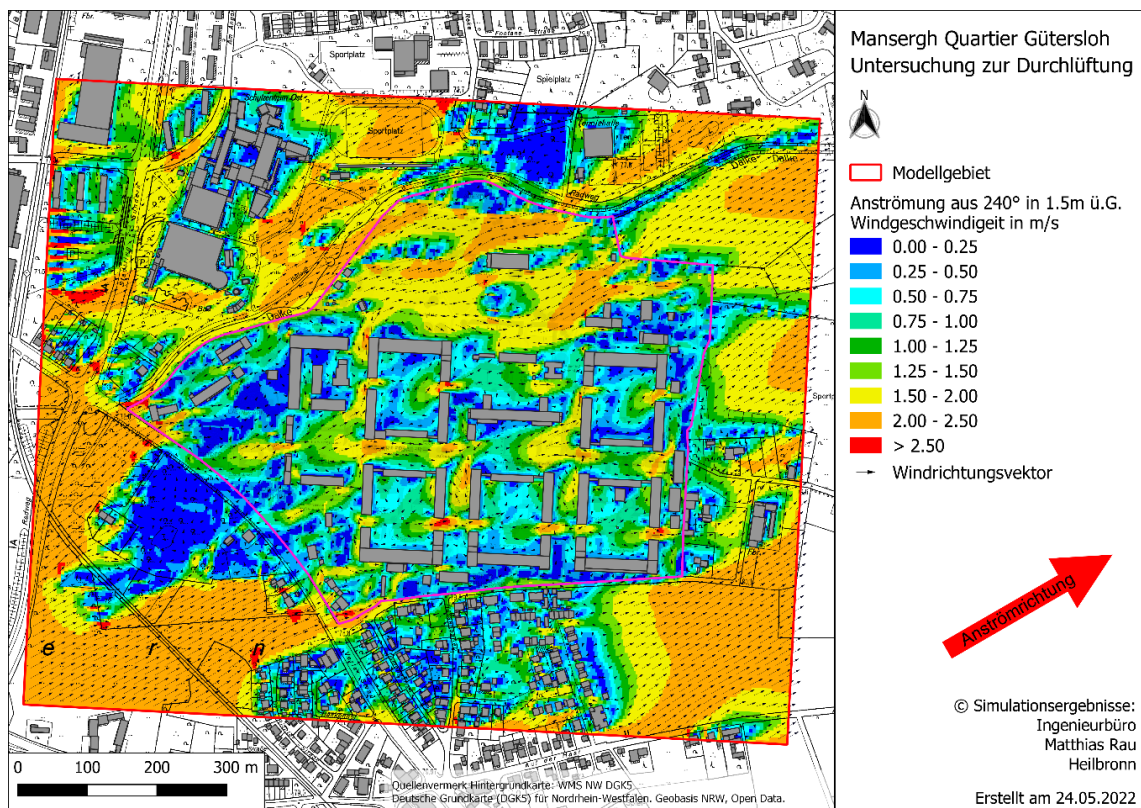


Abbildung 2-33: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 240° Anströmung (WSW) für den Istzustand.

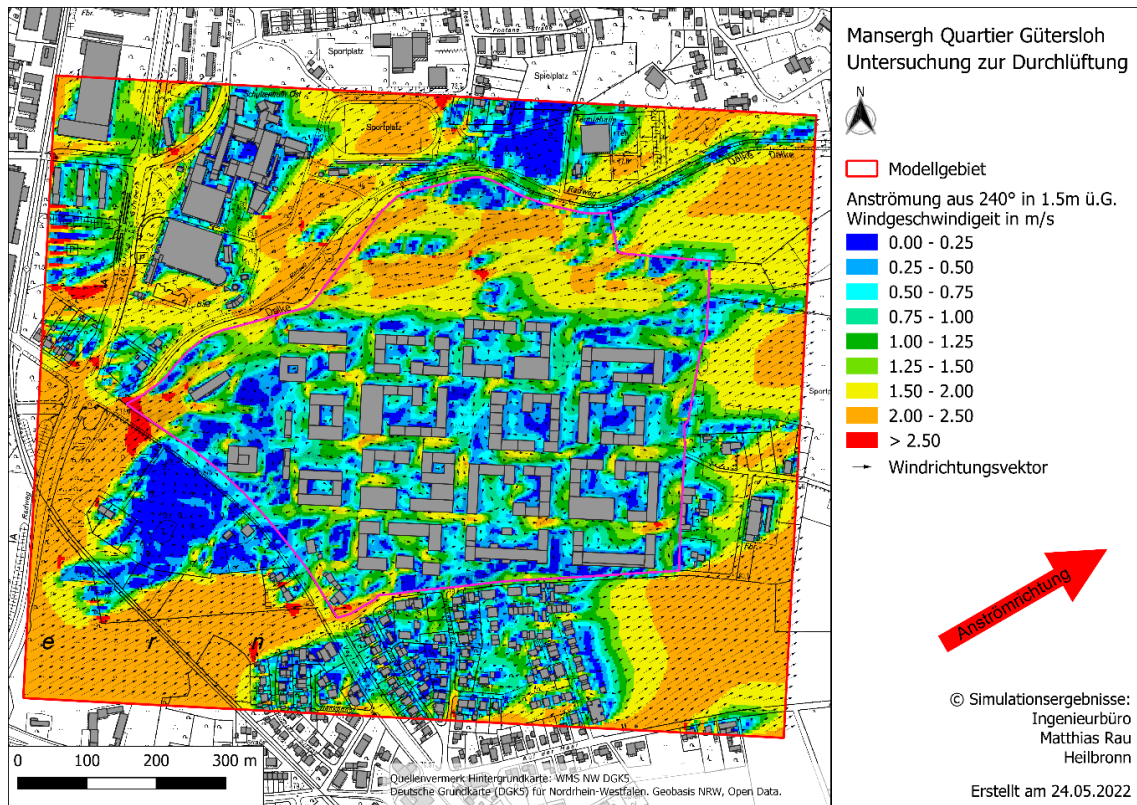


Abbildung 2-34: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 240° Anströmung (WSW) für den Planzustand.

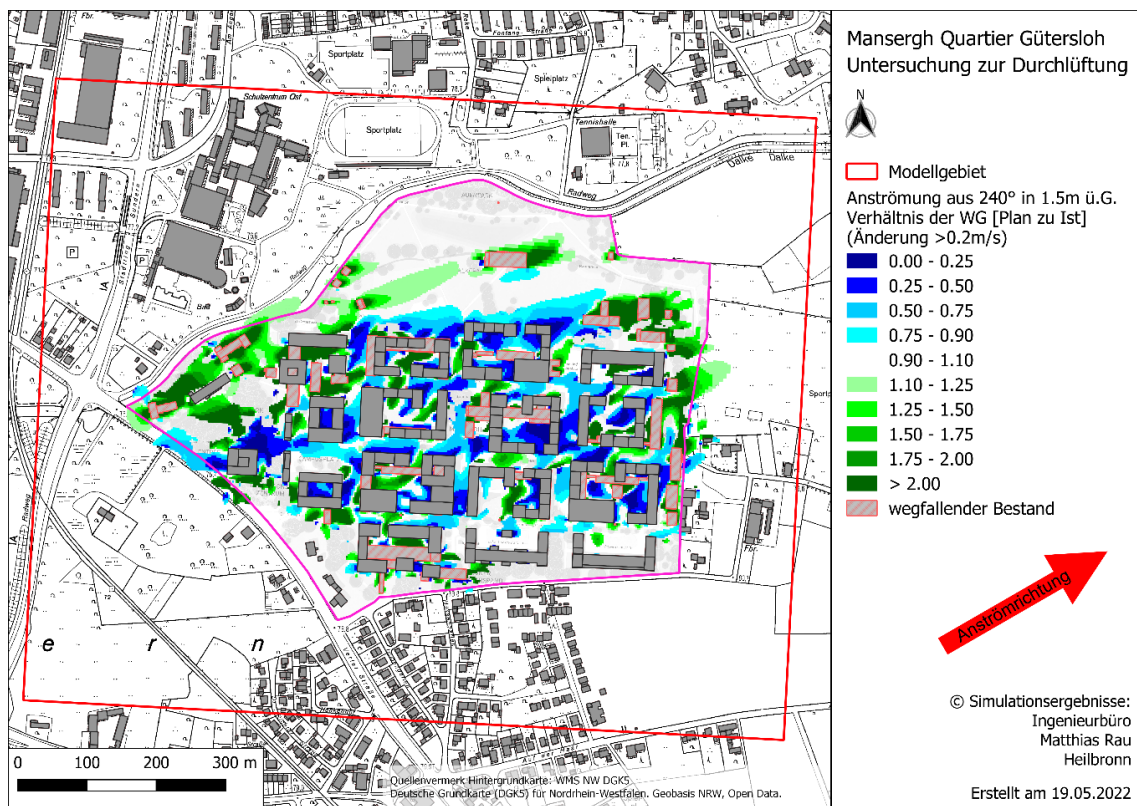


Abbildung 2-35: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 240° Anströmung (WSW).



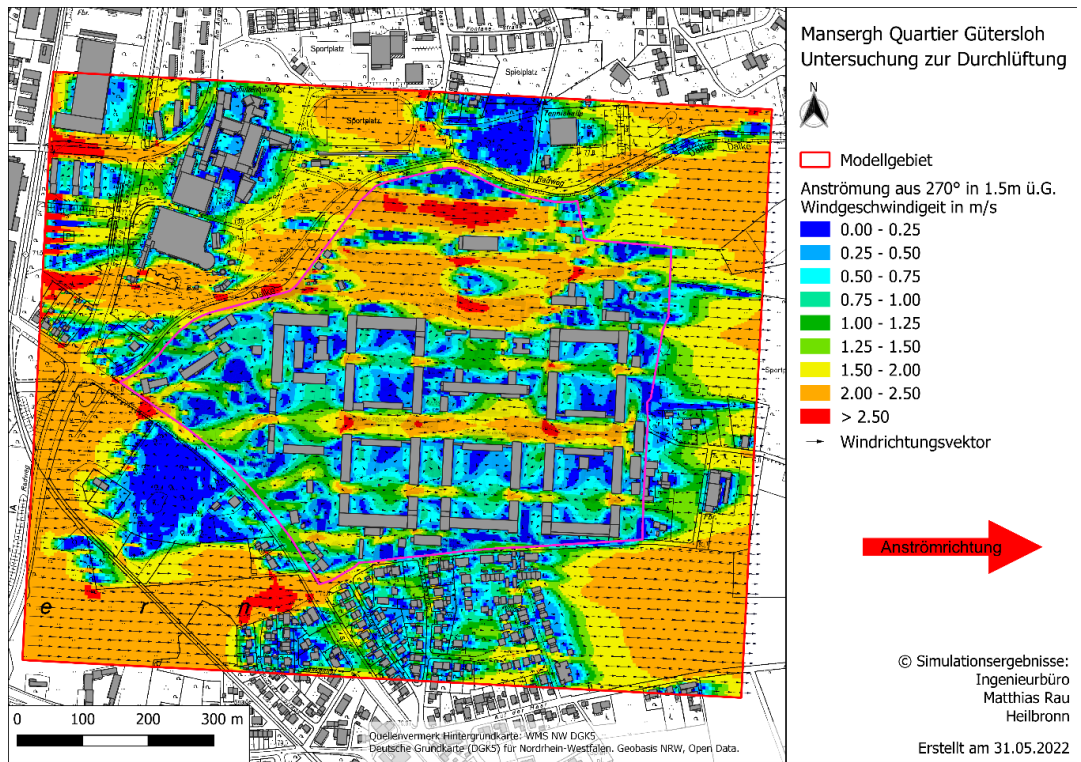


Abbildung 2-36: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 270° Anströmung (W) für den Istzustand.

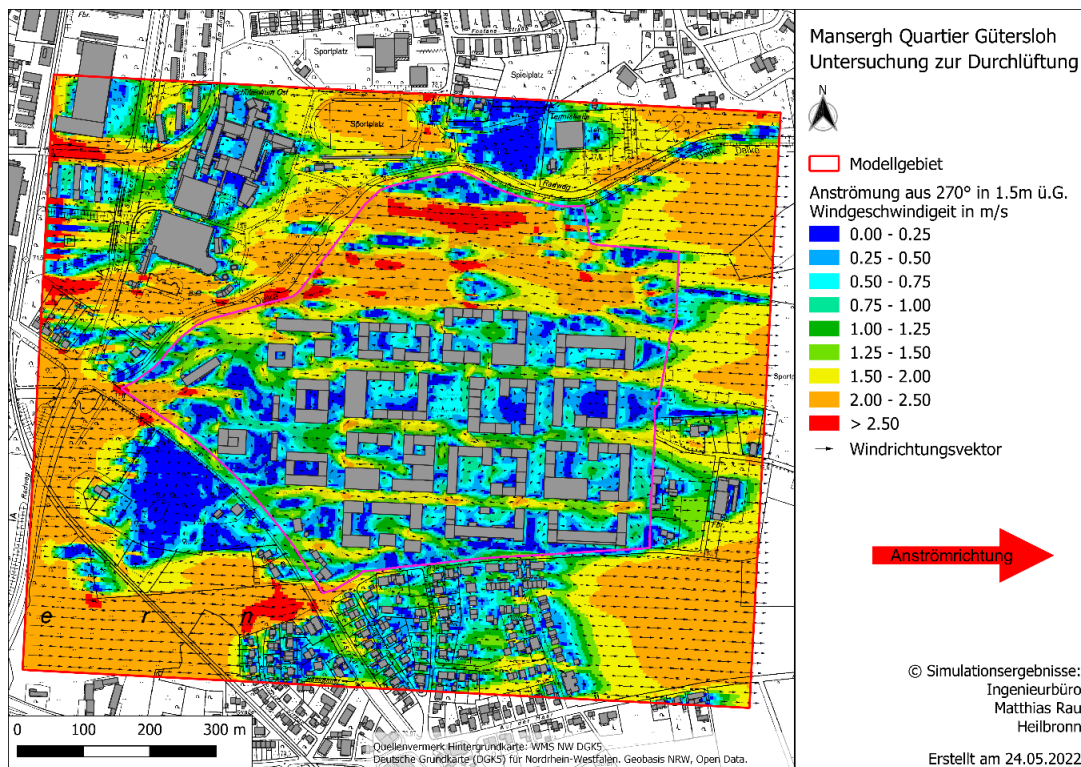


Abbildung 2-37: Bodennahe Windgeschwindigkeit bei 270° Anströmung (W) für den Planzustand.

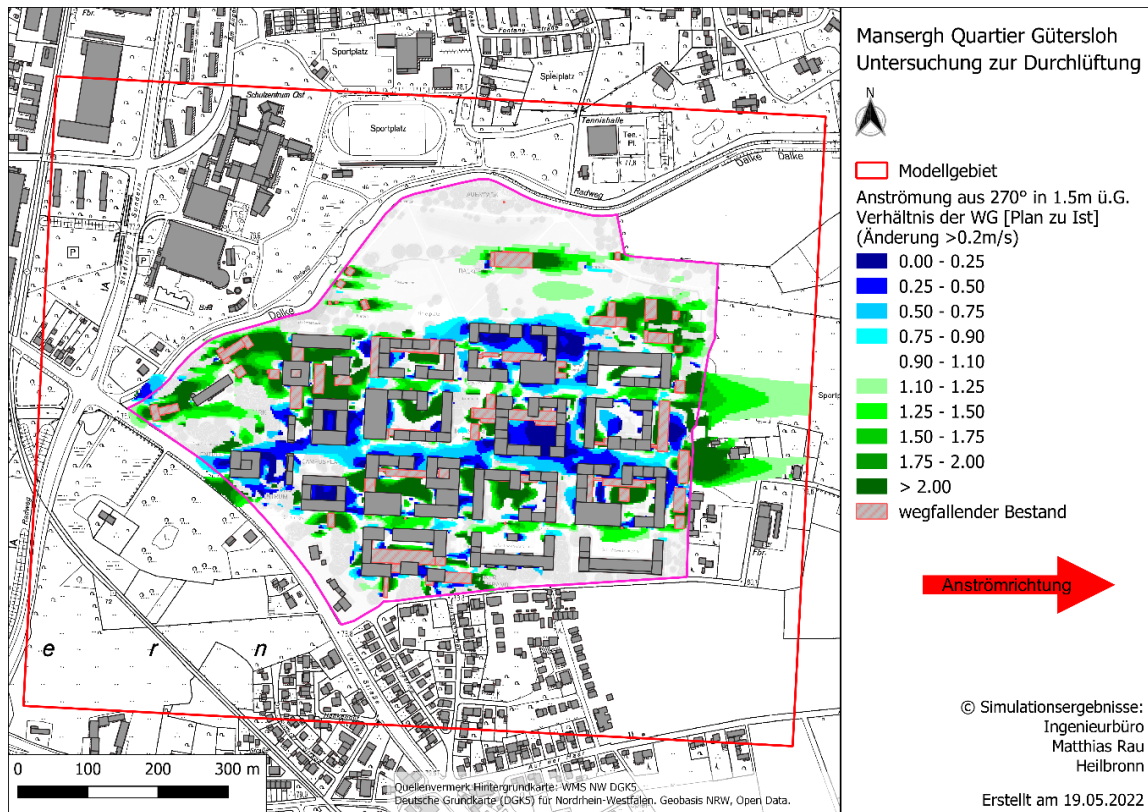


Abbildung 2-38: Verhältnis der bodennahen Windgeschwindigkeit (Plan zu Ist) bei 270° Anströmung (W).

### 2.4.3 Zusammenfassung Ergebnisse Durchlüftung

Zur Beurteilung der Durchlüftung des Plangebietes bei dynamischen Windverhältnissen, bei denen thermische Strömungseffekte eine untergeordnete Rolle spielen, wurden Modellberechnungen mit dem mikroskaligen prognostischen Strömungsmodell MISKAM durchgeführt. Die bodennah berechneten Strömungsfelder, aber auch die berechneten Verhältnisse zwischen Istzustand und Planzustand zeigen, dass die Planbebauung keine Auswirkungen auf nächstgelegene Siedlungsbereiche hat und somit dort keine Durchlüftungseinschränkung zu erwarten ist.

Die dynamischen Simulationsberechnungen zur Ermittlung des bodennahen Windfelds zeigen innerhalb des Plangebietes bei Realisierung der geplanten Bebauung ein Wechselspiel von Geschwindigkeitserhöhungen und -reduzierungen, abhängig von der jeweiligen Anströmrichtung. Ursache dafür sind die sich in Folge der Bebauung ausbildenden Nachlaufzonen und Rezirkulationszonen mit Geschwindigkeitsreduktionen einerseits sowie Düsenströmungen und Ablösezonen an Gebäudekanten mit Geschwindigkeitserhöhungen andererseits. Die vorgesehenen Straßen/Schneisen innerhalb des Plangebietes sind so dimensioniert, dass bei fast allen Anströmrichtungen eine ausreichende Durchlüftung gegeben ist. In den Innenhofbereichen, die sich durch entsprechende Gruppierung der einzelnen Gebäudekomplexe bilden, wird die Durchlüftung teilweise im Planfall etwas eingeschränkt. Hier könnten durch einzelne planerische Änderungen lokal Verbesserungen erzielt werden.

#### Fazit:

Innerhalb des Plangebietes gibt es einige Punkte, die hinsichtlich der Durchlüftung verbesserungswürdig sind. Darauf wird im nächsten Kapitel eingegangen.

## 2.5 Planungsempfehlungen zur Minimierung des Eingriffs aus lokalklimatologischer Sicht

Für die klimagerechte Quartiergestaltung gibt es zahlreiche Maßnahmenvorschläge für unterschiedliche räumliche Maßstabsebenen, die zur Minderung des Hitzestresses und zur Verbesserung der Durchlüftungsverhältnisse besonders geeignet sind und im Rahmen einer detaillierten Anpassungsuntersuchung für das Ruhrgebiet im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010) empfohlen wurden. Eine kompakte Maßnahmenübersicht ist im Anhang B gegeben. Auf Basis der detaillierten mikroskaligen Untersuchungen wurden speziell zu den beiden Bereichen thermische Belastung und Durchlüftung konkrete Maßnahmen erarbeitet und verortet. Sie sind in den beiden nachfolgenden Kapiteln zusammenfassend dargestellt.

### 2.5.1 Planungsempfehlungen zur Minimierung des Eingriffs aus thermischer Sicht

Um allgemein die Hitzeentwicklung auf versiegelten Flächen und an Gebäudefassaden zu vermeiden oder zu reduzieren, sind zwei Maßnahmen von ausschlaggebender Bedeutung:

- Verschattung der sonnenexponierten Oberflächen und Fassaden
- Nutzung der Verdunstungskälte, welche über unversiegelte und optimalerweise begrünte Bodenflächen erzielt werden kann, sofern die Böden hinreichend feucht sind.

Abbildung 2-39 zeigt im oberen Bild die orange bis rot dargestellten Hitzehotspots, für die im unteren Bild vor dunklem Hintergrund konkrete Schutzmaßnahmen skizziert sind.

Stellen, die weniger als 2 Stunden pro Tag sonnenexponiert sind, erfordern mangels hinreichender Aufheizdauer keine explizite Verschattung oder verdunstungsaktive Grünflächen. Vollversiegelungen (s. Tabelle 2) sind vertretbar. Diese betrifft i. d. R. die größten Teile aller Innenhofsüdseiten.

Zur Verschattung süd- bis westexponierter Gebäudewände (d. h. Nord- und Ostseiten) sollten primär nahe am Gebäude positionierte, hohe Bäume favorisiert werden, da sie neben der Gebäudefassade auch den Boden flächig verschatten. Die Pflanzung von mehreren Bäumen in Nähe der sonnenexponierten Fassaden wird ausdrücklich empfohlen, solange sie die Belüftung im Bodenbereich nicht zu stark behindern. Dabei schließt die Baumpflanzung eine Boden-(Teil-)Versiegelung um den Baumstamm nicht aus (Baumscheibe). Als Versiegelungen kommen alle in Tabelle 2 genannten Varianten mit Ausnahme dunkler Vollversiegelungen infrage.



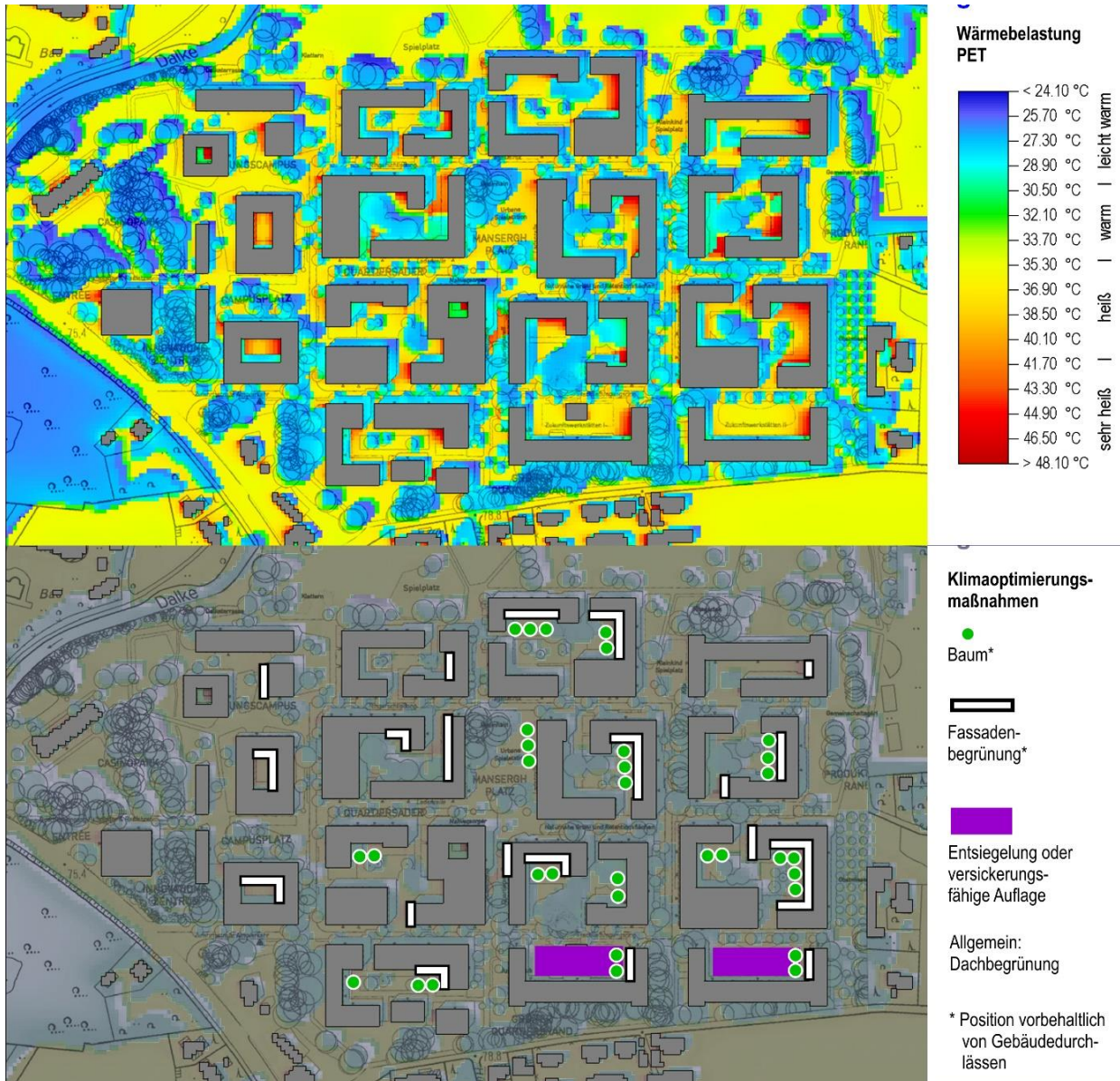


Abbildung 2-39: Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmebelastung bei hochsommerlichen Wetterlagen.



Tabelle 4: Qualitative Klimamerkmale von Bodenoberflächen (eigene Darstellung)

Oberflächentyp		Mechanische Stabilität (insb. f. LKW)	Versickerung, Verdunstung	Aufheizungs- schutz	Klimatische Wirkung gesamt
Rasen, Wiese, Stauden, Beete		---	+++	+++	+++
Gittersteine		o	++	+	++
Rasenschotter		-	++	o	+
Kies	hell	-	+	++	+
	dunkel	-	+	-	o
Pflastersteine mit großen Sickerfugen	hell	++	o	++	+
	dunkel	++	o	--	-
Drainageasphalt oder -beton	hell	+++	-	++	+
	dunkel	+++	-	--	-
Stein-/Betonplatten und Asphaltdecken	hell	+++	--	++	o
	dunkel	+++	--	--	--

+++ hervorragend, +++ sehr gut, ++ gut, o mäßig, - schlecht, -- sehr schlecht

Hell: Albedo > 0,5, z. B. weiß, hellgelb, Pastellfarben, hellgrün, hellrot, hellblau, hellgrau

Dunkel: Albedo < 0,2, z. B. schwarz, dunkelgrau, dunkelrot, dunkelblau

Sofern Bäume favorisiert werden, sollten für die mehrjährige Wachstumsphase bis zum Erreichen der vollen Verschattung ergänzend mindestens helle Fassadenfarben, besser jedoch Fassadenbegrünungen angebracht werden.

Ergänzend kann bei flachen oder nur gering geneigten Dächern eine Dachbegrünung eine Aufheizung der Dachstühle reduzieren, wobei als Synergieeffekte zusätzlich ein Biotop und ein Starkregenabflusspuffer entstehen (s. Tabelle 3). Bei der Dachbegrünung ist auch eine intensive Begrünung (z. B. als Dachgärten mit Bäumen oder als Nutzpflanzenbeet (Urban Farming)) in Erwägung zu ziehen. Gerade bei Gewerbebauten, deren Nutzung mit hohem Publikumsverkehr verbunden ist (z. B. Veranstaltungsgebäude, Messehallen, Hotels, Gastronomie), kann ein Dachgarten gerade in dichter Bebauungslage einen Garten ersetzen und gleichzeitig als Nutzfläche (z. B. für Außengastronomie) dienen. Dabei werden als Substrathöhe laut PFOSE et al. (2013) für kleinwüchsige Bäume mindestens 80 cm empfohlen, für mittelhohe Bäume mindestens 100 cm und für hohe Bäume mindestens 150 cm (FFL 2008).

Tabelle 5: Eigenschaften von Dachbegrünungen (nach Pfoser et al. 2013, Stadt Wien 2021, Stadt Berlin 2010, BUGG 2018)

Begrünungsgrad	extensiv	intensiv	Dachgarten
Pflanzengesellschaft	Moose bis Gras-Kraut	Gras-Kraut bis Gehölz	Rasen, Sträucher bis Bäume
<b>Technische Eigenschaften</b>			
Substratdicke	8 – 15 cm	15 – 25 cm	25 – 150 cm
Gewicht	80 – 240 kg/m <sup>2</sup>	180 – 300 kg/m <sup>2</sup>	300– 1.500 kg/m <sup>2</sup>
Erforderliche Gebäudetragefähigkeit	gering	mittel	hoch
Nachträgliche Installierbarkeit	ja	fallweise	nein
<b>Wirkung und Nutzung</b>			
Erzielbare Biodiversität	gering	mittel	hoch
Kühleffekt für Dach- /Obergeschosse	mittel	hoch	sehr hoch
Kühleffekt auf Umgebung	sehr gering	gering	mittel
Niederschlagspufferung	mittel	hoch	sehr hoch
Zusätzl. Nutzbarkeit v. Solaranlagen	vollständig	eingeschränkt	nein
<b>Wirtschaftlichkeit</b>			
Anschaffungskosten	gering	mittel	hoch
Pflegeaufwand	gering	mittel	hoch
Wasserversorgung	passiv (nur Niederschlag)	fall- / teilweise aktiv	überwiegend aktiv

Die Wirkung von Dachbegrünungen auf den Außenbereich jenseits des Daches ist je nach Größe der begrüneten Dachfläche räumlich auf die nähere Umgebung von i. d. R. einigen Metern bis wenigen zehner Metern begrenzt. Der Wirkungsnutzen für die Umgebung ist daher weniger bei mehrgeschossigen, sondern eher bei niedrigen, ein- bis zweigeschossigen Gebäuden (z. B. freistehenden Garagen) gegeben.

### 2.5.2 Planungsempfehlungen zur Minimierung des Eingriffs aus durchlüftungstechnischer Sicht

Bei dynamischen Winden wird das bodennahe Windfeld vor allem innerhalb der Planbebauung lokal stark modifiziert. Eine Beeinträchtigung der Durchlüftung in den nächstgelegenen Siedlungsbereichen bei entsprechenden Anströmrichtungen ist auf Grund der Distanz zwischen Plangebiet und nächstgelegener Bebauung als gering bis vernachlässigbar einzustufen. Dies ergab die großräumige Untersuchung zum dynamischen Strömungsgeschehen, das in Kapitel 2.4 diskutiert wurde.

Da das Planvorhaben keine negativen klimatischen Auswirkungen auf die Umgebung hat, konzentrieren sich die nachfolgenden Planungsempfehlungen auf die klimatisch und lufthygienische Optimierung des Planentwurfs selbst hinsichtlich einer optimalen Durchlüftung des Plangebietes. Maßnahmen, die die thermischen Komponenten betreffen, sind in dem Teilbericht zur thermischen Simulation beschrieben.

Basierend auf der intensiven Auswertung der bodennahen Windgeschwindigkeitsfelder ergeben sich bzgl. der Durchlüftung bei einigen Gebäudekomplexen im Planfall Defizite, die im Folgenden zusammenfassend dargestellt sind. In Abbildung 2-40 sind die Gebäudekomplexe, für die ggf. Verbesserungspotenzial besteht, entsprechend markiert.



Abbildung 2-40: Gebäudekomplexe mit Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Durchlüftung.

### Gebäudekomplexe 3b, 4 und 5

Im Zuge der kleinräumigen Windfelduntersuchungen zeigt sich, dass die Innenhöfe der Gebäudekomplexe 3b, 4 und 5 nicht durchlüftet werden. Grund ist, dass sich bei diesen Dimensionen kein Strömungssystem im Innenhof etablieren kann. Man spricht in diesem Fall von der Ausbildung einer so genannten glatten Strömung („skimming flow“). Bei diesen Gebäuden könnten allerdings nach Aussage der Planer überdachte Atrien vorgesehen werden, so dass die Innenhöfe nicht mehr auf das Strömungssystem übers Dach angewiesen sind, falls eine ausreichende Abluftableitung unter Ausnutzung des „Kamineffekts“ in Kombination mit steuerbaren Dachklappen gewährleistet wird. Im Vergleich zu offenen Atrien bietet das geschlossene Atrium eine vor dem Wetter geschützte Aufenthaltsfläche im „Freien“. Zudem werden Geräusche und Lärm aus den umliegenden Außenbereichen abgemildert.

### Gebäudekomplex 7

Bei diesem Komplex ist der südliche Durchgang zwischen Gebäudeteil 7a und 7b zu schmal. Es kann sich dadurch bei einigen Windrichtungen keine Durchströmung ausbilden. Eine Möglichkeit wäre, den Durchgang etwas breiter zu gestalten und etwas nach Osten zu versetzen (Mittig in Gebäuderiegel 7b). Alternativ wäre eine Möglichkeit, den in den Innenhof ragenden Gebäudeteil auf der Nordseite des Riegels 7a zu kürzen, um eine „Diagonalströmung“ zwischen dem südlichen, etwas verbreiterten Durchgang zwischen 7a und 7b sowie der nördlichen Öffnung zu ermöglichen.





### 3 Energieversorgungskonzept

Im Rahmen des energetischen Versorgungskonzeptes erfolgt zunächst die Erfassung und Analyse der energetischen Rahmenbedingungen der Energieverbraucher. Dies umfasst die Ermittlung der Verbräuche, Simulation der Lastgänge und Abstimmungen mit den Projektpartnern. Dies bildet die Grundlage für die Berechnung auf Basis der DIN V 18599 der Heizlast, des Heizwärmebedarfs, des Trinkwarmwasserbedarf, des Gesamtwärmebedarf, des Kältebedarfs und des Strombedarfs. Bei den Bedarfsanalysen wird von dem Dämmstandard EG 40 ausgegangen.

Es werden gegebenenfalls benötigte Flächen, z. B. Geothermie für die Wärmeerzeugung, benannt und an die Projektpartner zur Einarbeitung in den städtebaulichen Entwurf kommuniziert.

Auf Grundlage der Bedarfsanalyse werden unterschiedliche Energieversorgungskonzepte herausgearbeitet (s. Kapitel 3.3). Für diese Konzepte folgen technische Beschreibungen, Potenzialanalysen für erneuerbare Energien, Kostenermittlungen und als Ergebnis ein Wirtschaftlichkeits- und Ökologievergleich. Ziel ist es dabei, die technisch umsetzbare, wirtschaftlich sinnvolle und energetisch effiziente Variante herauszuarbeiten. Der Fokus liegt dabei auf einem möglichst niedrigen Primärenergiefaktor, möglichst günstigen Gestehungskosten, sowie einer Optimierung der Betriebs-, Wartungs- und Instandhaltungsaufwände durch Lebenszyklusbetrachtungen der Anlagen. Die kaufmännischen Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden mit der Auftraggeberin abgestimmt

Die Berechnungen erfolgen unter den Rahmenbedingungen aktueller und für die zukünftigen Jahre bereits bekannter regulatorischer, gesetzlicher und fördertechnischer Kenntnisse (CO<sub>2</sub>- Bepreisung, etc.). Förderkulissen werden recherchiert und in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen separat ausgewiesen und berücksichtigt.

Zusätzlich wird der Sektor Mobilität untersucht, um den wachsenden Strombedarf durch Ausbau der E-Mobilität zu berücksichtigen.

Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst, um die Vorzugsvariante zu identifizieren. Die benötigten Maßnahmen für die Umsetzung dieser Vorzugsvariante werden als Maßnahmenempfehlung dargestellt.

### 3.1 Bedarfsanalyse Wärme

Grundlage der Bedarfsanalyse und Variantenermittlung bildet der zur Verfügung gestellte Rahmenplanvorentwurf der städtebaulichen Entwicklung mit Angaben zu Häuserart, -geschossigkeit, Bruttogeschossflächen und Nutzungsarten. Die Änderung der Lage des Innovationszentrums hat keine bezifferbaren wesentliche Auswirkungen auf die Ermittlung des Wärmebedarfs, sodass auf diese Änderung nicht weiter eingegangen wird.

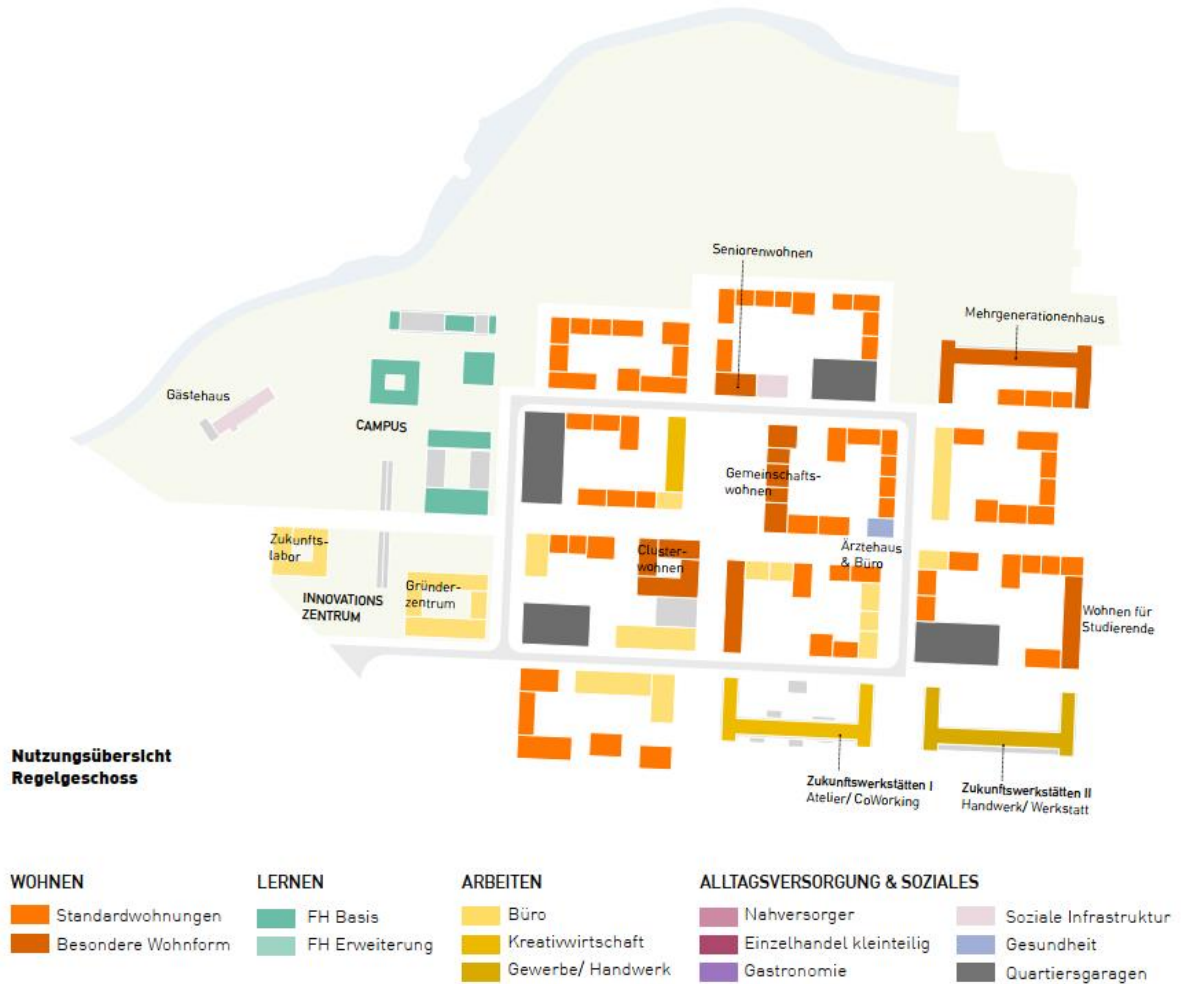


Abbildung 3-1: Nutzungsübersicht Regelgeschoss (Rahmenplanvorentwurf Mansergh Quartier Gütersloh)





Abbildung 3-2: Gebäudehöhen und Geschossigkeit (Rahmenplanvorentwurf Mansergh Quartier Gütersloh)



Abbildung 3-3: Bestandsgebäude Integration und Neubau (Rahmenplanvorentwurf Mansergh Quartier Gütersloh)

Für die Simulation der Energiebedarfe wurden auf Basis der vorhandenen Planungsdaten die Gebäude nach Nutzungsart und Neubauten/Bestandsgebäude aufgeteilt. Nach den Vorgaben der Energieleitlinien 2.0 der Stadt Gütersloh sind Neubauten nach dem Passivhausstandard zu errichten und Bestandsgebäude nach dem enerphit-Standard zu sanieren. Die Energieleitlinien beziehen sich primär auf Bauvorhaben der Stadt Gütersloh. Die hier gesetzten Standards sollen die Grundlage für die Entwicklung im Mansergh Quartier darstellen. Die Flächen der Gebäude zur Energiebedarfsberechnung stammen aus dem Vorentwurf des Rahmenplans Mansergh Quartier Gütersloh (Stand Vorentwurf: 14.06.2021).

Folgende Nutzungsarten für Neubauten und Bestandsgebäude sind im Rahmenplan vorgesehen:

Tabelle 6: Übersicht der Gebäudetypen

<b>Nutzungsart</b>	<b>Geschoss- fläche in m<sup>2</sup></b>	<b>Flächen- nutzungs- faktor</b>	<b>Beheizte Nutzfläche in m<sup>2</sup></b>	<b>Beheizte Nutzfläche in m<sup>2</sup>(Neubauten)</b>	<b>Beheizte Nutzfläche in m<sup>2</sup> (Bestandsgebäude)</b>
Wohnen	100.000	0,75	75.000	69.000	6.000
Gemeinschaftsräume	2.500	0,75	1.875	1.725	150
Fachhochschule	14.200	0,75	10.650	5.858	4.793
Büro	39.400	0,75	29.550	25.868	3.683
Gewerbe	5.800	0,75	4.350	-	4.350
Kreativwirtschaft	7.400	0,75	5.550	-	5.550
Gesundheit & Soziales	7.800	0,75	5.850	5.850	-
Gastronomie	2.100	0,75	1.575	-	1.575
Einzelhandel	4.400	0,75	3.300	3.300	-
<b>Summe</b>	<b>183.600</b>	<b>-</b>	<b>137.700</b>	<b>111.600</b>	<b>26.100</b>

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse für Neubauten dargestellt. Diese basieren auf den spezifischen Bedarfen der Gebäude und den jeweiligen beheizten Nutzflächen. Die spezifischen Bedarfe teilen sich auf in Heizwärme für den Raum und Warmwasser zur Erwärmung des Brauchwassers für z.B. die Dusche. Durch höhere Gebäude-Effizienzstandards sinkt der spezifische als auch absolute Heizwärmebedarf zunehmend. Im Gegensatz dazu ist der Trinkwarmwasserbedarf von der Personenzahl abhängig und zudem stark nutzerabhängig. Durchschnittlich werden etwa 600-800kWh/a pro Person benötigt.

Hinzu kommt der Wärmebedarf für die Bereitstellung und Verteilung inklusive Zirkulation. Somit bleibt nahezu unabhängig vom höheren Effizienzhaus-Standards der Trinkwarmwasserbedarf auf einem ähnlichen Niveau. Mit besserem Effizienzhaus-Standard nähert sich der Trinkwarmwasserbedarf somit relativ dem Heizwärmebedarf an. Der Trinkwarmwasserbedarf nimmt bei modernen Gebäuden etwa 20%-40% des Gesamtwärmebedarfs ein. Die spezifischen Bedarfe basieren auf Daten u.a. des Dämmstandards EG 40 nach GEG sowie dem enerphit-Standard. Die Simulationen werden nach dem Referenzgebäudeverfahren nach DIN 18599 durchgeführt, bei dem die Gebäude mit Geometrie, Gebäudenutzflächen und Ausrichtung nach dem Rahmenplan modelliert werden und mit Referenzwerten für Nutzungsbedingungen und Gebäudedämmung simuliert werden. Die Simulationsergebnisse ergeben einen spezifischen Wärmebedarf in kWh/(m<sup>2</sup>\*a) in Abhängigkeit von der Nutzungsart.

Tabelle 7: Simulationsergebnisse Neubauten

<b>Nutzungsart Neubauten</b>	<b>Spez. Wärmebedarf in kWh/(m<sup>2</sup>*a)</b>	<b>Warmwasserbedarf in kWh/(m<sup>2</sup>*a)</b>	<b>Summe Jahreswärmebedarf in kWh/a</b>
Wohnen	14,4	15	2.028.600
Gemeinschaftsräume	14,4	15	50.715
Fachhochschule	12	0,5	73.219
Büro	12	1,25	343.225
Gewerbe	n.v	n.v	-
Kreativwirtschaft	n.v	n.v	-
Gesundheit & Soziales	11,2	3	83.070
Gastronomie	n.v	n.v	-
Einzelhandel	11,2	3	46.860
Summe	-	-	2.625.689



Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse für sanierte Bestandsgebäude dargestellt. Die hierbei genutzten spezifischen Wärmebedarfsfaktoren speziell der Heizwärmebedarf ist durch die Betrachtung von Bestandsgebäuden höher ausgelegt als im Neubau. In den Bestandsgebäuden werden Sanierungen nach Vorgaben des enerphit-Standards durchgeführt.

Tabelle 8: Simulationsergebnisse Bestandsgebäude

<b>Nutzungsart Bestandsgebäude</b>	<b>Spez. Wärmebedarf in kWh/(m<sup>2</sup>*a)</b>	<b>Warmwasserbedarf in kWh/(m<sup>2</sup>*a)</b>	<b>Summe Jahreswärmebedarf in kWh/a</b>
Wohnen	24,3	15	235.800
Gemeinschaftsräume	24,3	15	5.895
Fachhochschule	20,25	0,5	99.444
Büro	20,25	1,25	79.242
Gewerbe	18,9	3	95.265
Kreativwirtschaft	18,9	3	121.545
Gesundheit & Soziales	n.v	n.v	-
Gastronomie	18,9	3	34.493
Einzelhandel	n.v	n.v	-
Summe			671.684

In Summe ergibt sich damit ein Gesamtwärmebedarf von 3.297.373 kWh/a für das betrachtete Quartier.

Im Folgenden ist für den Gesamtbedarf des Quartiers der Wärmeleistungsbedarf als geordnete Jahresdauerlinie und der Jahresverlauf des Wärmebedarfs dargestellt.

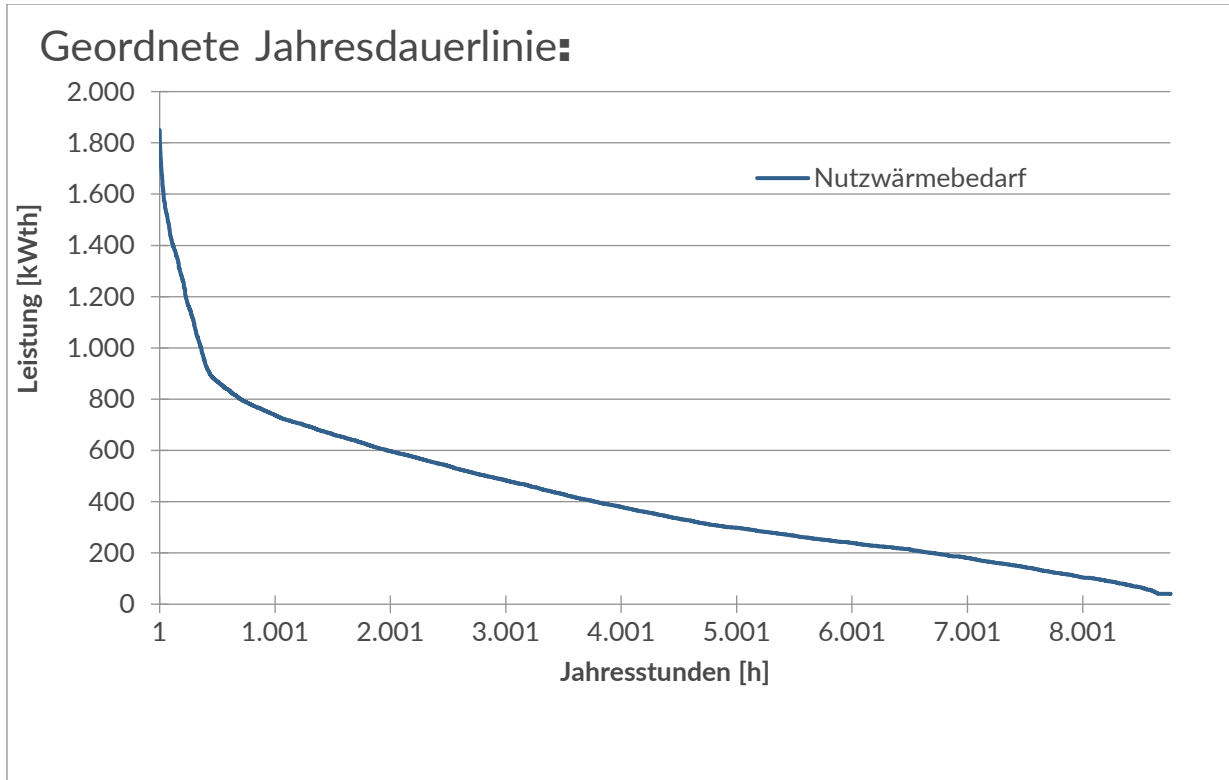


Abbildung 3-4: Darstellung des geordneten Wärmelastgangs

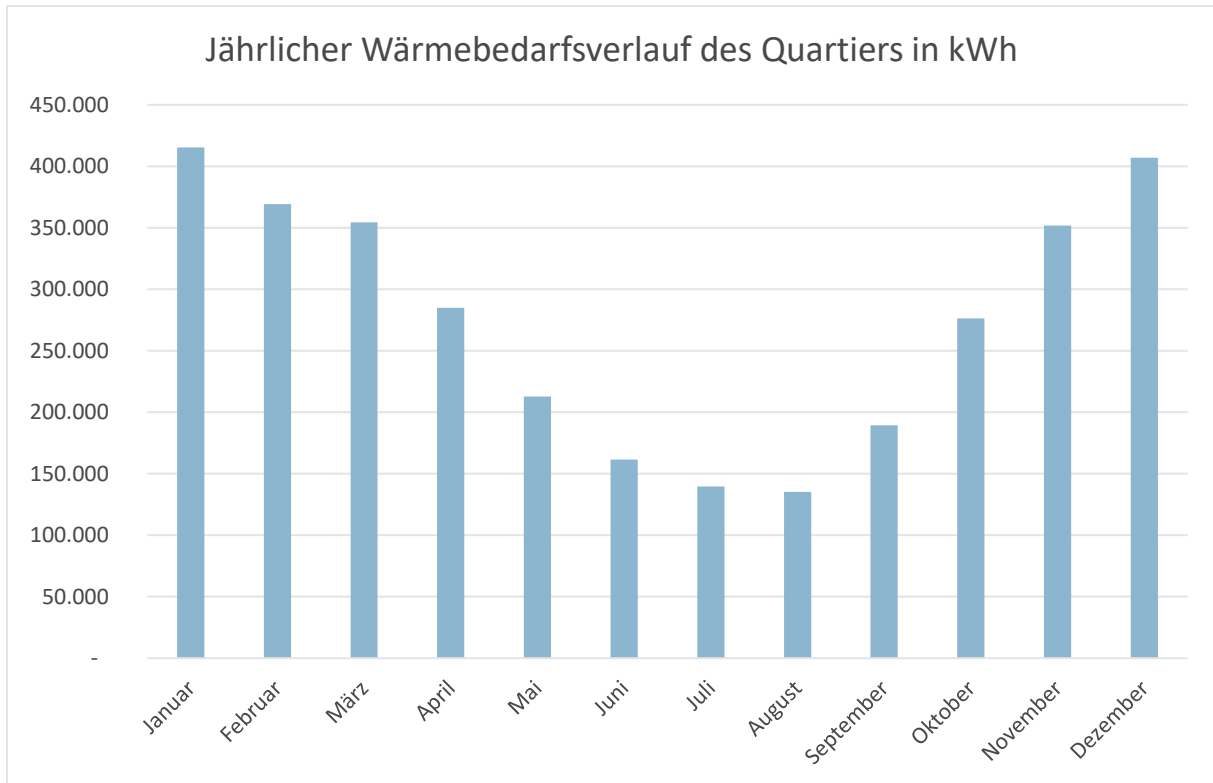


Abbildung 3-5: Darstellung des Jahresverlaufs des Wärmebedarfs

Im Folgenden ist der Tageslastgang dargestellt, beispielhaft für den Tag mit der höchsten Wärmebedarfsleistung, dem 17. Januar.

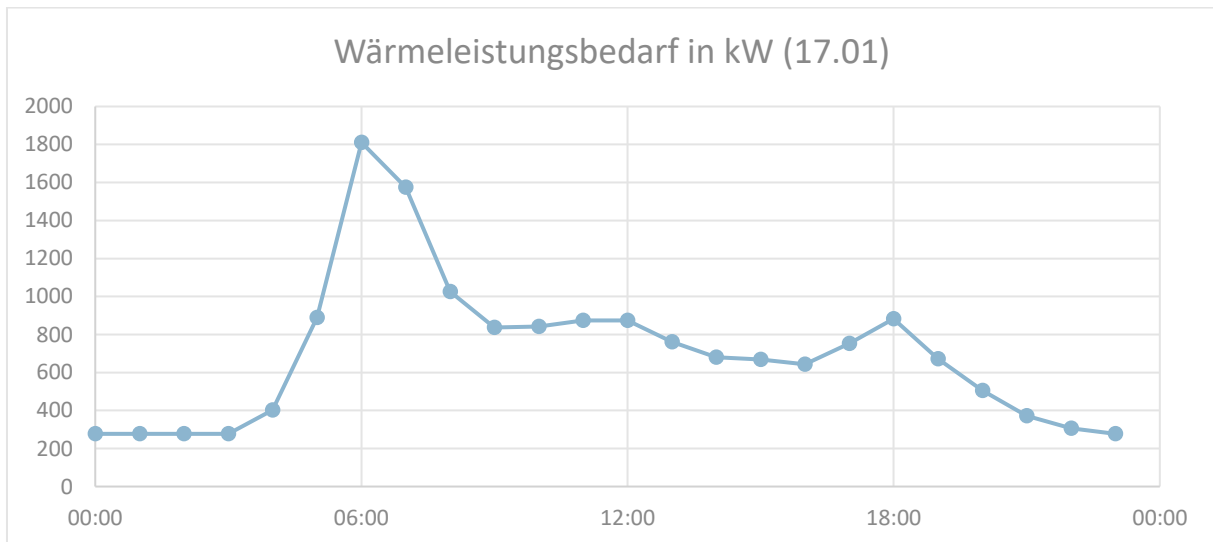


Abbildung 3-6: Darstellung des Jahresverlaufs des Wärmebedarfs



### 3.2 Bedarfsanalyse Strom

Die Simulationsergebnisse des Strombedarfs werden analog zum Wärmebedarf anhand der Nutzungsarten simuliert und sind unabhängig davon, ob es sich um Neubauten oder Bestandsgebäude handelt. Unter Berücksichtigung umfangreicher Energieeinsparmaßnahmen im Bestand wird hierbei von einem gleichen Bedarf ausgegangen. Dies setzt eine Erneuerung der Bestands-Strominfrastruktur inkl. elektrischer Geräte voraus.

Der Strombedarf wird als Haushaltsstrombedarf und E-Mobilitätsbedarf bilanziert, d.h. in diesen Bedarfen ist evtl. benötigter Strom für Wärmepumpen nicht enthalten. Dieser Wärmepumpenstrombedarf wird separat in den einzelnen Wärmeversorgungsvarianten betrachtet. Die Bedarfe werden analog zu den Wärmebedarfen mit einem spezifischen Strombedarf abhängig von der Gebäudetypologie und -nutzung und der genutzten Fläche bestimmt. Die spezifischen Bedarfe basieren hierbei auf Mittelwerten von verschiedenen Teilenergiekennwerten nach z.B. Institut für Wohnen und Umwelt (IWU).

Der Gesamtstrombedarf basiert auf dem Haushaltsstrombedarf der jeweiligen Gebäude und dem prognostizierten E-Mobilitätsstrombedarf im Jahr 2030.

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse für den Strombedarf dargestellt.

Tabelle 9: Übersicht der Simulationsergebnisse Strombedarf

<b>Nutzungsart</b> <b>Bestandsgebäude</b>	<b>Spez. Strombedarf in kWh/(m<sup>2</sup>*a)</b>	<b>Summe Jahresstrombedarf in kWh/a</b>
Wohnen	22	1.650.000
Gemeinschaftsräume	22	41.250
Fachhochschule	28	298.200
Büro	26	768.300
Gewerbe	58	252.300
Kreativwirtschaft	58	321.900
Gesundheit & Soziales	36	210.600
Gastronomie	49	77.175
Einzelhandel	58	191.400
Summe	-	3.811.125

**Für den Haushaltsstrombedarf ergibt sich somit eine Summe von 3.811.125 kWh/a.**

Für den Strombedarf der E-Mobilität wird sich auf die voraussichtliche Ladeinfrastruktur anhand der Stellplätze des Mobilitätskonzepts bezogen. Hierbei soll jeder Stellplatz der Wohngebäude mit einem

Stromanschluss ausgestattet sein. Bei einer E-Mobilitätsdichte von 100 % ergeben sich somit 1.000 Stellplätze bzw. E-PKW. Unter Betrachtung der Ladezyklen werden einige Bewohner außerhalb des Quartiers laden. Gleiches gilt für die übrige Nutzung, welche sowohl innerhalb als auch außerhalb des Quartiers laden, jedoch nie vollständig in einem Bereich.

Aus diesem Grund werden für den Strombedarf der E-Mobilität zunächst nur die 1.000 Fahrzeuge der Bewohner innerhalb des Quartiers betrachtet. Die Verteilung an BEV und PHEV basiert auf der Studie „Nationale Plattform Zukunft der E-Mobilität“ (NPM).

Tabelle 10: Übersicht des Strombedarfs

<b>Fahrzeugtyp</b>	<b>Anzahl / Prognose 2030</b>	<b>Verbrauch in kWh/a je KFZ</b>	<b>Summe Verbrauch in kWh/a</b>
BEV (batteriebetriebenes Elektrofahrzeug)	689	2.625	1.809.473
PHEV (Plug-in-Hybrid)	311	875	271.842
Summe	1.000	-	2.081.316

Für das Jahr 2030 ergibt sich ein E-Mobilitätsstrombedarf von 2.081.316 kWh/a, ein Haushaltsstrombedarf von 3.811.125 kWh/a und eine Summe von 5.892.441 kWh/a.

Es wird angenommen, dass sich der Strombedarf für E-Mobilität ab dem Jahr 2030 nicht weiter signifikant erhöht, aufgrund alternativer Mobilitätsoptionen, wie elektrische Kleinstfahrzeuge, welche einen geringeren spezifischen Strombedarf aufweisen und durch den vermehrten Einsatz von CarSharing.

Im Folgenden ist der Jahresverlauf des Strombedarfs, der zeitliche Verlauf der Stromerzeugung und des Strombedarfs und die Zusammenfassung der Bedarfsanalyse dargestellt.

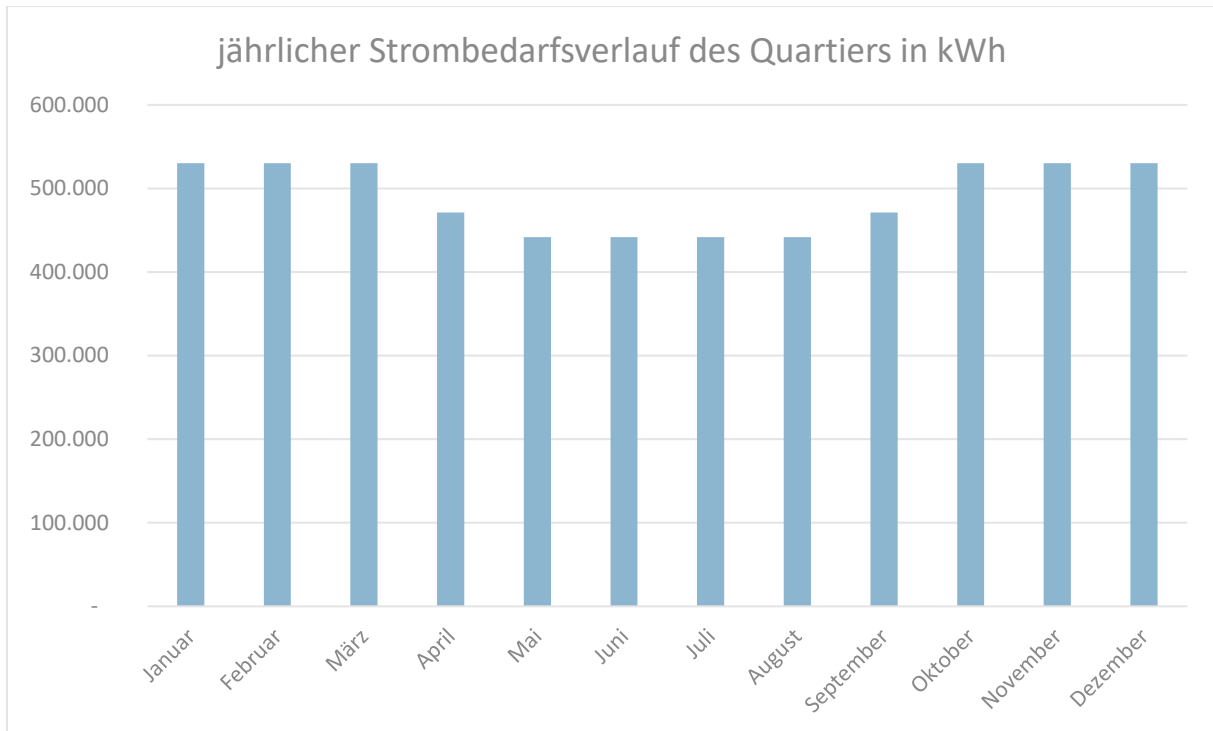


Abbildung 3-7: Jährlicher Strombedarfsverlauf

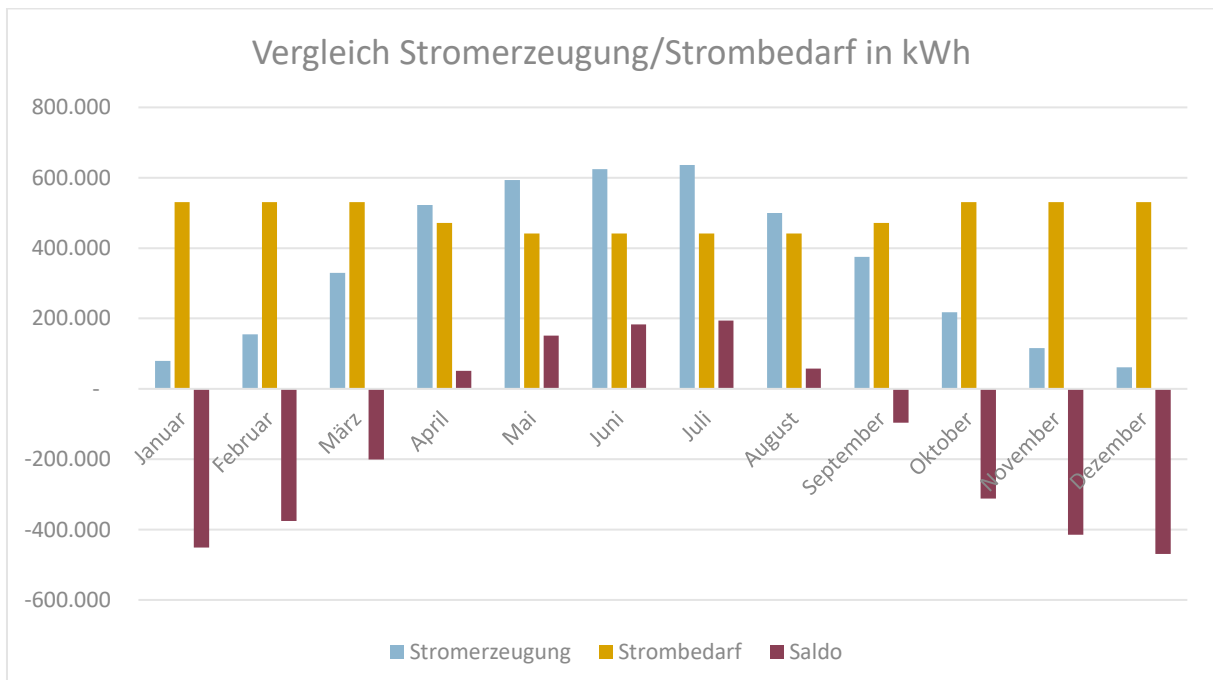


Abbildung 3-8: Vergleich Stromerzeugung zu Strombedarf im Quartier



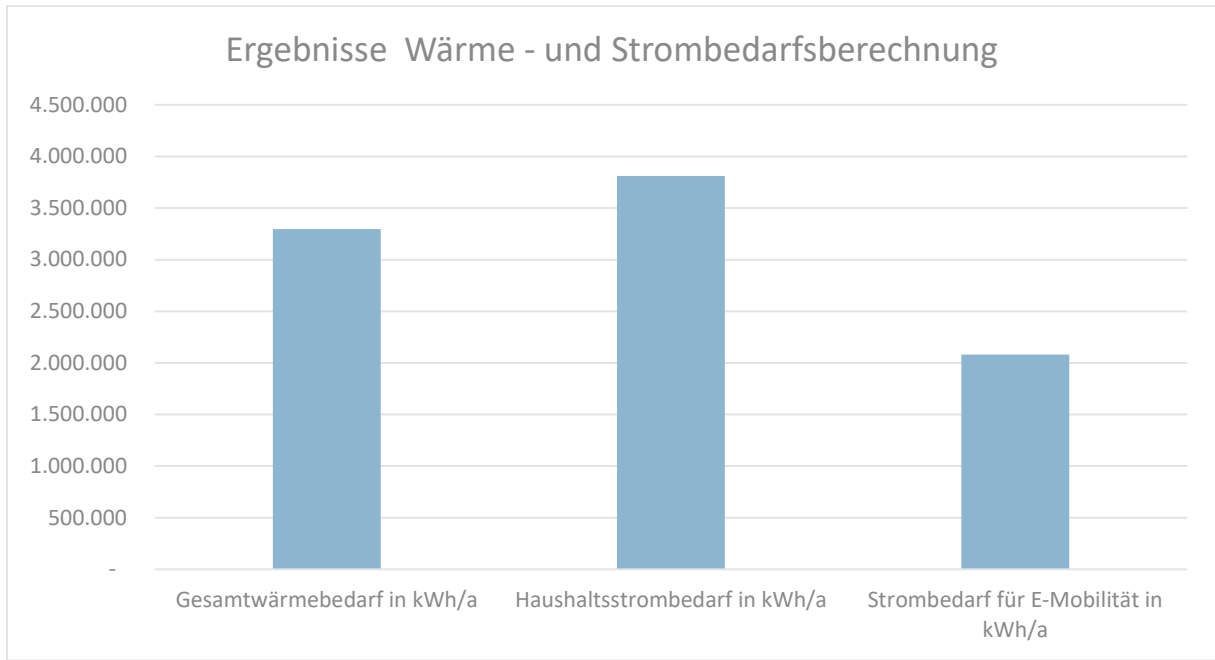


Abbildung 3-9: Zusammenfassung der Bedarfsanalyseergebnisse

Im Folgenden wird der Leistungsbedarf des Quartiers zusammengefasst. Dabei wurden für die Vollbenutzungsstunden die genannten Werte verwendet. Die Vollbenutzungsstunden ermöglichen eine Auslegung des Jahresbedarfs in kWh/a in einen Leistungsbedarf in kW. Diese beruhen auf Erfahrungen und Abstimmungen mit Stadtwerken aus vergleichbaren Neubaugebieten.

Tabelle 11: Stromleistungsbedarfe Haushaltsstrom

<b>Nutzungsart Bestandsgebäude</b>	<b>Summe Jahresstrombedarf in kWh/a</b>	<b>Vollbenutzungsstunden in h/a</b>	<b>Leistungsbedarf in kW</b>
Wohnen	1.650.000	700	2.357
Gemeinschaftsräume	41.250	1.400	29
Fachhochschule	298.200	1.600	186
Büro	768.300	1.600	480
Gewerbe	252.300	1.600	157
Kreativwirtschaft	321.900	1.600	201
Gesundheit & Soziales	210.600	800	263
Gastronomie	77.175	1.400	55
Einzelhandel	191.400	1.400	137
Summe	3.811.125	-	3.867

Tabelle 12: Stromleistungsbedarfe E-Mobilität

<b>Art der E-Mobilität</b>	<b>Anzahl KFZ</b>	<b>Ladeleistung je Stellplatz in kW</b>	<b>Gleichzeitigkeit der Nutzung</b>	<b>Leistungsbedarf in kW</b>
BEV	689	11	15 %	1.137
PHEV	311	11	10 %	342
Summe	1.000	-	-	1.479

In Summe ergibt sich damit ein Spitzenlastbedarf für das Gesamtquartier von 5.346 kW.

### 3.3 Ausarbeitung und Darstellung der Versorgungsvarianten

Im Folgenden werden die Versorgungsvarianten für das untersuchte Quartier dargestellt. Die Varianten 1 bis 3 sind zentrale Versorgungsvarianten, bei denen ein Verteilnetz Wärme aus einer zentralen Wärmequelle an die Anschlussobjekte liefert. Variante 4 ist eine dezentrale Versorgungsvariante. Bei allen Varianten werden die Dachflächen für Photovoltaik verwendet. Eine Betrachtung der Abwasserwärmenutzung wird aus mehreren Gründen nicht betrachtet. Zwar kann sich eine solche Versorgung in einem großen Versorgungsgebiet lohnen, welches im aktuellen Versorgungskonzept aufgrund der Größe zunächst eine Option darstellte. Allerdings gehen mit der Nutzung von Abwasserwärme zahlreiche Nachteile einher. Zum einen fallen neben der hohen Investition weitere Kosten auf Seiten des Wasserverbandes an, wenn das Abwasser durch den Wärmeentzug heruntergekühlt wird. Des Weiteren ist eine reine Versorgung über Abwasserwärme kaum darstellbar. Es würden weitere Wärmeerzeuger benötigt werden. Insgesamt ist der Kosten-Nutzen-Faktor eines solchen Vorhabens im Vergleich zu den anderen Varianten zum aktuellen Zeitpunkt zu gering.

- Variante 1: Holzhackschnitzelkessel + Biomethan-Spitzenlastkessel
- Variante 2: Kaltes Netz mit Erdwärmesonden
- Variante 3: Kaltes Netz mit Eisspeicher
- Variante 4: dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen

die benötigten Flächenbedarfe für Heizzentrale/Technikzentrale und gegebenenfalls benötigte Wärmespeicher sind in Kap. 3.3.11 aufgeführt.

#### 3.3.1 Variante 1 Holzhackschnitzel + Spitzenlastkessel

##### Wärmequelle Holzhackschnitzel

Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeerzeugung durch einen Holzhackschnitzelkessel (HHS), der um einen Biomethan-Spitzenlastkessel (SLK) erweitert wird. Beide Kessel werden in einer Heizzentrale untergebracht, die zusätzliche Komponenten wie einen Warmwasserspeicher mit 100 m<sup>3</sup>, Druckhaltung, Brennstoffbevorratung und Steuerungstechnik umfasst. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz mit einem Vorlauf- und Rücklauftemperaturen von 65°/40°. In dieser Variante würde die Wärmeversorgung vollständig von außen erfolgen.

#### 3.3.2 Variante 2 Kaltes Netz mit Erdwärmesonden

##### Wärmequelle Umweltwärme aus Geothermie

In Variante 2 wird die Wärmeversorgung durch ein kaltes Nahwärmenetz (KN) mit einer zentralen Wärmeeinspeisung untersucht. Die Wärmeverteilung findet hierbei auf einem Temperaturniveau von 10° bis 25 ° statt.

Um die Wärmebedarfsdeckung durch diese Umweltwärme zu ermöglichen, werden Erdwärmesondenfelder (EWS) benötigt. Diese Erdsondenfelder werden mit einer Sole-Flüssigkeit durchströmt, die anschließend über das kalte Nahwärmenetz an die Hausanschlüsse verteilt wird. An jedem Gebäudeblock sind Sole-Wasser-Wärmepumpen installiert, die diese Umweltwärme nutzen, um das Warmwasser auf das benötigte Temperaturniveau zu erwärmen. Durch dieses Verfahren sind im Vergleich zur Luft-Wasser-Wärmepumpe höhere Jahresarbeitszahlen von teilweise über 5 möglich.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) beschreibt das Verhältnis des Jahreswärmeertrags zur eingesetzten Antriebsenergie in Form von Strom. Hierbei wird somit die Gesamteffizienz inkl. eingesetzter



Hilfsenergie erfasst. Diese Kennwerte sind höher, je geringer der Temperaturunterschied zwischen der Wärmequelle und dem Wärmeverbraucher ist. Im Jahresmittel ist diese Differenz durch u.a. konstantere Temperaturen bei z.B. Erdwärmenutzung am besten. Das bedeutet, dass die JAZ für Geothermie mit um die 5 deutlich höher sind als welche für Luft-Wasserwärmepumpen im Bereich unter 3.

Hierbei muss zudem zwischen Bestand und Neubau unterschieden werden. Die jeweiligen angenommenen Werte je Gebäudetyp und Versorgungsvariante werden in den einzigen Varianten dargestellt.

Wichtig dafür sind insbesondere passende Auslegungen. Für diese Untersuchung wird aufgrund der unterschiedlich benötigten Vorlauftemperaturniveaus für die Jahresarbeitszahl ein Wert von 4,7 angenommen. In dieser Variante würde die Wärmeversorgung vollständig im Quartier erfolgen.

Im Folgenden ist ein möglicher Aufbau für Variante 2 schematisch dargestellt. Hierbei werden mehrere PV-Anlagen in Abhängigkeit des Nutzungsverhaltens betrachtet. In der Ortsnetzstation wird der Strom des Strommixes genutzt, welcher zukünftig aus einem großen Teil Ökostrom bestehen soll. Des Weiteren kann aus Netzbetreibersicht durch zentrale PV-Anlagen z.B. auf dem Dach der Heizzentrale ein Teil der benötigten Energie gedeckt werden. Die PV-Anlage auf Endkundensicht ist eine dezentrale Anlage, welche je nach Wunsch des Gebäudeeigentümers auf dem hauseigenen Dach installiert wird.

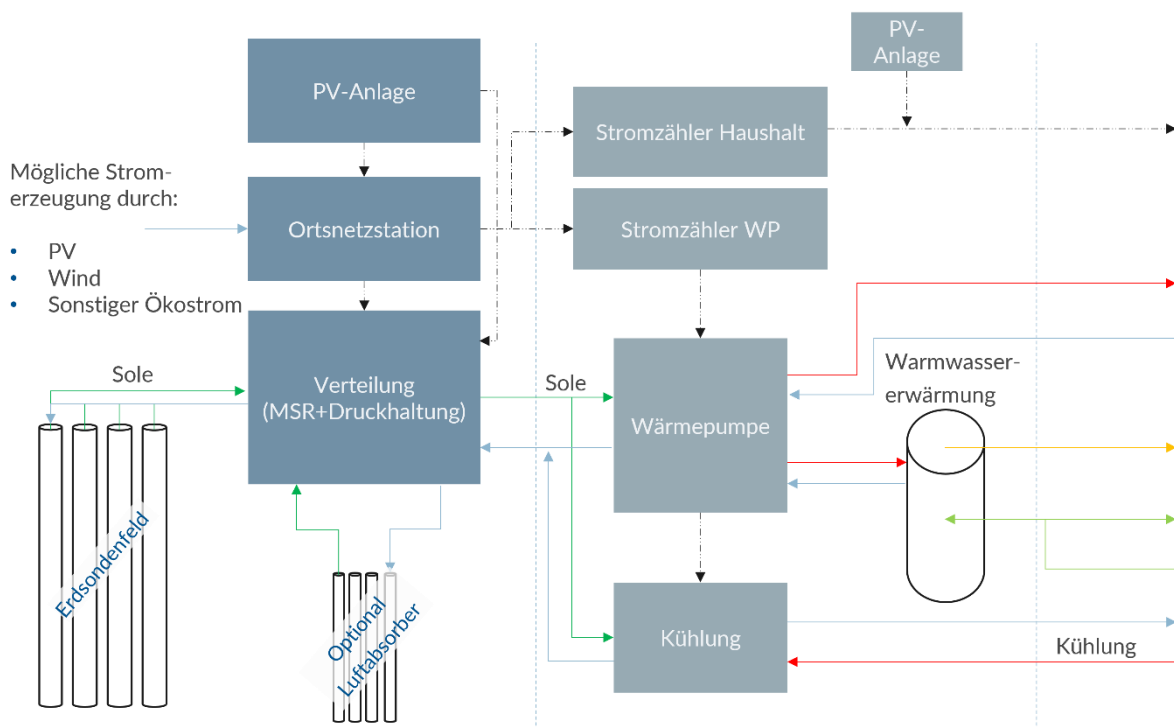


Abbildung 3-10: Schematische Darstellung der Versorgungsvariante 2

### 3.3.3 Variante 3 Kaltes Netz mit Eisspeicher

#### Wärmequelle Umweltwärme aus Eisspeicher

Die Variante 3 sieht vor, dass die Gebäude über eine Sole-/Wasserwärmepumpe mit Wärme aus Eisspeichern (ES) versorgt wird. Wie auch in Variante 2 handelt es sich dabei um ein kaltes Nahwärmenetz mit zentraler Wärmeeinspeisung. Hierbei dient ein im Erdreich befindlicher Eisspeicher als Wärmequelle. Der Eisspeicher besteht aus einer Zisterne mit einem Volumen bis 1.500m<sup>3</sup>, zumeist

aus Beton, die im Erdboden eingelassen wird. Durch das niedrige Temperaturniveau kann auf eine Dämmung verzichtet werden. Innerhalb der Zisterne verlaufen Soleleitungen, die die Wärmeübertragung gewährleisten. Als Wärmespeichermedium wird Wasser eingesetzt. Während des Betriebs wird dem flüssigen Wasser über die Soleleitung Energie entzogen und abgekühlt. Die von der Sole aufgenommene Energie wird von der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser genutzt.

Durch den Energieentzug kühlt das Wasser innerhalb der Zisterne ab, bis es gefriert. Der weitere Energieentzug erfolgt isotherm (= konstantes Temperaturniveau). Über die Heizperiode gefriert nach und nach das Wasser innerhalb der Zisterne. Der Vorgang wird durch die fehlende Dämmung und den dadurch auftretenden Wärmeeintrag aus der umliegenden Erde verlangsamt. Außerhalb der Heizperiode, wenn lediglich Warmwasser bereitgestellt werden muss, können sogenannte Solar-Luft-Absorber als Wärmequelle genutzt werden. Diese nutzen sowohl die direkte Sonnenstrahlung wie auch die Wärme aus der Umgebungsluft. Übersteigt die zur Verfügung stehende Wärme den aktuellen Bedarf wird die überschüssige Energie genutzt, um den Eisspeicher zu regenerieren. Die Solar-Luft-Absorber können mit angepassten Aufständern unterhalb von PV-Modulen genutzt werden, sodass keine Konkurrenznutzung der Dachflächen entsteht. Selbst im Schatten der PV-Module wird ein moderater Wirkungsgrad erreicht, da in diesem Fall primär die Wärme hinter den PV-Modulen genutzt wird.

Solche Kombinationen sind beispielsweise als „Kraftdach<sup>4</sup>“ bekannt und können marktreif bezogen werden. Ebenfalls ist es möglich die Absorber an vertikalen Gebäudefassaden oder als „Energiezaun“ zu errichten. In der folgenden Abbildung ist ein solches Kraftdach dargestellt.



Abbildung 3-11: Beispiel Kraftdach (Metternich Haustechnik 2022)

Zudem kann die in der Zisterne vorherrschende Temperatur um den Gefrierpunkt genutzt werden, um im Sommer eine passive Gebäudekühlung zu ermöglichen.

Der Eisspeicher stellt gegenüber konventioneller Wärmeerzeugung zahlreiche Vorteile im Hinblick auf Umwelt und Wirtschaftlichkeit. Gegenüber Geothermianwendungen besteht der Vorteil, dass keine Genehmigungsverfahren nötig sind und die Nutzung unabhängig von den Rahmenbedingungen, wie z.B. der Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches erfolgen kann. Bei bestehenden Beschränkungen der Bohrtiefen durch Gewässerschutzgründen oder fehlendem Platzbedarf für Erdkollektoren, stellt der Eisspeicher eine sinnvolle Alternative dar. In dieser Variante würde die Wärmeversorgung vollständig von außen erfolgen.

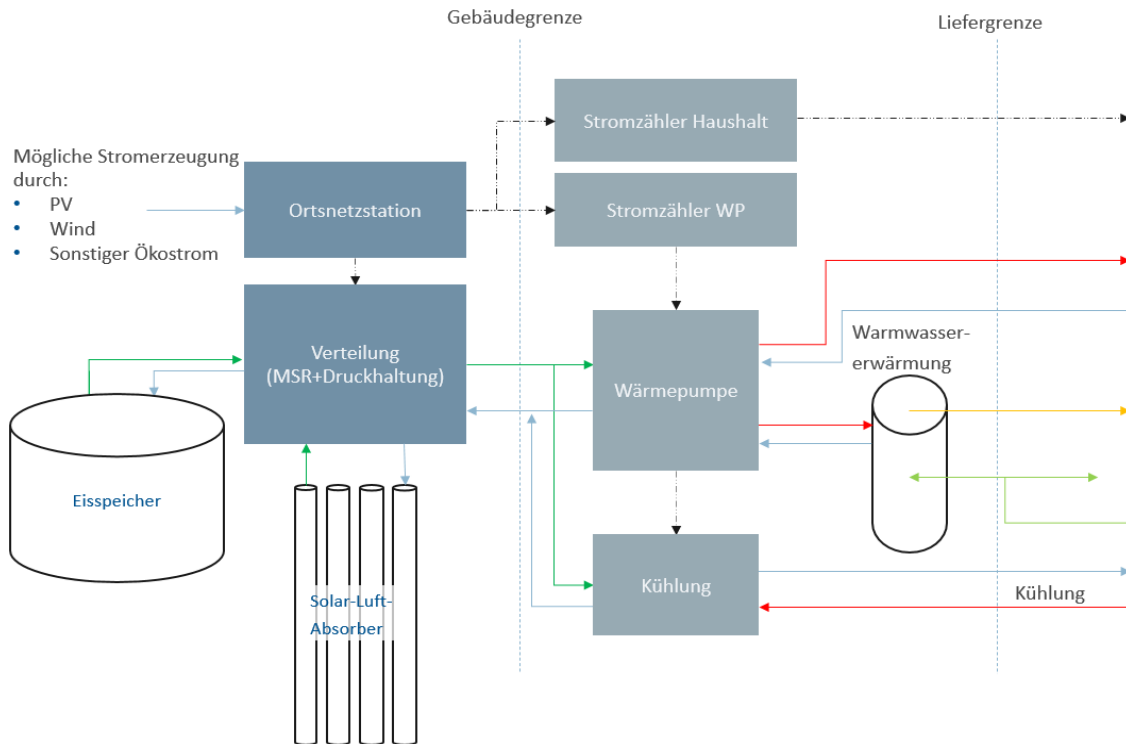


Abbildung 3-13: Schematische Darstellung der Versorgungsvariante 3

### 3.3.4 Variante 4 Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen

#### Wärmequelle Luft-Wasser-Wärmepumpe

In Variante 4 wird die Wärmeversorgung durch dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen (LWWP) untersucht. Eine Wärmepumpe hebt die natürliche Wärme in der Umgebung (hier: Umweltwärme aus der Luft) auf ein höheres Temperaturniveau. Sie nutzt dazu den Effekt, dass sich Gase unter Druck erwärmen. Wesentliche Komponenten umfassen die Wärmepumpe und den Anschluss an die hauseigene Wärmeverteilung. Relevant für den Stromverbrauch der Wärmebereitstellung ist die Jahresarbeitszahl. Diese liegt nach einer Untersuchung des Fraunhofer-Instituts in der Praxis bei Luft-Wasser-Wärmepumpen durchschnittlich bei 2,6 bis 2,8<sup>5</sup>. Für diese Untersuchung wird somit für die Jahresarbeitszahl ein Wert von 2,7 angenommen.

Diese Variante stellt im Bereich der dezentralen Wärmeversorgung den aktuellen modernen Standard dar.

Die Luft-Wasser-Wärmepumpen werden für die einzelnen Baublöcke dezentral ausgeführt. Dabei können zur Erhöhung der Versorgungssicherheit die Anlagen kaskadierend ausgelegt werden. Bei Außenaufstellung ist darauf zu achten, dass die ausgestoßene Luft stark heruntergekühlt wird, sodass ein Mindestabstand von 3 m gegenüber Gebäuden und Terrassen einzuhalten ist. Lärmmissionen der Wärmepumpen sind von der installierten Wärmepumpe und dem Aufstellungsort abhängig. Grundsätzlich erzeugen Wärmepumpen jedoch Geräusche, welche nicht vollständig vermieden werden können.

<sup>5</sup> Fraunhofer IBP (2017)

In dieser Variante würde die Wärmeversorgung vollständig im Quartier erfolgen.

### 3.3.5 Geothermie

Ein Merkmal zur Bestimmung der Eignung des Bodens ist dessen durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit, die die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden beeinflusst.

Auf Basis von Daten des Geologischen Dienstes NRW kann bei Tiefen bis 100 Metern von einer Entzugsleistung von ca. 75 kWh/(m\*a) ausgegangen werden, siehe folgende Abbildung. Nach Sicherheitspuffer verbleiben etwa 60kWh/(m\*a).



Abbildung 3-14: Karte der geothermischen Ergiebigkeit (auf Basis des geologischen Dienst NRW)

Die Bewertung der durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit des Bodens ersetzt keine detaillierte Standortbeurteilung, die im Falle konkreter Umsetzungsplanungen durch einen sog. Thermal-Response-Test zusätzlich erfolgen muss. Die vorläufige Auslegung wurde auf Basis der Abb. 3-14 mit 100m tiefen Erdsonden durchgeführt, da zu diesen Tiefen verlässliche Daten vorliegen. Grundsätzlich ist auch der Einsatz von Tiefengeothermie mit Sondenlängen von über 1.000 Metern denkbar. Allerdings liegen dazu keine Daten, z.B. in Form von nahegelegenen vergleichbaren Bohrungen, vor. Desweiteren ist die Nutzung der passiven Kühlung bei Tiefengeothermie nicht umsetzbar. Aufgrund dieser Faktoren wird für das vorliegende Energieversorgungskonzept mit Sondenlängen von 100 m gerechnet.

Das Geothermiesondenfeld kann grundsätzlich überbaut werden, solange eine ausreichende Überdeckung gewährleistet wird. In der Praxis liegt diese Überdeckung bei 80 bis 120 cm. Eine Bepflanzung mit Flachwurzlern oder Nutzung als Parkplätze, Spielplätze etc. ist möglich. Grundsätzlich ist auch eine Bebauung der Flächen möglich, allerdings sollte auf die Zugänglichkeit der Geothermiesonden geachtet werden. Um nicht-zugängliche Geothermiesonden im Bedarfsfall abzusperrern, sollten diese mit einer Absperrarmatur ausgestattet werden. So kann ein Betrieb der sonstigen Sonden weiterhin ermöglicht werden. Auf Bepflanzungen mit Herz- und Tiefwurzlern sollte aus gewährleistungstechnischen Gründen verzichtet werden.





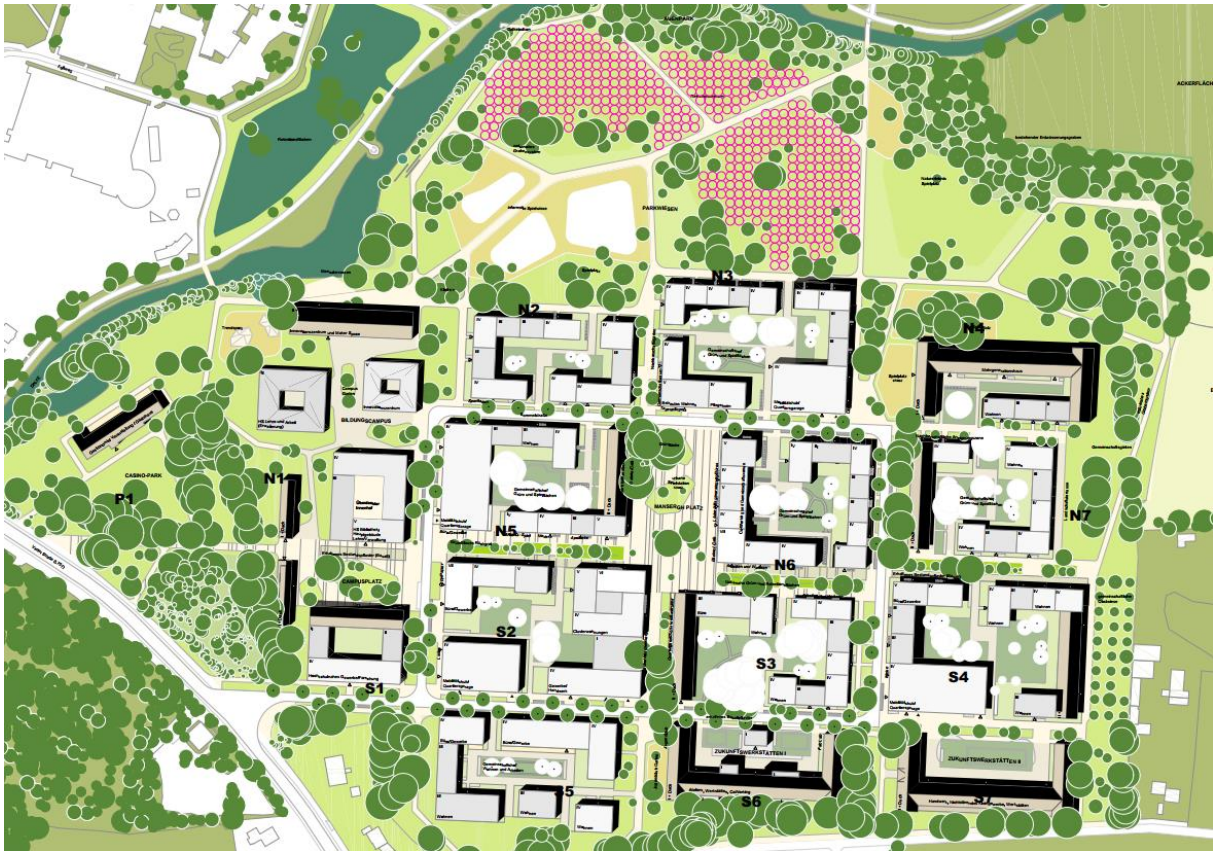


Abbildung 3-16: Mögliche Positionierung Erdwärmesondenfelder im Norden des Quartiers

### 3.3.6 Verteilnetz

Das Nahwärmenetz für Variante 1 wird aus gedämmten PEX-Rohren verlegt. Um die Tiefbau-Investitionskosten zu senken, wird das Netz bei Erschließung der sonstigen Versorgungsgewerke (u.a. Strom, Wasser) mitverlegt. Die Wärmeverteilung im Netz ist auf Temperaturen von 65°/40° ausgelegt und hat eine Gesamtlänge von ca. 2.573 m. Alternativ kann ein Nahwärmenetz aus KMR-Rohren verlegt werden. Diese sind teurer und aufwändiger im Verbau, bieten dafür den Vorteil der Langlebigkeit bei hohen Temperaturniveaus. Aufgrund des für ein Nahwärmenetz geringen Temperaturniveaus kommt die Langlebigkeit des KMR-Netztes bei hohen Temperaturniveaus nicht zum Tragen, sodass hier der Einsatz von PEX-Rohren vorteilhaft ist. Der Wärmeverlust liegt bei 69 kW bzw. 608 MWh/a

Teil des Netzes sind Übergabestationen an jedem Hausanschluss, die die Netzversorgung hydraulisch von der Wärmeabnehmerseite trennt.

Abweichend dazu wird das Verteilnetz für Variante 2 und 3 als Kaltes Nahwärmenetz aus ungedämmten PE-Rohren mit Temperaturen von 10° bis 25° betrieben.

Nachfolgend wird ein möglicher Verlauf des Verteilnetzes dargestellt inkl. einer potenziellen Verortung der Heizzentrale. Diese müsste je nach Versorgungsart und Wärmequelle versetzt werden. Um eine möglichst lange Verteilleitung der Erdwärmesondenfelder aus Variante 2 zu vermeiden könnte hier die Heizzentrale weiter im Norden verortet werden. Dies könnte eine Modifikation im Verteilnetz mit sich ziehen. Vorläufig wird folgende Netzstruktur angenommen. Die Größe der Heizzentrale ist in dieser Abbildung nicht maßstäblich, die tatsächlichen Flächenbedarfe sind in Kap. 3.3.11 aufgeführt.

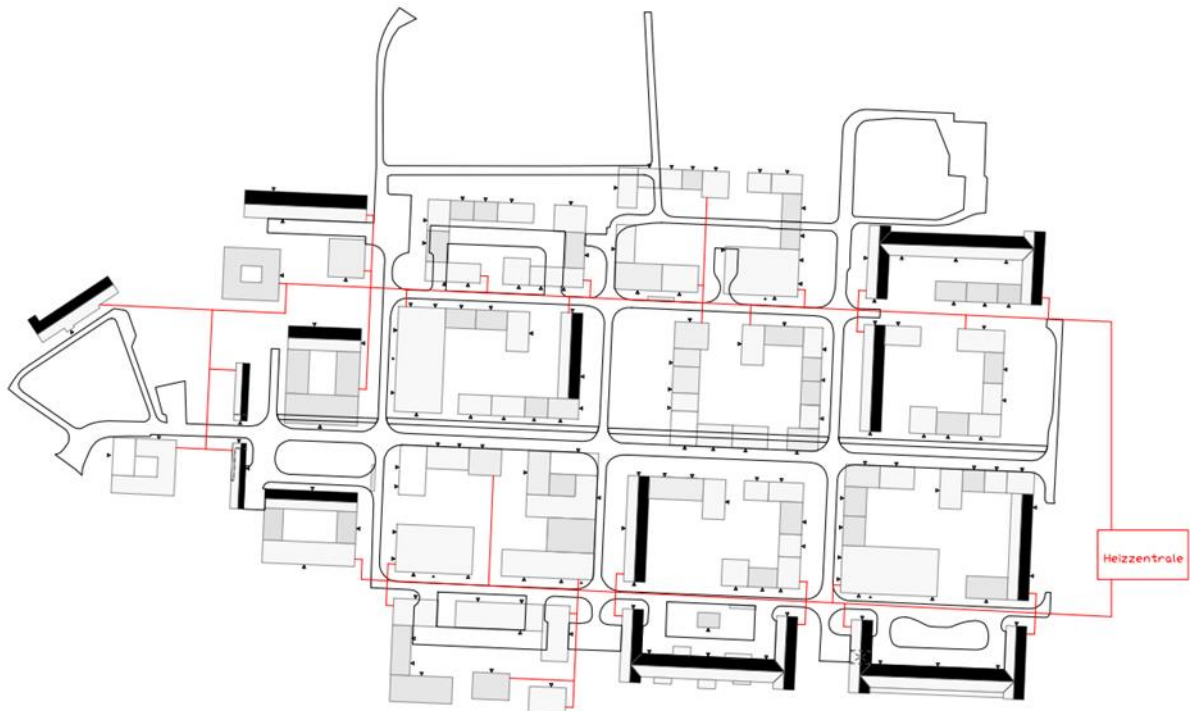


Abbildung 3-17: Potenzielles Verteilnetz inkl. Verortung Heizzentrale

### 3.3.7 Fernwärme-Contracting

Im Umfeld des Mansergh-Quartiers gibt es Bestandsfernwärmenetze, siehe nachfolgende Abbildung. Grundsätzlich wäre technisch die Einbindung von Bestandsnetzen möglich, z. B. über eine Contracting-Lösung. Da die Bestandsfernwärmenetze allerdings im Wesentlichen auf der Wärmeerzeugung durch Erdgas basieren, ist eine solche Einbindung in das Quartier nicht gewünscht, da dies entsprechend negative Effekte auf die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung des Quartiers hätte. In 2 km Entfernung (Luftlinie) betreibt ein Hersteller von Holzwerkstoffen ein Biomassekraftwerk, bei dem auf niedrigem Temperaturniveau Wärmeüberschüsse anfallen. Aufgrund der Entfernung und der damit entstehenden Tief- und Rohrbaukosten ist eine Einbindung entsprechend aufwändig. Zusätzlich würden bei der Wärmeverteilung Wärmeverluste auftreten. Dementsprechend wird diese Einbindung nicht weiter untersucht.





Abbildung 3-18: Bestandsfernwärmenetze

### 3.3.8 Einbindung Wasserstoff

Alternativ zu den vorgestellten Energieversorgungskonzepten ist die Einbindung des sogenannten Picea-Systems von HPS (homepowersolution) möglich. Dieses System umfasst:

- Elektrolyseur
- Brennstoffzelle
- Wasserstoffspeicher + Stromspeicher

Diese Kombination ermöglicht die Kurz- und Langzeitspeicherung von PV-Überschussstrom mittels Wasserstoffumwandlung (P2G). Im Bedarfsfall wird Wasserstoff durch die Brennstoffzelle in Wärme und Strom umgewandelt, sodass die damit ausgestatteten Wärmeabnehmer bei passender Auslegung eine tatsächliche Strom- und Wärmeautarkie erreichen können. Dieses System ist auf Basis der aktuellen Investitionskosten zum aktuellen Zeitpunkt nicht wirtschaftlich konkurrenzfähig zu den betrachteten Versorgungsvarianten, sodass dieses System zum aktuellen Stand nur für Investoren und Bauherren relevant ist, wenn das Kriterium der Autarkie die Wirtschaftlichkeit überwiegt. Somit wird dies im vorliegenden Energieversorgungskonzept nicht weiter betrachtet.

### 3.3.9 Photovoltaik

Dachflächen besitzen ein erhebliches energetisches Potential zur Nutzung von Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung. Für die Dachflächen ist die Nutzung von Photovoltaik vorgesehen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden zwei unterschiedliche Varianten für die Nutzung der Dächer mit Photovoltaik untersucht. Im ersten Szenario werden die Dachflächen aller sinnvoll nutzbaren Gebäudetypen mit etwa 60% Photovoltaik belegt. Im zweiten Szenario werden diese Photovoltaikkollektoren um dezentrale Stromspeicher ergänzt.

Die Änderung der Lage des Innovationszentrums haben keine Auswirkungen auf die Ermittlung des Photovoltaikpotentials, sodass auf diese Änderungen nicht weiter eingegangen wird.

Im ersten Arbeitsschritt werden die Dachflächenpotentiale in den Kategorien „nicht geeignet“, „mittelmäßig geeignet“ und „gut geeignet“ ermittelt. Dabei werden insbesondere die Faktoren Geschossigkeit und Verschattung berücksichtigt.



Zusätzlich können Fassadenflächen für Photovoltaikanlagen genutzt werden. Fassaden-PV weisen jedoch bauartbedingt eine geringere Stromausbeute aufgrund geringerer Sonnenstunden auf. Für eine solche Nutzung sind Hochhäuser als Bebauungstyp ideal, da diese keine Verschattung durch Nachbargebäude erhalten. Dies ist im Quartier nicht gegeben, sodass die Verschattung durch Nachbargebäude und verringerte Sonnenstunden zu einem wesentlich verringerten Stromertrag führen würden. Der Einsatz von Fassaden-PV wird somit aufgrund der Struktur des Quartiers und dem Kosten-Nutzen-Faktor zur herkömmlichen PV-Nutzung nicht weitergehend untersucht.

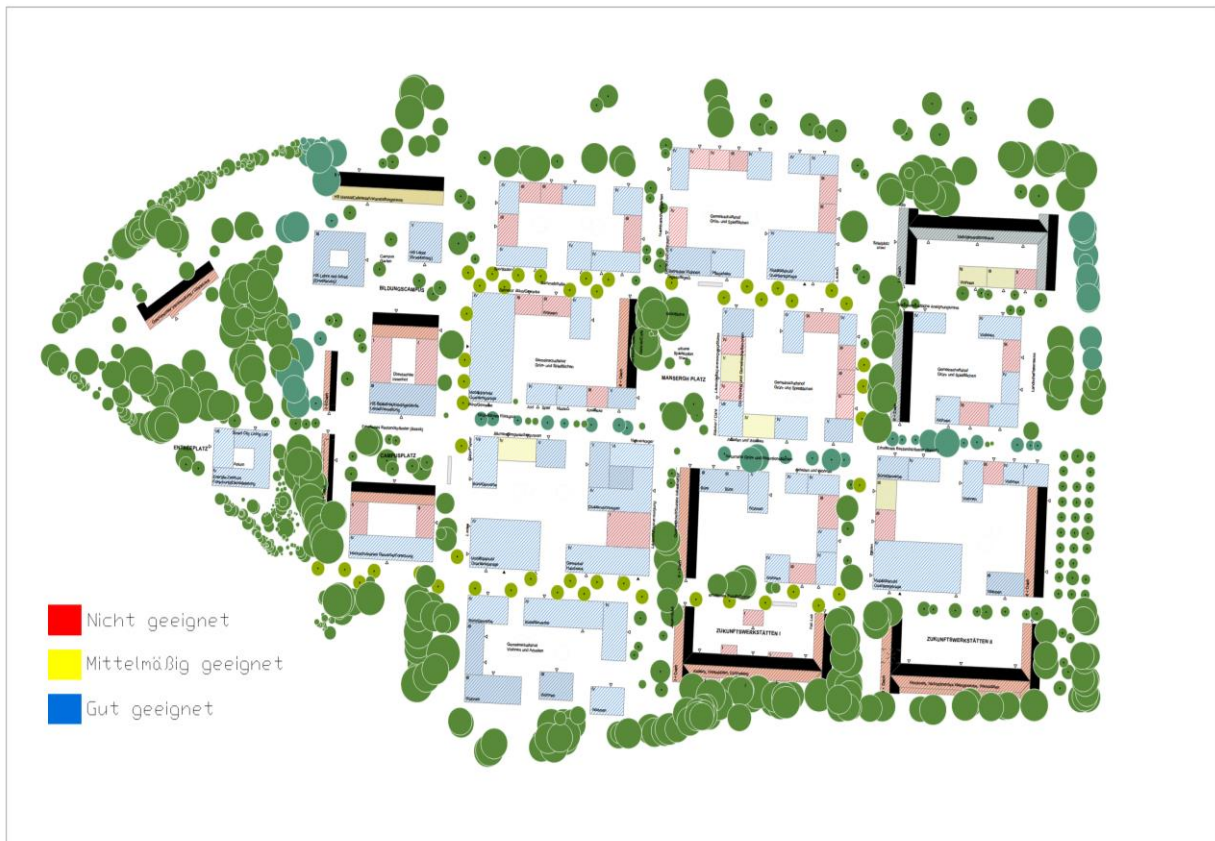


Abbildung 3-19: Dachflächenpotenziale

Es ergeben sich folgende Dachflächenpotenziale. Hierbei sollte in genaueren Untersuchungen der zukünftige Baumbestand dahingehend abgestimmt werden, dass es keine weitreichende Verschattung auf die PV-Anlagen gibt, um die maximale Stromausbeute zu ermöglichen.

Tabelle 13: Dachflächenpotential Photovoltaik

Bewertung	Dachfläche in m <sup>2</sup>	Anteil
Nicht geeignet	21.250	33 %
Mittelmäßig geeignet	3.467	6 %
Gut geeignet	39.281	61 %

Die gut geeigneten Dachflächen wurden in PV\*SOL premium 2022 modelliert und simuliert. Für diese Berechnungen wird angenommen, dass ein Mieterstrommodell verwendet wird, d.h. der als „Summe Eigenverbrauch“ ausgewiesene Anteil kann im Quartier lokal an Anschlussnehmer zur Verfügung gestellt werden und somit mit 32,5 ct/kWh abgerechnet werden. Der als Überschussstrom ins öffentliche Netz eingespeiste Strom wird nach dem EEG 2023 mit ca. 5,5 ct/kWh vergütet. Die Basis der angenommenen Kosten wird im nachfolgenden Kapitel 3.5.1 dargestellt.

Nach dem EEG 2023 soll es auch die Möglichkeit einer Volleinspeisung mit erhöhten Vergütungssätzen geben. Dabei fällt allerdings der Wert der Eigenstromnutzung weg, sodass in Summe das wirtschaftliche Ergebnis schlechter ausfällt. Somit wird für die Bewertung der PV-Anlage die Variante Mieterstrommodell verwendet.

Die Bilanzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt mit den dargestellten Werten für den deutschen Strommix und Verdrängungsstrom (aktuelle Werte). In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Berechnungen für das Gesamtquartier zusammengefasst dargestellt. Es zeigt sich, dass bei einer Nutzung von etwa 60 % der Dachflächen für Photovoltaik die Stromerzeugung (4.210.638 kWh/a) niedriger ausfällt als der Gesamtstrombedarf für E-Mobilität und Haushaltstrom (5.892.442 kWh/a). Der eingespeiste Strom in Höhe von 3.463.095 kWh sorgt für eine Verdrängung von konventionell erzeugtem Strom. Dies spiegelt sich in den Werten der CO<sub>2</sub>-Bilanz wider, welche mit ca. -453 t/a negativ ausfällt. Dies bedeutet, dass durch die PV-Anlagen Stromgestehungsemissionen in der entsprechenden Höhe vermieden werden. Hierbei ist zu beachten, dass in dieser Darstellung die Emissionen für den Mobilitätsstrom und die Wärmeleistung noch nicht berücksichtigt sind. Diese werden im Kapitel 0 mit bilanziert. In der Variante mit Stromspeicher wird eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz in Höhe von 361 t erreicht.

Nachfolgend ist das Wirtschaftlichkeitsergebnis der Mieterstromvariante beschrieben. Hierbei werden auf Basis der Auslegung der Anlagenkomponenten zunächst die jeweiligen Strom-Input und -Output Werte dargestellt. Nachfolgend ergeben sich die Investitionskosten und Amortisationsdauern der beiden Varianten. Hierbei wird deutlich, dass beide PV-Varianten eine ähnliche Amortisationsdauer mit 12,5 bzw. 12,6 aufweisen. D.h. die höheren Investitionskosten mit Speicher werden durch den erhöhten Eigenverbrauchsanteil annähernd kompensiert. Ohne Speicher liegen die Kosten bei rund 6,2 Mio. € und inkl. Batteriespeicher bei ca. 7,1 Mio. €. Die Amortisationsdauer der Volleinspeisenden Variante 1 ohne Speicher weist eine höhere Amortisationsdauer auf als in zuvor beschriebenen Fällen. Diese liegt bei rund 15,3 Jahren bei einer Investition von 6,2 Mio. €.

Tabelle 14: Zusammenfassung der PV-Ergebnisse, Teil 1

<b>PV-Auslegung</b>	<b>Summe PV-Leistung in kW<sub>p</sub></b>	<b>Summe Batterie-speicher in kWh</b>	<b>Summe PV-Strom-erzeugung in kWh/a</b>	<b>Summe Gesamt-strombedarf in kWh/a</b>	<b>Summe Eigen-verbrauch in kWh/a</b>	<b>Summe Strom-netzbezug in kWh/a</b>
PV ohne Batterie-speicher	4.285	--	4.210.638	5.892.442	747.543	5.144.899
PV mit Batterie-speicher	4.285	1.650	4.210.638	5.892.442	1.128.790	4.763.652

Tabelle 15: Zusammenfassung der PV-Ergebnisse, Teil 2

Gebäudetyp	Summe Netzeinspeisung in kWh/a	Nettonetzeinspeisung in kWh/a (Summe Netzeinspeisung abzgl. Summe Stromnetzbezug)	Durchschn. Eigenverbrauchsanteil in %	Durchschn. Autarkiegrad in %
PV ohne Batteriespeicher	3.463.095	-1.681.804	18	27
PV mit Batteriespeicher	3.081.848	-1.681.804	27	59

Tabelle 16: Zusammenfassung der PV-Ergebnisse, Teil 3

Gebäudetyp	Investition in €	Durchschnittliche Kapitalrendite in %	Durchschn. Amortisationsdauer in a	Durchschn. Stromgestehungskosten in ct/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsbilanz in t/a
PV ohne Batteriespeicher	6.213.540	6,0	12,5	8,3	-452,7
PV mit Batteriespeicher	7.121.040	5,9	12,6	10,2	-361,2

Nachfolgend ist der zeitliche Verlauf der Stromerzeugung, des Strombedarfes und des entstehenden Saldos dargestellt.

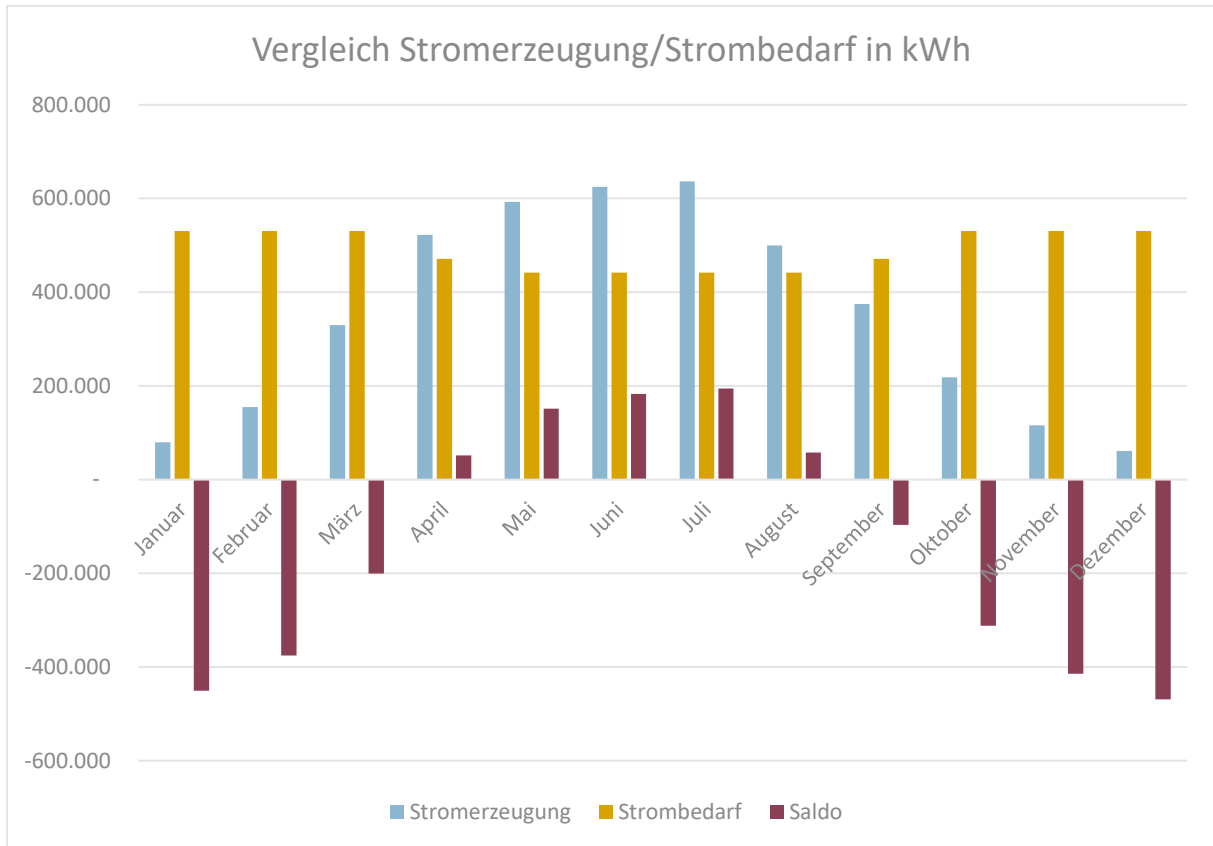


Abbildung 3-20: Vergleich Stromerzeugung zu Strombedarf

### Zusatzbetrachtung Volleinspeisung

Nachfolgend ist das Wirtschaftlichkeitsergebnis der Volleinspeisung analog zu den beiden zuvor untersuchten Varianten beschrieben. Die Volleinspeisung nach EEG 2023 wird mit durchschnittlich 0,094 ct/kWh angesetzt. Dies ist abhängig von der tatsächlich geplanten Anlagenkonstellation, insbesondere der Größe der PV-Anlagen.

Tabelle 17: Zusammenfassung der PV-Ergebnisse, Teil 4

Gebäudetyp	Investition in €	Durchschnittliche Kapitalrendite in %	Durchschnittliche Amortisationsdauer in a	Durchschnittliche Stromgestehungskosten in ct/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsbilanz in t/a
PV ohne Batteriespeicher	6.213.540	4,8	15,3	8,3	-731



**Zusatzbetrachtung angepasste CO<sub>2</sub>-Emissionswerte**

Die in Kap. 3.3.9 untersuchten CO<sub>2</sub>-Emissionen basieren auf den in Kap. 3.5.3 dargestellten Emissionsfaktoren. Dabei wird PV-Überschussstrom, der ins öffentliche Netz eingespeist wird, mit 465 g/kWh vergütet. Vom Netz bezogener Strom wird mit 225g/kWh angerechnet. Diese Differenz ergibt sich aus der unterschiedlichen Betrachtungsweise des Stroms. Der ins Netz eingespeiste Strom ersetzt eine kWh aus konventionellen Erzeugungsanlagen mit erhöhten Emissionen. Für den netzbezogenen Strom wird der durchschnittliche Emissionswert für den deutschen Strommix angesetzt.

In dieser Zusatzbetrachtung wird ermittelt, wie sich die CO<sub>2</sub>-Bilanz ändert, wenn für den Überschussstrom ebenfalls der Wert des durchschnittlichen deutschen Strommixes von 225 g/kWh angesetzt wird.

<b>Gebäudetyp</b>	<b>Investition in €</b>	<b>Durchschn. Kapitalrendite in %</b>	<b>Durchschn. Amortisations- dauer in a</b>	<b>Durchschn. Stromgestehungs- kosten in ct/kWh</b>	<b>CO<sub>2</sub>- Emissions- bilanz in t/a</b>
<i>PV ohne Batteriespeicher</i>	6.213.540	6,0	12,5	8,3	378,4
<i>PV mit Batteriespeicher</i>	7.121.040	5,9	12,6	10,2	378,4

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stromversorgung ändert sich von -452,7 bzw. -361,2 t/a auf 378,4 t/a, d.h. durch die Anpassung der Emissionsfaktoren ist die Stromversorgung nicht mehr CO<sub>2</sub>-negativ.

### 3.3.10 Zusammenfassung der Auslegungsergebnisse

In der folgenden Tabelle sind die relevanten Auslegungsergebnisse für das Quartier zusammengefasst. Die Leistungsklassen der Wärmeerzeuger wurden über simulierte Lastgänge ermittelt, welche ebenfalls nachfolgend dargestellt sind. Hierbei wird auch die Relevanz eines Wärmespeichers deutlich gemacht.

Tabelle 18: Übersicht der Auslegungsergebnisse EH 40-Standard

Variante	Primäre Wärmequelle (Anteil)	Sekundäre Wärmequellen (Anteil)	Länge Verteilnetz in m	Pufferspeichervolumen in m <sup>3</sup>
1	Holzhackschnitzelkessel 500 kW (91%)	Biomethan-Spitzenlastkessel 1.500 kW (9%)	4.231	100
2	Geothermie (79%) + Sole-Wasser-Wärmepumpen (21%) 43.208 m Sondenlänge  (432 Sonden, beispielhafte Feldgröße 126 m x 114 m (20 x 22 Sonden, jeweils 6 m Abstand)	-	4.231	-
3	Eisspeicher (79%) + Sole-Wasser-Wärmepumpen (21%) + Solar-Luft-Absorber, 2.400 m <sup>2</sup> Aufstellfläche	-	4.231	4.500 m <sup>3</sup>
4	Luft-Wasser-Wärmepumpen (100%)	-	-	-

Bei der Auslegung der Erdwärmesonden für Variante 2 handelt es sich um eine Mindestauslegung. Eine größere Fläche wäre vorteilhaft für die Regeneration des Erdsondenfeldes.

Zusätzlich enthalten alle Varianten PV-Anlagen nach den Ausführungen in Kap. 3.3.9. Im weiteren Teil des Berichts werden die Varianten in der Kombination mit der PV Auslegung ohne Batteriespeicher als Variante 1.1 bis 4.1 bezeichnet. Analog hierzu die Varianten mit dem Szenario der PV-Nutzung inkl. Batteriespeicher als Variante 1.2 bis 4.2 benannt.

In Abbildung 3-21 und 3-22 ist beispielhaft die Auslegung für Variante 1 dargestellt. Aus Abbildung 3-22 wird der Effekt des Wärmespeichers deutlich, der eine erhöhte Auslastung des Grundlastkessels ermöglicht. Im Falle des maximalen Wärmeleistungsbedarfs wird der Grundlastkessel gemeinsam mit dem Spitzenlastkessel betrieben, zusätzlich kann Wärme aus dem Wärmespeicher entzogen werden. Des Weiteren wird eine Gesamtsteuerung des Wärmenetzes über MSR-Technik in der Heizzentrale vorgesehen, die Lastverschiebungen und damit verringerte Maximallasten ermöglicht.

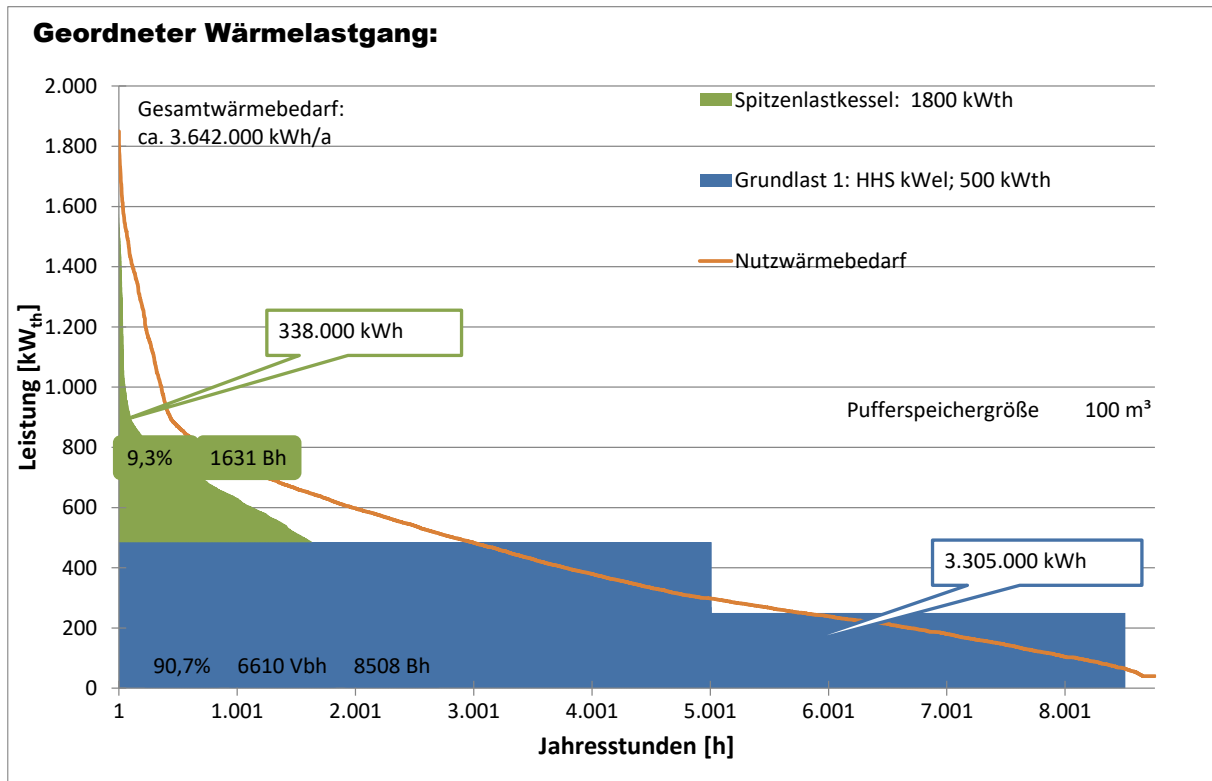


Abbildung 3-21: Auslegung Variante 1 mit Wärmespeicher

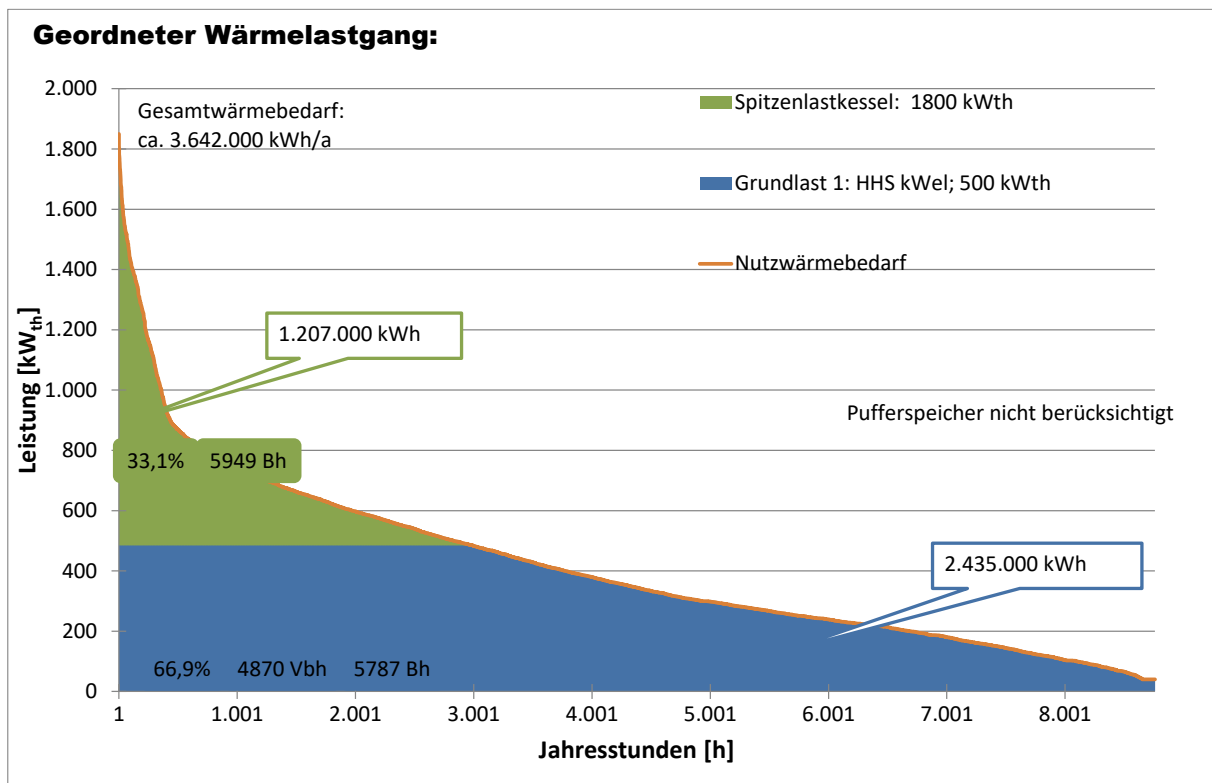


Abbildung 3-22: Auslegung Variante 1 ohne Wärmespeicher

### 3.3.11 Flächenbedarf der Versorgungsvarianten

Für die Versorgungsvarianten mit Heizzentralen ergeben sich folgende Flächenbedarfe. Es ist möglich, diese Heizzentralen baulich in die Neu – bzw. Bestandsgebäude zu integrieren. Ein durchzuführendes Emissionsgutachten muss Anforderungen hinsichtlich Luft- und Schallemissionen ermitteln.

Tabelle 19: Übersicht der Flächenbedarfe für zentrale Versorgungsvarianten

<i>Variante</i>	<i>Flächenbedarf Heizzentrale</i>	<i>Aufstellplatz Wärmespeicher</i>
1	20 m x 15 m	Durchmesser ca. 4 m, Länge ca. 12 m (liegender Zylinder)
2	10 m x 7 m	-
3	7 m x 7 m	3 Eisspeicher: Durchmesser jeweils 19 m, Höhe ca. 6 m, unterirdisch verbaut



### 3.4 Fördermöglichkeiten

Die einzelnen Energieversorgungsvarianten können durch unterschiedliche Förderprogramme (Stand Juli 2022) subventioniert werden. Genauere Informationen der Förderprogramme werden aufgrund des Umfangs im Merkblatt des jeweiligen Programms nachgeschlagen werden. Für jedes Förderprogramm gilt es bestimmte Fördervoraussetzungen zu erfüllen. Für die betrachteten Versorgungsvarianten und den zugeordneten Förderprogrammen gelten die Fördervoraussetzungen zum aktuellen Stand als erfüllt. Dies kann sich jedoch aufgrund von Novellierungen der Programme im Laufe der Zeit ändern und sollte zu einem späteren Zeitpunkt der spezifischeren Planung überprüft werden.

#### KWKG

Über das Programm „Wärme- und Kältenetze“ der BAFA können die Varianten mit Verteilnetzen gefördert werden. Der Fördersatz beträgt Stand Juli 2022 40 % der ansatzfähigen Nettoinvestitionskosten (Verteilnetz inkl. anteiliger Planungsleistungen) für den Fall, dass die Versorgung der Abnehmer zu mindestens 75 Prozent aus KWK-Anlagen oder in Kombination mit Wärme aus KWK-Anlagen, erneuerbaren Energien und industrieller Abwärme, erfolgt. Diese Variante ist nicht mit der KfW 271-Förderung kumulierbar.

#### Wärmenetze 4.0

Über das Programm „Wärmenetzsysteme 4.0“ der BAFA werden innovative Wärmenetzsysteme mit überwiegendem Anteil erneuerbarer Energien gefördert. Die Nutzung dieser Förderung ist für Variante 2 und 3 möglich, da diese Variante alle Förderbedingungen erfüllt. Die Förderhöhe beträgt Stand August 2022 38% der förderfähigen Kosten (Wärmeverteilstrom, Erdwärmekollektoren + anteilige Planungskosten). Diese Förderung wird voraussichtlich ab Mitte September 2022 durch die Förderung „Bundesförderung effiziente Wärmenetze“ abgelöst. Diese weist überwiegend gleichbleibende Rahmenbedingungen auf, insbesondere der Einsatzzweck und die Förderhöhe ändern sich nicht.

#### KfW 271

Über das KfW-Programm „Erneuerbare Energien – Premium“ (271) können u. a. Anlagen zur Verbrennung von fester Biomasse und Wärmenetze, die aus erneuerbaren Energien gespeist werden, gefördert werden. Diese Förderung ist für Variante 1 relevant.

## 3.5 Ergebnisse

### 3.5.1 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit erfolgt über einen Netto-Vollkostenrechnung für 20 Jahre Betrieb. Dabei werden für die relevanten Kostenpositionen die Entwicklung in den nächsten 20 Jahren modelliert und mit folgenden Durchschnittswerten angesetzt. Die unterschiedlichen Preiserhöhungen ergeben sich dabei insbesondere aus der unterschiedlichen Intensität der CO<sub>2</sub>-Bepreisungserhöhung. Die Investitionskosten wurden nach Kostengruppen der DIN 276 gegliedert und ermittelt. Unter die einmaligen Investitionskosten fallen Kosten für den Wärmeerzeuger, für die Wärmequellenerschließung in Form z.B. der Erdwärmesonden, dem Rohrnetz inkl. Tiefbauarbeiten, Heizzentrale sowie sonstige Anschluss- und Planungskosten des Projekts.

Tabelle 20: Kostenentwicklung der Inputstoffe über Betrachtungszeitraum

<b>Kosten</b>	<b>Kosten 2022</b>	<b>Kosten 2042</b>	<b>Durchschn. angesetzte Kosten</b>
<i>Biomethan [ct/kWh]</i>	25,0	17,0	21,0
<i>Strompreis Wärmepumpen [ct/kWh]</i>	39,0	24,0	31,5
<i>Strompreis Haushaltsstrom [ct/kWh]</i>	40,0	25,0	32,5
<i>Hackschnitzel mit 35 % Restfeuchte [€/t]</i>	105,0	175,0	140,0

Die zukünftigen Preiserhöhungen der Energieträger sind besonders in der aktuellen Lage äußerst schwer zu prognostizieren. Bei der Betrachtung der Erdgas- und Strompreise der letzten Jahre ist festzustellen, dass die Energiekosten im Allgemeinen gestiegen sind. Für die langfristige Zukunft wird auch in diesem Konzept von einem Anstieg der Strom- und Brennstoffpreise ausgegangen. Für eine genauere Abschätzung der zukünftigen Entwicklung gibt es einige Faktoren zu beachten. Für die wirtschaftliche Einschätzung der Energieversorgung ist die Entwicklung der Strom- und Brennstoffpreise zueinander entscheidend. Einige Annahmen und Prognosen, welche diese Kosten beeinflussen sind z. B. der Wegfall der EEG-Umlage, die steigende Inflation und vermehrter Einsatz von Erneuerbaren Energien im Strommix.

Die Strom- und Brennstoffpreise entsprechen dem Stand August 2022 und bleiben volatile Größen, sodass die Prognose in diesem volatilen Marktumfeld für die mittel und langfristige Entwicklungen aus genannten Gründen ungewiss ist. Die genannten Preise sind dabei Nettopreise, d.h. der Strompreis umfasst alle Umlagen (KWKG-Umlage, Netzentgelte, Konzessionsabgaben, Stromsteuer). Im Strompreis nicht enthalten ist die Umsatzsteuer.

Aufgrund der aktuellen Situation in Folge der Lieferengpässe und Inflation etc. ist zudem eine genaue Abschätzung der zukünftigen Investitionskosten jedoch nicht möglich, weshalb die Investitionskosten und angenommenen Strom- und Brennstoffpreise, auf den ermittelten zum Zeitpunkt der Durchführung der Wirtschaftlichkeitsberechnung beruhen.

Für die Varianten werden nach Berechnung der Investitionskosten, der Förderhöhe, der jährlichen Kosten (Betriebs, bedarfsgebundene und sonstige Kosten) Gestehungskosten ermittelt, die die

Grundlage des wirtschaftlichen Vergleichs bilden. Diese Gestehungskosten werden ermittelt, indem die Summe der jährlichen Kosten und der jährlichen Kapitalkosten durch den jährlichen Energiebedarf geteilt wird.

### 3.5.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

In der folgenden Tabelle sind die Gestehungskosten der Varianten dargestellt. Die Höhe der Investitionen und die sich ergebenden jährlichen Kapitalkosten werden im nichtöffentlichen Anhang C aufgeführt. Die Kosten wurden auf Basis von Literatur-, Erfahrungs- und Angebotswerten ermittelt und stellen eine Schätzung des Investitionsbedarfs dar. Die jährlichen Kapitalkosten ergeben sich aus der Verrechnung der Investitionskosten mit Abschreibungszeiträumen. Die Kosten für den Haushaltsstrom und E-Mobilität werden separat ausgewiesen.

Die Perspektive der Kostenermittlung erfolgt aus Betreibersicht, d.h. es werden alle Kosten ermittelt, die nötig sind, um den Anschlussnehmern lokal Wärme bereit zu stellen. Die Gestehungskosten sind dabei auf den Gesamtquartiersverbrauch in €/MWh normiert. Der Betreiber wird im Netzbetrieb die Kosten auf mehrere Preisbestandteile aufteilen:

Einmalige Anschlusskosten in €

Grundpreis je Anschluss in €/Anschluss

Leistungspreis in €/kW

Arbeitspreis in €/MWh bzw. ct/kWh

Die Gestehungskosten stellen dabei die tatsächlich anfallenden Kosten dar. Betriebsmarge und Risikoprämie sind darin nicht enthalten, sodass die tatsächlich anfallenden Kosten für Anschlussnehmer höher ausfallen werden.

Tabelle 21: Übersicht der Wirtschaftlichkeitsergebnisse EH40-Standard Variante 1 bis 4

Versorgungsvariante	Gestehungskosten in €/MWh
V1: HHS + SLK	167
V2: KN + EWS	158
V3: KN + ES	162
V4: LWWP	164

Für eine durchschnittliche Wohnung mit 3,0 MWh/a Wärmebedarf ergeben sich bei 167 €/MWh Kosten von 501 €/a bzw. 42 €/Monat.

Die betrachteten jährlichen Kosten werden im nichtöffentlichen Anhang C detailliert aufgeschlüsselt. Dabei sind in der Berechnung die Werte folgendermaßen zusammengefasst:

- Bedarfsgebundene Kosten: Kosten für Betriebsstoffe, insbesondere u. a. Strom, Biomethan Hackschnitzel
- Betriebsgebundene Kosten: Instandhaltungskosten und Wartungskosten
- Sonstige Kosten: Versicherungskosten
- Summe: Summe der Kosten

Die Instandhaltungskosten für die zentralen Versorgungsvarianten 1 bis 3 enthalten Personalkosten in Höhe von 8.000 €/a für Bedienung und Betriebsführung der Anlagen.

### 3.5.3 Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Für die Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden die eingesetzten Primärenergien der Wärmeversorgung betrachtet, d.h. diese Bilanzierung umfasst die Emissionen der Wärmeversorgung. Eine umfassendere CO<sub>2</sub>-Bilanzierung mit zusätzlichen Sektoren wird im in der Erstellung befindlichen städtischen Klimaschutzkonzept 2.0 durchgeführt.

Die eingesetzten Primärenergien sind der deutsche Strommix, Biomethan, und Holzhackschnitzel. In das Netz eingespeister Überschussstrom wird den jeweiligen Varianten nach den Ausführungen in Kap. 3.3.9 gutgeschrieben, da damit anderweitig produzierter Strom ersetzt werden kann. Dies stellt eine Standardmethode nach dem Gebäudeenergiegesetz zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen dar. Die Ergebnisse werden als Summe in t/a und normiert auf den Quartiersverbrauch in g/kWh dargestellt.

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird mit folgenden Durchschnittswerten für die nächsten 20 Jahre gerechnet. Die Werte für Verdrängungsstrommix 2022, Biomethan 2022 und Biomasse 2022 basieren dabei auf den Angaben der Anlage 9 des Gebäudeenergiegesetzes.

Tabelle 22: Übersicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen

<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen 2022</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen 2042</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen Durchschnitt</b>
<i>Deutscher Strommix</i>	380 g/kWh	70 g/kWh	225 g/kWh
<i>Verdrängungsstrom</i>	860 g/kWh	70 g/kWh	465 g/kWh
<i>Biomethan</i>	75 g/kWh	75 g/kWh	75 g/kWh
<i>Biomasse</i>	20 g/kWh	20 g/kWh	20 g/kWh

Für einige Varianten ergeben sich bilanziell negative Emissionen. Dies entsteht dadurch, dass in einigen Konstellationen die Menge der Vergütung durch eingespeisten Strom die lokal entstehenden Emissionen übersteigt.



Tabelle 23: Übersicht der Primärenergiefaktoren

	<b>Primärenergiefaktor 2022</b>	<b>Primärenergiefaktor 2042</b>	<b>Primärenergiefaktor Durchschnitt</b>
<i>Deutscher Strommix</i>	1,8	0,4	1,1
<i>Verdrängungsstrom</i>	2,8	0,7	1,7
<i>Biomethan</i>	0,5	0,5	0,5
<i>Biomasse</i>	0,2	0,2	0,2

Für die errechneten Primärenergiebedarfe der Varianten gilt, dass für ein Zertifikat die sogenannte Kappungsregel greift, die sehr niedrige Primärenergiefaktoren auf mindestens 0,3 setzt.

### 3.5.4 Ergebnisse der Emissionsanalyse CO<sub>2</sub>

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wärmeversorgung sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 24: Übersicht zur Wärmeversorgung

<b>Versorgungsvariante</b>	<b>Lokale CO<sub>2</sub>-Emissionen in t/a</b>	<b>Gutschrift CO<sub>2</sub>-Emissionen für eingespeisten Strom in t/a</b>	<b>Summe CO<sub>2</sub>-Emissionen in t/a</b>	<b>Spez. CO<sub>2</sub>-Emissionen in g/kWh Wärme</b>
V1: HHS + SLK	110,8	0	110,8	34
V2: KN + EWS	159,7	0	159,7	48
V3: KN + ES	159,7	0	159,7	48
V4: LWWP	276,6	0	276,6	84

Für das gesamte Quartier ergibt sich mit den Werten aus Kap. 3.3.9 folgende Gesamtbilanz. Diese Gesamtbilanz umfasst den Haushaltsstrom, Mobilitätstrom, PV-Anlage und die Wärmegebarung.

Tabelle 25: Gesamtbilanz CO<sub>2</sub> der Versorgungsvarianten mit PV ohne Batteriespeicher

<b>Versorgungsvariante</b>	<b>Lokale CO<sub>2</sub>-Emissionen in t/a</b>	<b>Gutschrift CO<sub>2</sub>-Emissionen für eingespeisten Strom in t/a</b>	<b>Summe CO<sub>2</sub>-Emissionen in t/a</b>
V1: HHS + SLK	1.169,6	-1.610,3	-440,7
V2: KN + EWS	1.218,5	-1.610,3	-391,8
V3: KN + ES	1.218,5	-1.610,3	-391,8
V4: LWWP	1.335,4	-1.610,3	-274,9

Tabelle 26: Gesamtbilanz CO<sub>2</sub> der Versorgungsvarianten mit PV mit Batteriespeicher

<b>Versorgungsvariante</b>	<b>Lokale CO<sub>2</sub>-Emissionen in t/a</b>	<b>Gutschrift CO<sub>2</sub>-Emissionen für eingespeisten Strom in t/a</b>	<b>Summe CO<sub>2</sub>-Emissionen in t/a</b>
V1: HHS + SLK	1.083,8	-1.433,1	-349,3
V2: KN + EWS	1.132,7	-1.433,1	-300,4
V3: KN + ES	1.132,7	-1.433,1	-300,4
V4: LWWP	1.249,6	-1.433,1	-183,5

Es zeigt sich, dass in allen Varianten in Kombination mit beiden untersuchten PV-Auslegungen ein CO<sub>2</sub>-negativer Betrieb bei Betrachtung der Gesamtemissionen für Haushaltsstrom, Mobilitätsstrom und Wärmegebarung möglich ist.

### 3.5.5 Ergebnisse der Emissionsanalyse Primärenergie

Der Primärenergieeinsatz der Wärmeversorgung und der PV-Anlage ist in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 27: Primärenergieeinsatz der Wärmeversorgung und PV

Versorgungs- variante	Lokaler Primärenergie- einsatz in MWh/a	Gutschrift Primärenergie- einsatz für eingespeisten Strom in MWh/a	Summe Primärenergie- einsatz in MWh/a	Primärenergiefaktor
V1: HHS + SLK	988,0	0	988	0,30
V2: KN + EWS	781,0	0	781,0	0,24
V3: KN + ES	781,0	0	781,0	0,24
V4: LWWP	1.352,0	0	1.352,0	0,41
PV-Auslegung ohne Batteriespeicher	5.176,3	-5.887,3	-710,9	-
PV-Auslegung mit Batteriespeicher	4756,9	-5.239,1	-482,2	-

Für das gesamte Quartier ergibt sich mit den Werten aus Kap. 3.3.9 folgende Gesamtbilanz. Diese Gesamtbilanz umfasst den Haushaltsstrom, Mobilitätsstrom, PV-Anlage und die Wärmegebarung.

Tabelle 28: Gesamtbilanz der Versorgungsvarianten mit PV ohne Batteriespeicher

Versorgungsvariante	Lokaler Primärenergieeinsatz in MWh/a	Gutschrift Primärenergieeinsatz für eingespeisten Strom in MWh/a	Summe Primärenergieeinsatz in MWh/a
V1: HHS + SLK	6.164,3	-5.887,3	277,1
V2: KN + EWS	5.957,3	-5.887,3	70,1
V3: KN + ES	5.957,3	-5.887,3	70,1
V4: LWWP	6.528,3	-5.887,3	641,1

Tabelle 29: Gesamtbilanz der Versorgungsvarianten mit PV mit Batteriespeicher

<b>Versorgungsvariante</b>	<b>Lokaler Primärenergieeinsatz in MWh/a</b>	<b>Gutschrift Primärenergieeinsatz für eingespeisten Strom in MWh/a</b>	<b>Summe Primärenergieeinsatz in MWh/a</b>
V1: HHS + SLK	5.744,9	-5.239,1	508,8
V2: KN + EWS	5.537,9	-5.239,1	298,8
V3: KN + ES	5.537,9	-5.239,1	298,8
V4: LWWP	6.108,9	-5.239,1	869,8

Es zeigt sich, dass in allen Varianten in Kombination mit beiden untersuchten PV-Auslegungen ein geringer Primärenergieeinsatz im Vergleich zu rein fossilen Versorgungen bei Betrachtung der Gesamtemissionen für Haushaltsstrom, Mobilitätsstrom und Wärmegestehung möglich ist.



### 3.6 Bewertung Bestandsinfrastruktur

Die Bestandsinfrastruktur des Quartiers umfasst ein Wärmenetz. Dieses Wärmenetz umfasst Sensor- oder Fühlerdrähte, welche für Leckageortung eingesetzt werden konnte. Die Fühlerdrähte sind in die Fernwärmeleitung mit eingeschäumt. Durch die Stadtwerke Gütersloh wurde eine Überprüfung dieser Signalleitungen durchgeführt.

Nach VDI 2067 werden für Rohrbauleitungen für Wärmenetze eine Nutzungsdauer von 50 Jahren angesetzt. Das Bestandsfernwärmenetz weist ein Alter >50 Jahre auf, sodass bei einer linearen Abschreibung des Netzes ein Wert von 0 € für die Bestandsinfrastruktur angesetzt werden kann. Die Weiternutzung wird aufgrund des Alters und der erwarteten Schäden nicht empfohlen.

### 3.7 Sensitivitätsanalyse

Die unter 3.5.1 genannten Annahmen für die Preise der eingesetzten Betriebsstoffe, können möglicherweise eine deutliche Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten aufweisen. Im Folgenden wird der Einfluss von angepassten Annahmewerten durch eine Sensitivitätsanalyse untersucht, indem diese Variablen 10 % teurer gewählt werden. Dadurch erfolgt eine Bewertung, wie empfindlich die Gestehungskosten auf Änderung der Eingangsparameter reagieren.

Im Folgenden wird untersucht, wie stark sich eine Erhöhung des Biomethanpreises in Höhe von 10 % auf die Gestehungskosten auswirkt.

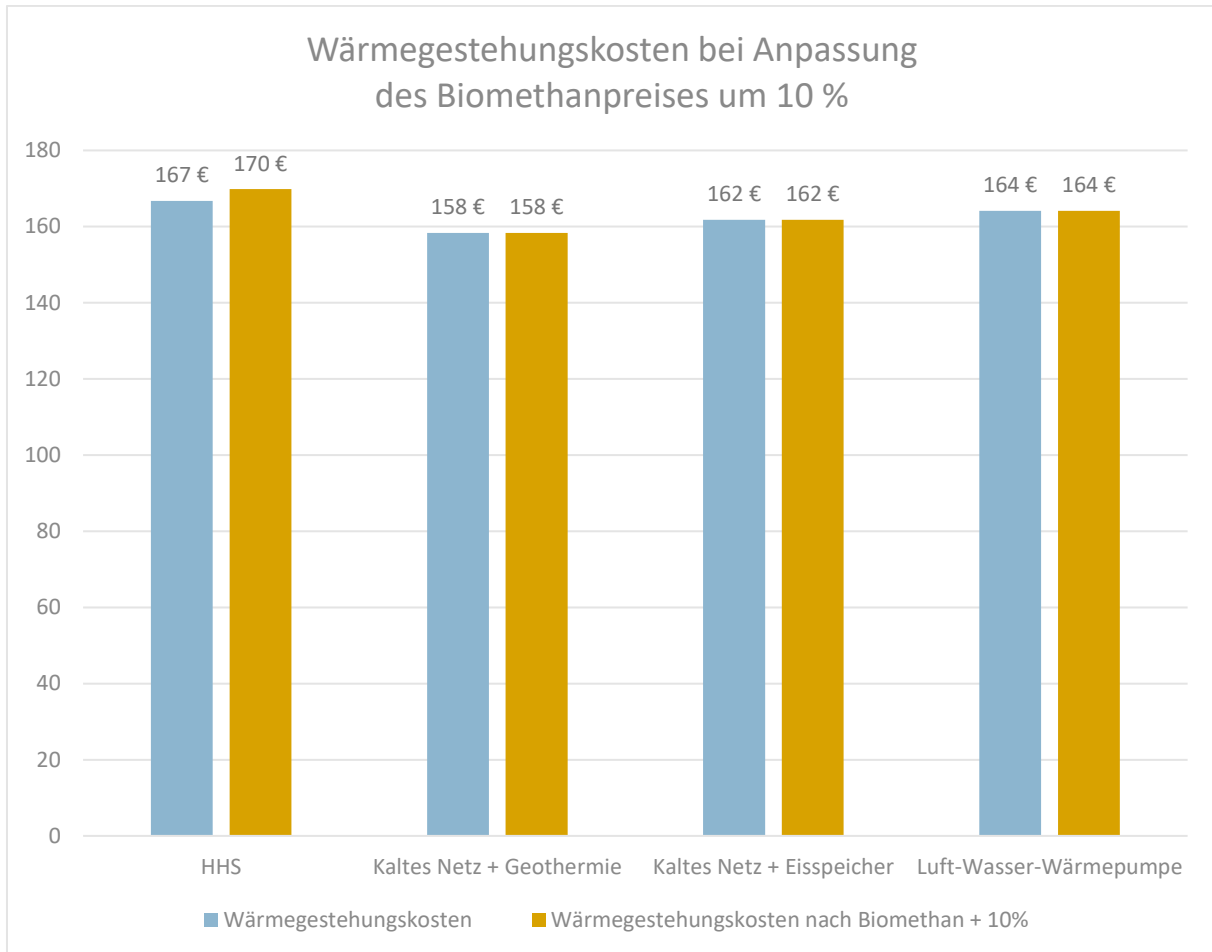


Abbildung 3-23: Sensitivitätsanalyse Biomethan-Preis

Tabelle 30: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse Biomethan-Preis

Versorgungsvariante	Gestehungskosten aus Kap. 3.5.2 in €/MWh	Gestehungskosten bei Erhöhung des Biomethan-Preises um 10% in €/MWh	Resultierende Erhöhung der Gestehungskosten in €/MWh	Resultierende Erhöhung der Gestehungskosten in %
V1: HHS + SLK	167	170	3,1	1,9
V2: KN + EWS	158	158	-	-
V3: KN + ES	162	162	-	-
V4: LWWP	164	164	-	-

Wie dem Diagramm und der Tabelle zu entnehmen ist, ändern sich die Gestehungskosten in Variante 1 von 167 €/MWh auf 170 €/MWh. Dies entspricht einer Erhöhung von 1,9%. Die anderen Varianten reagieren nicht auf eine Änderung des Biomethanpreises, weil keines verwendet wird.

Im Folgenden wird untersucht, wie stark sich eine Erhöhung des Strompreises in Höhe von 10 % auf die Gesteungskosten auswirkt.

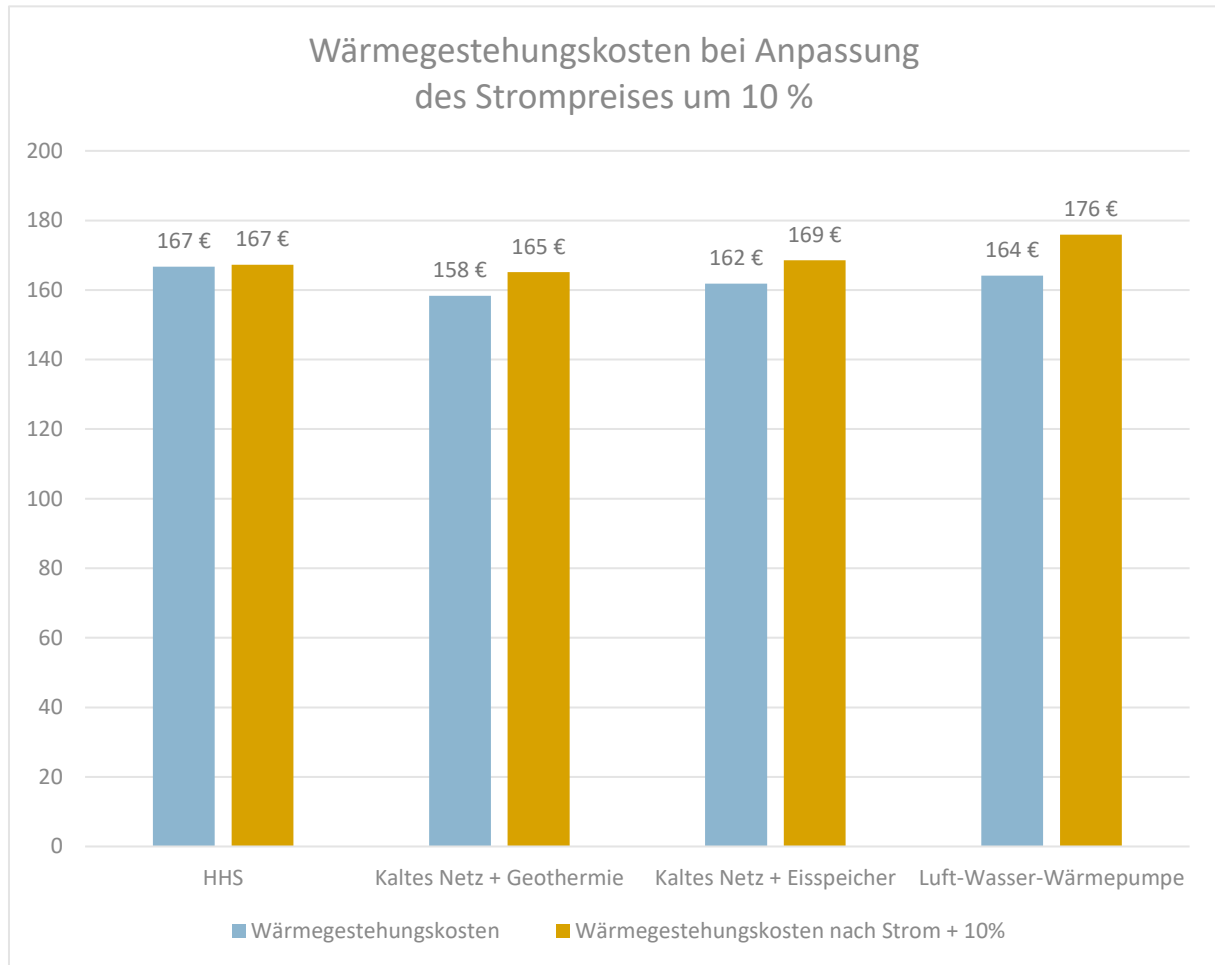


Abbildung 3-24: Sensitivitätsanalyse Strom-Preis

Tabelle 31: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse Strom-Preis

Versorgungsvariante	Gestehungskosten aus Kap. 3.5.2 in €/MWh	Gestehungskosten bei Erhöhung des Strom-Preises um 10% in €/MWh	Resultierende Erhöhung der Gestehungskosten in €/MWh	Resultierende Erhöhung der Gestehungskosten in %
V1: HHS + SLK	167	167	0,5	0,3
V2: KN + EWS	158	165	6,8	4,3
V3: KN + ES	162	169	6,8	4,2
V4: LWWP	164	176	11,7	7,2

Wie dem Diagramm und der Tabelle zu entnehmen ist, ändern sich die Gestehungskosten in Abhängigkeit der gewählten Versorgungsvariante bei Erhöhung der Stromkosten.

Im Folgenden wird untersucht, wie stark sich eine Erhöhung des Holzhackschnitzelpreises in Höhe von 10 % auf die Gestehungskosten auswirkt.

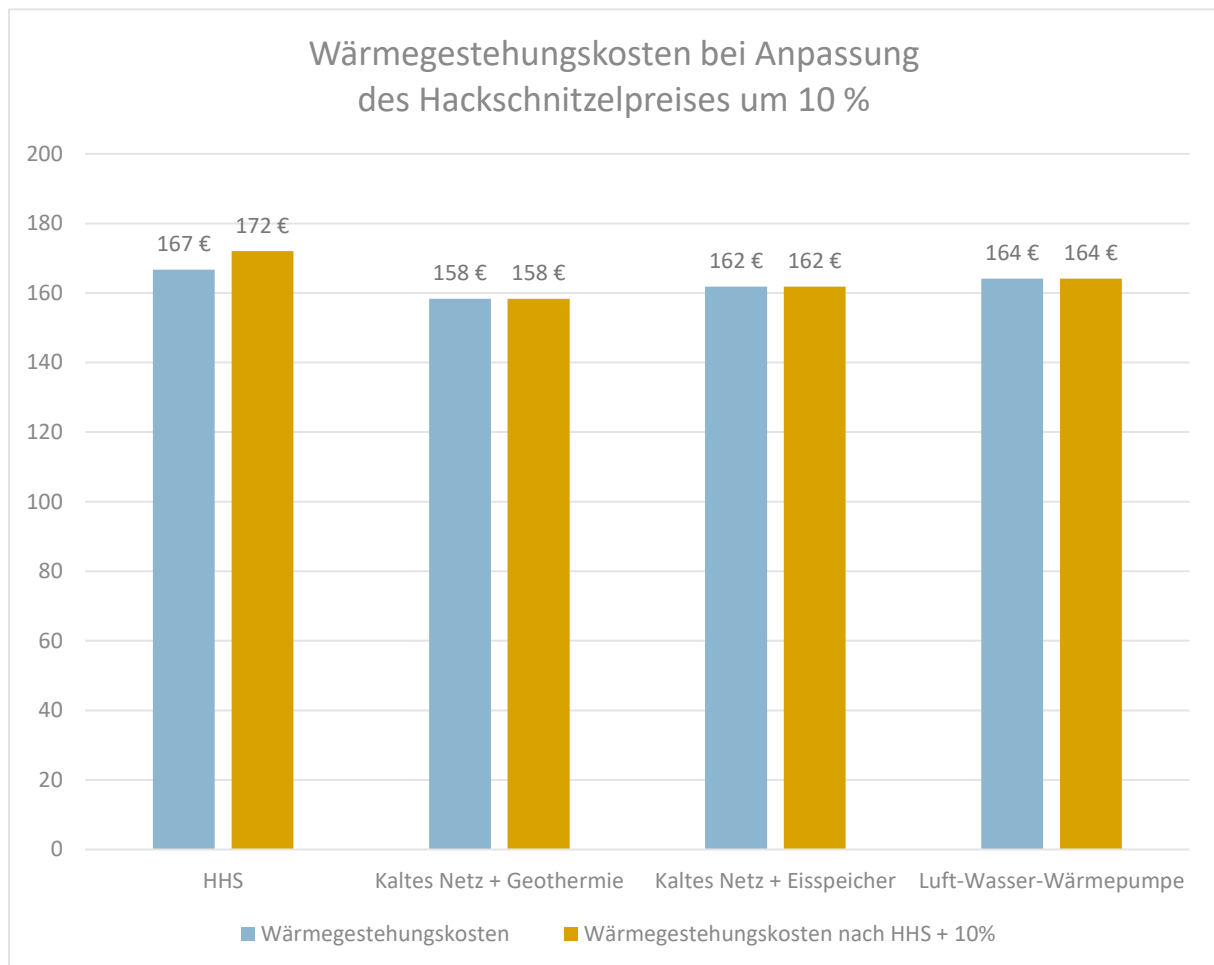


Abbildung 3-25: Sensitivitätsanalyse Holz hackschnitzel-Preis

Tabelle 32: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse Hackschnitzel-Preis

Versorgungsvarianten	Gestehungskosten aus Kap. 3.5.2 in €/MWh	Gestehungskosten bei Erhöhung des HHS-Preises um 10% in €/MWh	Resultierende Erhöhung der Gestehungskosten in €/MWh	Resultierende Erhöhung der Gestehungskosten in %
V1: HHS + SLK	167	172	5,3	3,2
V2: KN + EWS	158	158	-	-
V3: KN + ES	162	162	-	-
V4: LWWP	164	164	-	-

Wie dem Diagramm und der Tabelle zu entnehmen ist, ändern sich die Gestehungskosten in Variante 1 von 167 €/MWh auf 172 €/MWh. Dies entspricht einer Erhöhung von 3,2 %. Die anderen Varianten reagieren nicht auf eine Änderung des Holzhackschnitzelpreises.



Die Sensitivitätsanalyse gibt Auskunft darüber, welche Auswirkungen durch Änderung der Ausgangsparameter Biomethan-, Holzhackschnitzel- und Strompreis entstehen.

In den Untersuchungen wird ersichtlich, dass Änderungen dieser Ausgangsparameter unterschiedlich starke Auswirkungen auf die resultierenden Gestehungskosten in den untersuchten Varianten haben. Das bedeutet, dass der nächste Schritt je nach gewählter Variante die Festlegung dieser Ausgangsparameter sein sollte, durch eine verbindliche Angebotseinholung.

### 3.8 Bewertung der Ergebnisse

#### 3.8.1 Wärmeversorgung

In den folgenden Diagrammen sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeits- und der Emissionsbetrachtung für die Wärmeversorgung dargestellt:

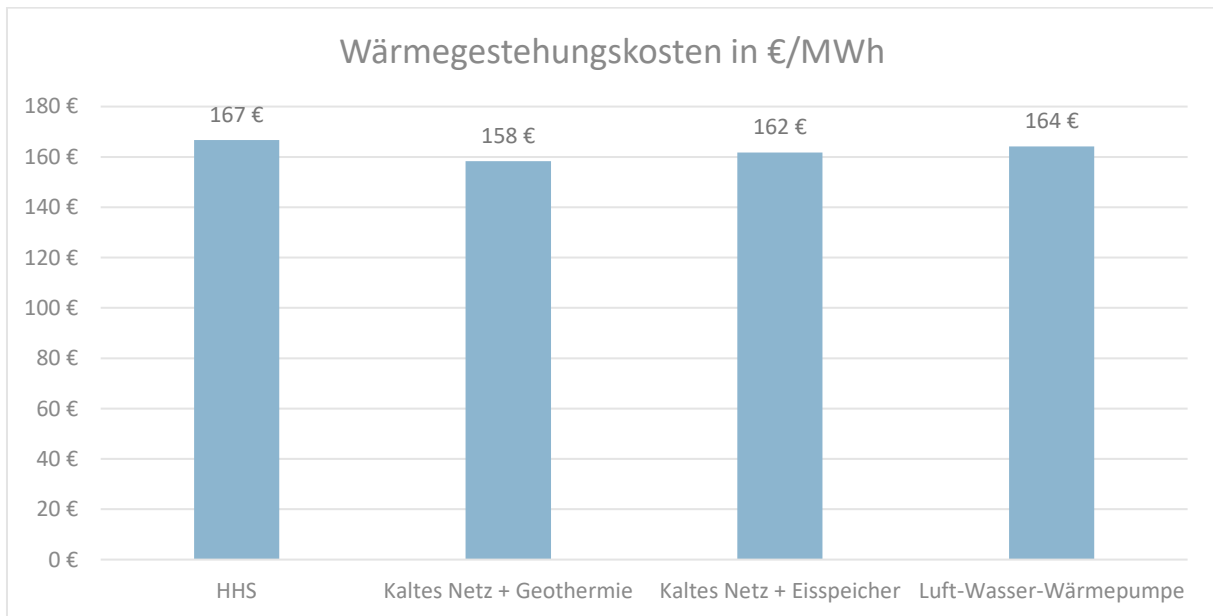


Abbildung 3-26: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

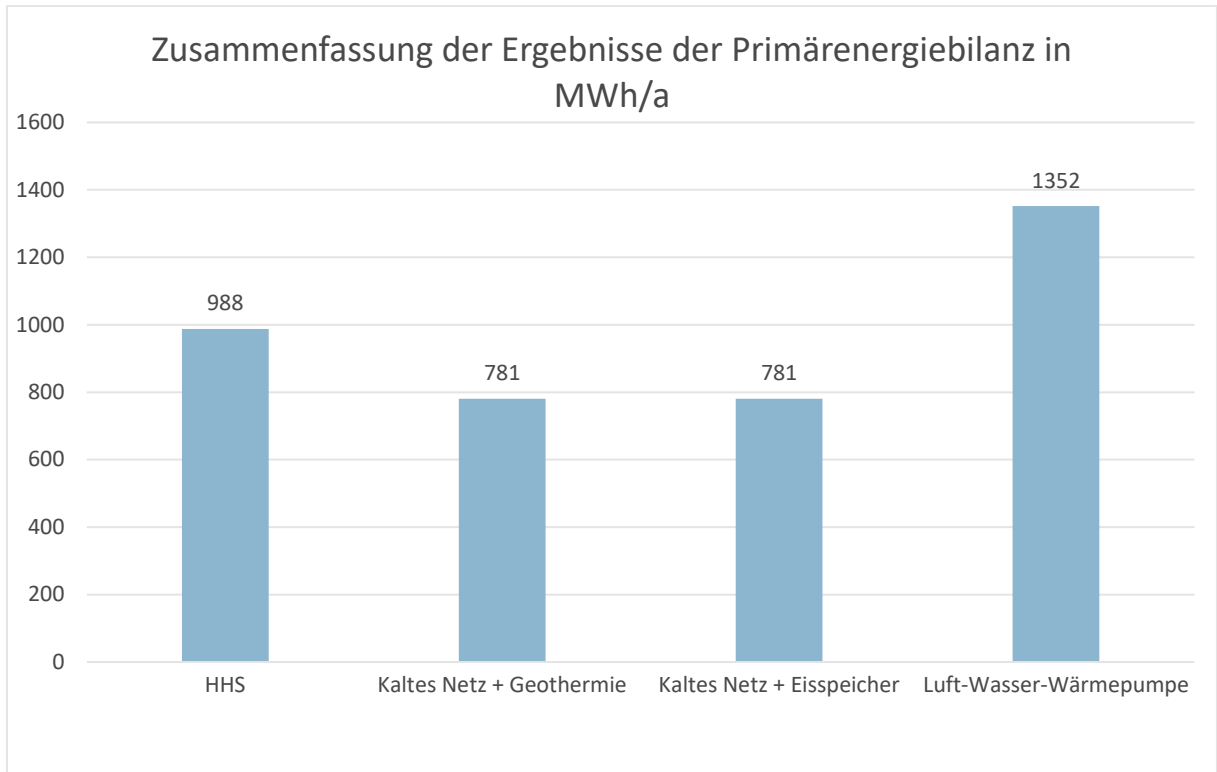


Abbildung 3-27: Zusammenfassung der Ergebnisse der Primärenergiebilanz

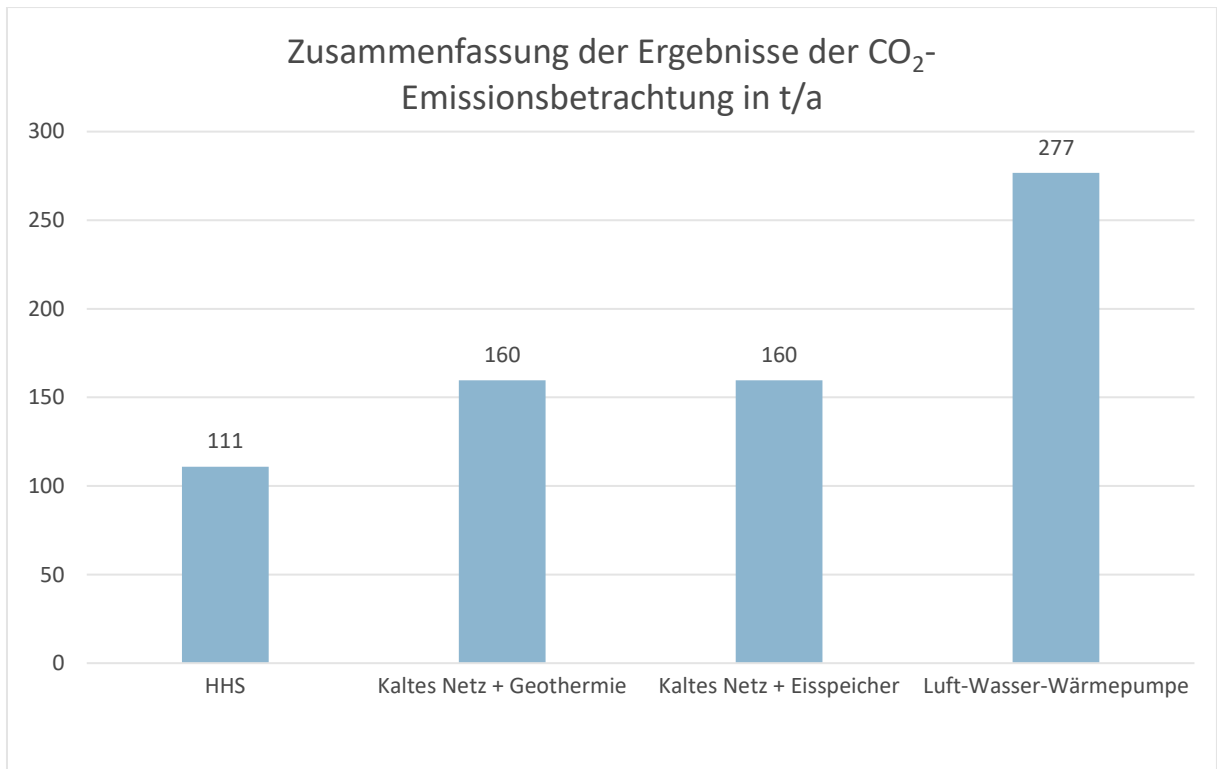


Abbildung 3-28: Zusammenfassung der Emissionsbetrachtung

Die Zielsetzung der möglichst klimaneutralen Energieversorgung für das untersuchte Quartier ist mit allen Varianten in Kombination mit beiden PV-Ausführungen grundsätzlich möglich, u. a aufgrund der CO<sub>2</sub>-Emissionsvergütung durch eingespeisten Überschussstrom. Zusätzlich zeigen die errechneten Primärenergiefaktoren, dass für die Wärmeversorgung das Ziel des hohen Anteils erneuerbarer Energien ebenfalls erreicht werden kann.

In der nachfolgenden Bewertungsmatrix sind die Ergebnisse in den Kategorien Wärmegestehungskosten, Sensitivität bei Preissteigerungen, Primärenergiefaktor und CO<sub>2</sub>-Emissionen zusammengefasst und nach Platzierung bewertet.

Tabelle 33: Bewertungsmatrix Energieversorgungskonzept

	Gewichtung in %	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4
<b>Wärmegestehungskosten</b>	60	4	1	2	3
		2,4	0,6	1,2	1,8
<b>Sensitivität bei Preissteigerungen</b>	10	3	1	1	4
		0,3	0,1	0,1	0,4
<b>Primärenergiefaktor</b>	15	3	1	1	4
		0,45	0,15	0,15	0,6
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	15	1	2	2	4
		0,15	0,3	0,3	0,6
<b>Summe</b>	100	14,3	6,15	7,75	18,4
Platz	3. Platz		1. Platz	2. Platz	
					4. Platz

Nach den vorliegenden Ergebnissen wird aufgrund der Parameter der Gestehungskosten, der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Primärenergiebedarfs innerhalb der zentralen Varianten die Wärmeversorgung über ein kaltes Nahwärmenetz mit Geothermie empfohlen.

Dieses System hat den Vorteil, dass nach Inbetriebnahme nur Strom aus dem allgemeinen Stromnetz zum Betrieb notwendig ist, sodass nur eine geringe Abhängigkeit von externen Umständen, z.B. Preiserhöhungen des Erdgasbezugs besteht.

Damit ergeben sich Gestehungskosten von 158€/MWh und CO<sub>2</sub>-Emissionen von 160t/a, bezogen auf die Wärmebereitstellung. Damit hat das Quartier eine moderne Energieversorgungsvariante für mindestens 20 Jahre.

Sollte eine zentrale Variante aus verschiedenen Faktoren nicht realisierbar sein, wird die Wärmeversorgung über dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe empfohlen. Für diese ergeben sich ebenfalls gute Ergebnisse für die Parameter Gestehungskosten, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergiebedarf. Die Gestehungskosten beträgt 164€/MWh und die CO<sub>2</sub>-Emissionen betragen 277t/a.

Es ist zu beachten, dass zukünftige gesetzliche Änderungen Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse haben können. Die Bewertung erfolgt auf Basis der aktuell gültigen Verordnungen. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde für alle Varianten auf 20 Jahre ausgelegt. Die

tatsächliche Nutzungsdauer der Netze und Anlagentechnik aus Variante 1 bis 3 ist deutlich länger zu erwarten, sodass für diese Varianten bei einem längeren Betrachtungszeitraum mit wirtschaftlich besseren Ergebnissen zu rechnen ist.

### 3.8.2 PV

Aufgrund der Ergebnisse der PV-Simulationen (Kap. 3.3.9) wird nach den Kriterien Wirtschaftlichkeit, CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanzen und Primärenergieeinsatz der Einsatz einer großflächigen PV-Anlage ohne zusätzlichen Batteriespeicher empfohlen. Dies ermöglicht eine Amortisation der Anlage nach 12,5 Jahren mit einer negativen CO<sub>2</sub>-Bilanz von -452 t CO<sub>2</sub>/a. Die negative CO<sub>2</sub>-Bilanz der PV-Anlage ermöglicht in Summe über das gesamte Quartier eine bilanziell negative CO<sub>2</sub>-Bilanz für Wärme- und Stromlieferung.



### 3.9 Vor-/Nachteile einer zentralen Energieversorgung

Neben der Betrachtung der ökologischen und ökonomischen Faktoren ergeben sich durch die Nutzung einer zentralen Energieversorgung zusätzliche Vorteile im Betrieb:

- Geringes Investitions- und Betriebsrisiko für Endkunden
- Kunden haben bei Problemen der Wärmeversorgung einen Ansprechpartner
- Geringer Primärenergiefaktor
- Reduktion lokaler Emissionen und Umweltbelastigung (Feinstaub, CO, NO<sub>x</sub>, Schall, etc.)
- Sehr geringer Platzbedarf (kein Schornstein, Brenner, Brennstoffvorrat oder Speicher im Wohngebäude)
- Lokale Wertschöpfung
- Gleichzeitige oder nachträgliche Einbindung von zusätzlichen Energiequellen (PV, Power-to-heat, Solarthermie, etc.)
- Möglichkeiten der passiven Gebäudekühlung durch kaltes Nahwärmenetz
- Ein Nachteil der zentralen Energieversorgung ist die Notwendigkeit, für die Wärmeversorgung einen entsprechenden Netzbetreiber zu suchen. Dieser Netzbetreiber ist für den reibungslosen Betrieb verantwortlich. Lokale Stadtwerke oder private Betreiber können dafür in Frage kommen. Außerdem ist die Gründung einer Bürgerenergiegenossenschaft möglich.

### 3.10 Umsetzbarkeit der Versorgungsvarianten

Für den Betrieb des Biomethan-Spitzenlastkessels in Variante 1 muss entsprechende Gasleitungsinfrastruktur lokal vorgesehen werden.

Die Installation eines Erdwärmesondenfeldes ist in Wasser- und Naturschutzgebieten nicht möglich. Diese sind im untersuchten Quartier nicht vorhanden, sodass für Variante 2 keine sonstigen besonderen Rahmenbedingungen gelten.

Für die Installation der Eisspeicher (Variante 3) ist die Einholung einer Baugenehmigung notwendig. Da es sich um geschlossene Bauwerke handelt, ist eine Erteilung eines positiven Bescheids zu erwarten. Jedoch ist eine Abstimmung bzgl. des Boden- und (Grund-)Wasserschutzes nötig.

Für den Betrieb der Luft-Wasser-Wärmepumpen und der Photovoltaik-Kollektoren sind keine besonderen Rahmenbedingungen nötig.

Somit gibt es kein zunächst KO-Kriterium, wie exorbitant hohe Investitionskosten oder Emissionen, welches eine Wärmeversorgungsvariante aufgrund der Rahmenbedingungen ausschließt. Grundsätzlich sollten die betrachteten Faktoren wie Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit im Zuge der vertiefenden Planung genauer untersucht werden.

### 3.11 Nachteile von Luft-Wasser-Wärmepumpen

Unabhängig vom wirtschaftlichen und ökologischen Untersuchungsergebnis besitzen Luft-Wasser-Wärmepumpen die negative Eigenschaft, dass sie lokal außerhalb einen Aufstellplatz für einen Luftwärmetauscher benötigen. Durch eine Vielzahl an benötigten Wärmepumpen kann die Gesamtästhetik des Quartiers gestört werden. Zusätzlich emittiert die Wärmepumpe Schall, sodass dies Auswirkungen auf die Lebensqualität im Quartier hat.

### 3.12 Auswirkungen einer höheren baulichen Dichte

Gegenüber der Standardauslegung kann sich der bilanzierte Energiebedarf erhöhen, z.B. durch Anschluss von weiteren Abnehmern außerhalb des Quartiers oder Anbauten von zusätzlichen Wärmeabnehmern innerhalb des Quartiers. Um eine solche Anpassung der Ausgangsparameter zu untersuchen, werden die Varianten auf eine 10% höhere Bebauungsdichte im EH 40-Dämmstandard und damit auf einen 10% höheren Wärme-, und Strombedarf hin untersucht.

Tabelle 34: Untersuchung von erhöhtem Strom- Wärme- Kältebedarf

Versorgungsvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Gestehungskosten in €/MWh	158	153	153	160
Einsparung gegenüber Ursprungswärme- und -strombedarf in €/MWh	9	5	9	4
Einsparung gegenüber Ursprungswärme- und Strombedarf	5,3%	3,0%	5,4%	2,5%

Alle untersuchten Versorgungsvarianten zeigen bei dieser Betrachtung, dass die Gestehungskosten sinken, sodass der städtebauliche Entwurf so angepasst werden kann, dass eine höhere Bebauungsdichte realisiert werden kann. Die sinkenden Gestehungskosten sind auf den steigenden Wärmebedarf bei gleichzeitig nahezu gleichbleibenden Investitionskosten zurückzuführen.

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen erhöhen sich bei einer höheren Bebauung nicht, da diese maßgeblich vom Brennstoffeinsatz abhängig ist.

### 3.13 Ausblick auf 2045

Alle Versorgungsvarianten wurden auf einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren untersucht. Die eingesetzten Komponenten sind so bewertet worden, dass sie zu entsprechenden Kosten ersetzt werden, sollten Sie eine geringere Lebensdauer als 20 Jahre aufweisen, bzw. wurden mit Restwert 0 € angesehen, sollten Sie eine längere Lebensdauer als 20 Jahre aufweisen. Das bedeutet, dass nach dem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren alle Anlagen abgeschrieben sind.

Folgende Komponenten weisen eine zu erwartende höhere Lebensdauer auf:

- PV-Anlage (alle Varianten): Lebensdauererwartung 20 bis 40 Jahre
- Warmes Nahwärmenetz aus PE-X (Variante 1): Lebensdauererwartung >35 Jahre
- Kaltes Nahwärmenetz aus PE (Variante 2+3): Lebensdauererwartung >30 Jahre
- Erdwärmesonden (Variante 2): Lebensdauererwartung >50 Jahre
- Eisspeicher und Luftabsorber (Variante 3): Lebensdauererwartung 50 Jahre

Sollte das Netz nach 20 Jahren Betrieb weiterhin genutzt werden, ist ein entsprechend kostengünstiger Betrieb möglich, da für die genannten Komponenten kein weiterer Investitionsbedarf besteht. Unter in-situ-Bedingungen gegenüber der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann dann mit folgenden Gesteungskosten kalkuliert werden. Diese wurden im Zuge der Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Zukunft ermittelt.

Tabelle 35: Übersicht der Gesteungskosten ab 2045

Versorgungsvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Investitionsbedarf im Jahr 2045 in €	801.583	1.285.332	1.292.352	2.088.950
Gesteungskosten in €/MWh	114	97	98	164

Die Ergebnisse zeigen, dass die Varianten 2 und 3 die beste Grundlage für einen weiterführend Betrieb nach 20 Jahren darstellen. Diese Ergebnisse bekräftigen die Empfehlung die Versorgungsvarianten 2 oder 3 auszuwählen.

### 3.14 Nächste Schritte

Die Auslegung der Geothermiesonden für Variante 2 erfolgte auf Basis von lokal nahegelegenen Bestandsbohrungen. Um das Geothermiepotential vor Ort detaillierter einschätzen zu können, ist ein hydrogeologisches Gutachten inkl. Probebohrung und Thermal-Response-Test notwendig.

Des Weiteren müssen die rechtlichen und städtebaulichen Rahmenbedingungen im Zuge einer vertiefenden Planung geklärt werden. Dies ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht eindeutig möglich.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse muss eine Variante ausgewählt werden, um diese detailliert zu planen.

Im Fall der Entscheidung für eine Variante mit kaltem Wärmenetz, sollte die Förderung Wärmenetze 4.0 in Anspruch genommen werden. Dies ist über Wärmenetze 4.0 Modul 1 im Rahmen einer Machbarkeitsstudie möglich. Diese Machbarkeitsstudie umfasst die detaillierte Planung und Auslegung der Auswahl Variante in den Leistungsphasen 1 bis 4 und bildet die Grundlage für die Realisierung des Bauprojekts im Rahmen der Förderung Wärmenetze 4.0 Modul 2 (Leistungsphasen 5 bis 9).

Im Falle von Förderbekanntmachungen, die für dieses Bauprojekt relevant sind, müssen diese in das Energieversorgungskonzept eingearbeitet werden.

### 3.15 Anschlusszwang bei zentralen Wärmeversorgungs-lösungen

Für die Wirtschaftlichkeit der zentralen Wärmeversorgungsvarianten ist die Anschlussquote der Hausanschlüsse ausschlaggebend. In dieser Betrachtung wird mit einer Anschlussquote von 100% gerechnet. Um diese Quote zu erreichen, kann der Anschlusszwang bei Grundstückerschließung genutzt werden. Um den Anschlusszwang durchzusetzen, gibt es folgende Möglichkeiten:

Eintragung des Anschlusszwanges in den Bebauungsplan

Wärmeliefervertrag + Technische Anschlussbedingungen als Teil des Kaufvertrages

Wenn der Anschlusszwang über den Wärmeliefervertrag erfolgt, gibt es die Möglichkeit des Baukostenzuschusses (Fixbetrag) oder als Mehrpreis auf die Grundstücksfläche.

Wir empfehlen die Umsetzung über den Wärmeliefervertrag als Baukostenzuschuss, da dies die Standardlösung darstellt, die für den Kunden einfach nachvollziehbar ist.

### 3.16 Betreibermodelle

Die Auswahl eines geeigneten Betreibermodells ist von den Akteuren und von der jeweiligen Struktur vor Ort abhängig. Bei der Struktur vor Ort sind folgende Rahmenbedingungen entscheidend:

- Einsatzbereitschaft der Nutzer
- Eigentumsverhältnisse
- Anzahl der Gebäude
- Räumlicher Zusammenhang der Gebäude
- Kreuzung von öffentlichen Wegen
- Unterbringungsmöglichkeiten der Anlage

Diese Rahmenbedingungen definieren die gesetzlichen Anforderungen und somit die Komplexität des geeigneten Betreibermodells. Das Betreibermodell selbst beeinflusst die Wirtschaftlichkeit, denn je nach Abwicklung der anfallenden gesetzlichen Auflagen, können die Kosten für den Betrieb höher oder niedriger ausfallen. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den jeweiligen Varianten.



Tabelle 36: Übersicht unterschiedlicher Betreibermodelle

<b>Variante</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Eigenerledigung	Erprobte Beschaffungsvariante, ggf. erster Schritt vor Beteiligung weiterer Partner über GmbH & Co KG oder gemischtwirtschaftliche Gesellschaft	Vollständige Hoheit über die Entwicklung und Ziele der Versorgung bei der Stadt, ggf. zukünftige Beteiligung weiterer Partner über unterschiedliche Struktur ist möglich	Kein Lebenszyklusansatz und kein Risikotransfer auf private Partner in der konventionellen Eigenerledigung bzw. erst im nächsten Schritt bei Beteiligung privater Partner
Betreibermodell	Vollständige Übertragung der Planungs-, Bau-, Finanzierung-, Betriebs- und Instandhaltungsleistungen auf privaten Partner durch Ausschreibung	Umfangreicher Risikotransfer auf erfahrene Partner, Einbindung von Know-how und Kapital der Partner, Optimierung der Versorgung unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten	Nach Übertragung der Leistungen nur noch geringe Einflussmöglichkeiten für die Stadt, Renditeanforderungen der privaten Partner
Gemischt-wirtschaftliche Gesellschaft	Beteiligung verschiedener Partner an einer Gesellschaft durch gemeinsame Gründung oder als share-deal	Einbindung von Know-how und Kapital von erfahrenen Partnern, Einflussmöglichkeiten der Stadt bestehen weiterhin	Keine klare Trennung von Auftragnehmer- und Auftraggeberfunktion
In-House Vergabe	Übertragung sämtlicher Leistungen auf eine kommunale Gesellschaft	Leistungen und Pflichten sind auf Gesellschaft übertragen, Hoheit über Leistungen dauerhaft bei der Stadt bzw. Gesellschaft	Fehlender Wettbewerb bei In-House Vergabe, kein Risikotransfer auf Private, keine Einbindung von Kapital von privaten Partnern

Die Stadt Gütersloh könnte sich auf die Realisierung über eine gemischtwirtschaftliche Gesellschaft verständigen. Dafür sollte die Stadt mit weiteren städtischen Akteuren, insbesondere den Stadtwerken Gütersloh GmbH, eine Projektgesellschaft als GmbH gründen. Sobald die Projektgesellschaft mit Bauleistungen für Energieerzeugungsanlagen und Wärmenetzen sowie den Fernwärmevertrieb operativ tätig wird, können über einen strukturierten Vergabeprozess (als share-deal) weitere private Gesellschafter (strategischer Investor aus der Energiewirtschaft) miteinbezogen werden.

Im Rahmen dieses Anteilsverkaufs kann darüber hinaus eine zu gründende Bürgerenergiegenossenschaft beteiligt werden, die Gründung der Bürgerenergiegenossenschaft ist jedoch erst möglich, wenn die Projektgesellschaft operativ tätig wird.

Alternativ dazu können nach Gründung einer Projektgesellschaft der Stadt weitere öffentliche und private Partner sowie Bürgerenergiegenossenschaften über eine GmbH & Co KG Struktur beteiligt werden. Bei der Überführung in die GmbH & Co KG Struktur sollte die Projektgesellschaft als Komplementärgesellschaft dienen.

Zur Erfüllung der vergaberechtlichen Rahmenbedingungen ist die Gründung der GmbH entweder allein durch die Stadt oder gemeinsam mit rein öffentlichen Akteuren zu empfehlen.

Sämtliche Planungs-, Bau-, Betriebs- und Instandhaltungsleistungen werden dann entweder durch die Projektgesellschaft selbst erbracht oder an externe Partner im Wettbewerb über Vergabeverfahren vergeben. Die Projektfinanzierung würde dabei auch von der Projektgesellschaft getragen. Dabei wird die Prüfung von möglichen Fördermitteln oder zinsgünstige Darlehen z. B. der KfW-Bankengruppe empfohlen.

## 4 Literaturverzeichnis

Ahu AG Wasser – Boden – Geomatik (2017): Orientierende Untersuchung der Mansergh Barracks

Bigalke, K., Rau, M. et al., Dokumentation - Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken - SynAKS für Deutschland - Berechnung - Qualitätssicherung - Anwendung (Version 1.1), Pinnberg, Heilbronn: www.metsoft.de, 2013.

Bigalke, K.; Ahrens, D.; Rau, M., Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken zur Verwendung in Immissionsprognosen - Eine Alternative zu "klassischen" Übertragungsverfahren, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 68. Jahrgang (2008), 2008.

BSV 2022: Mobilitäts- und Erschließungskonzept für das Mansergh Quartier in Gütersloh

BUGG (2018): Grüne Innovation Dachbegrünung. Bundesverband GebäudeGrün e. V. (BuGG), Berlin. S.12

dr. papadakis GmbH: Regionale Klimawandeluntersuchung – Rietberg

Eichhorn, J., Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen, mikroskaligen Stadtklimamodells. Diss. Meteorol. Inst. Univ. Mainz, Mainz, 1989.

Eichhorn, J., MISKAM Handbuch zu Version 6, Wackernheim: giese-eichhorn umweltmeteorologische software, 2011.

FFL (2008) – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.) (2008): Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen: Dachbegrünungsrichtlinie 2008. 118 S. Bonn.

HELBIG, A., BAUMÜLLER, J. & M.J. KERSCHGENS (Hrsg.) (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. 2.Aufl., Springer-Verlag, Berlin.

HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12., überarbeitete Auflage. 554 S. Teubner Verlag, Wiesbaden.

KUTTLER, W. (2004a): Stadtklima - Teil 1: Grundzüge und Ursachen. – In: UWSF – Zeitschrift Umweltchemie und Ökotoxikologie, Vol. 16 (4) 187 – 199.

KUTTLER, W. (2004b): Stadtklima, Teil 2: Phänomene und Wirkungen. – In: UWSF – Zeitschrift Umweltchemie und Ökotoxikologie, Vol. 16 (4) 263 – 274.

KUTTLER, W., PÜLLEN, H., DÜTEMEYER, D. & A.-B. BARLAG (2012b): Unterirdische Wärmeinsel in Oberhausen – Untersuchung subterranean Wärme- und Energieflüsse in verschiedenen Klimatopen. *dynaklim*-Publikation Nr. 23 / März 2012 im interdisziplinären Verbundforschungsprojekt „*dynaklim* - Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels am Beispiel der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet)“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin. 38 S. www.dynaklim.de.

LANUV NRW (2020): Online-Emissionskataster Luft NRW 2012. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucher-schutz Nordrhein-Westfalen

MAYER, H. (2006): Indizes zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen und lufthygienischen Komponente des Klimas. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 66, 4, 165-174.

Metternicht Haustechnik 2022: <https://www.metternich-haustechnik.de/privatkunden/energiequelle/kraftdach>

MUNLV - Minist. f. Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung). Bearbeitet von M. Steinrücke, A. Snowdon (RVR), W. Kuttler, D. Düttemeyer, A.-B. Barlag (Univ. DU-E), J. Hasse (FiW) und C. Roesler, V. Lorke (Difu). 268 S. Düsseldorf.

MW-BW (2012): Städtebauliche Klimafibel online. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>

Rau, M., Vergleich berechneter (MISKAM) und gemessener (Windkanal) Wind- und Konzentrationsfelder für ein U-Gebäude, Projekt im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen; unveröffentlicht, 2000.

PFOSE, N., JENNER, N., HENRICH, J., HEUSINGER, J., WEBER, S., SCHREINER, J. & C. KANASHIRO (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht. – TU Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung (Ausführende Stelle), 2013, 305 S.

Redeker GmbH (2011): Erlaubisantrag gemäß §§2,3 und 8 WHG: Einleitung aus dem Einzugsgebiet der Mansergh Barraks Gütersloh über eine Regenwasserpumpstation

Röckle, R.; Richter, C.-J., "Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -", Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe. (<http://bwplus.fzk.de>), 1995.

Stadt Berlin (Hrsg.) (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung: Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung – Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Kommunikation der Stadt Berlin, S. 66

Stadt Wien (Hrsg.) (2021): Leitfaden Dachbegrünung. Von PITHA, U., ZLUWA, I., SCHARF, B., LAPIN, K., BESENER, I.-M., VIRGOLINI, J., KAPUS, S., PREISS, J., ENZI, V., JESNER, L., OBERBICHLER, C., FRICKE, J., FRITTHUM, R. & DYK, G. Stadt Wien- MA22 Umweltschutz. Wien. S. 149

VDE 2022: <https://www.vde.com/resource/blob/1668010/7476f39597baab92ebe8f83daec48eea/vde-fnn-umweltschutz-oelkabel-massekabel-infoblatt-data.pdf>

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

VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2008): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I : Klima. Düsseldorf.

VDI-Fachbereich Umweltmeteorologie, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 4 - Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in urbanen Bereiche und deren Bewertung, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, Entwurf September 2018.



## **Anhang - ÖFFENTLICH**

### **Verzeichnis für das grün-blaue Infrastruktur- und Energiekonzept**

Anlage A Das mikroklimatische Stadtklimasimulationsmodell ENVI-met

Anlage B Maßnahmen zur Optimierung des lokalen Klimas

Anlage C Kosten Energieversorgung

Die nichtöffentlichen Anlage C kann durch Ratsmitglieder im Rathaus eingesehen werden.

## Anlage A: Das mikroklimatische Stadtklimasimulationsmodell ENVI-met

### Grundlagen

Mit dem etablierten und anerkannten mikroskaligen Klimasimulationsmodell ENVI-met kann das Klima von Orten flächendeckend, dreidimensional und hypothetisch (z. B. städtebauliche Planentwürfe) untersucht werden. Die hier verwendete Version ist 5.0.2 *Business*.

Bei dem Simulationsverfahren werden sowohl die atmosphärischen Prozesse als auch ihre Interaktion mit der Erdoberfläche (Topografie) über physikalisch-mathematische Gleichungssysteme der Strömungsmechanik, Thermodynamik, Atmosphärenphysik und Human-Thermophysikologie beschrieben und berechnet.

Dazu werden für das Untersuchungsgebiet zunächst die einzelnen Komponenten der Topografie (Relief, Böden, Versiegelungen (u. a. Straßen), Gebäude, Vegetation, Gewässer, etc.) jeweils als lagetreue, aber vereinfachte Klötzchenkubatur mit einer räumlichen Genauigkeit im Meterbereich digitalisiert und anschließend in ein numerisches Atmosphärenmodell überführt. Dieses besteht aus einem dreidimensionalen Raumgitter, in dem für jede Gitterzelle die atmosphärischen Zustände des Impulses (Wind, Transport), der Wärme und der Feuchte berechnet werden. Durch die Berücksichtigung der physikalisch-mathematischen Interaktion benachbarter Gitterzellen sowohl untereinander als auch mit der digitalisierten Erdoberfläche (Topografie) sowie durch die Berechnung der zeitlichen Änderung der atmosphärischen Zustandsgrößen in diskreten Zeitschritten kann der atmosphärische Zustand abgebildet werden.

Weitere Vorteile gegenüber anderen Modellen sind die Berücksichtigung der Bodenverdunstung und des Einflusses der Vegetation (Evapotranspiration) sowie die Bestimmung der thermischen Behaglichkeit. Letzteres geschieht mit einem medizin-meteorologischen Modul, welches das thermische Empfinden von Personen ermittelt und dabei auch Verdunstungs- und/oder Verschattungseffekte von Vegetation, Böden und Oberflächengewässern sowie die Wärmestrahlung umliegender Flächen (insb. versiegelter Verkehrsflächen und Gebäudefassaden) berücksichtigt. Die thermische Behaglichkeit wird anhand der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2, mittels der Physiologischen Äquivalenttemperatur PET (d. h. ähnlich der gefühlten Lufttemperatur des Deutschen Wetterdienstes DWD) bewertet (s. S. **Fehler! Textmarke nicht definiert.**).

Um eine konkrete Witterung zu simulieren, werden atmosphärische Ausgangssituationen vorgegeben (meteorologische Randbedingungen), unter deren Einfluss die atmosphärischen Prozesse simuliert werden.

Ausgehend von den topografischen und klimatischen Eingangsparametern können für die atmosphärischen Gitterzellen anschließend zahlreiche klimatische Zustandsgrößen berechnet werden, unter anderem Windgeschwindigkeit und -richtung, Lufttemperatur oder thermische Behaglichkeit.

Die digitalen Geländemodelle und die physikalisch-mathematischen Berechnungsmethoden sind aus technischen Gründen gegenüber der Realität stark vereinfacht.

Eine Untersuchung der Kaltluftprozesse mittels eines speziellen Kaltluftmodells ist hier nicht erforderlich. Spezielle Kaltluftmodelle erlauben zwar die Berechnung von gravitativen Kaltluftvolumenströmen, wobei allerdings die Kaltluftproduktionsraten für verschiedene Landnutzungstypen in den Modellen bereits vorgegeben werden. Im hier benutzten Stadtklimamodell ENVI-met hingegen müssen flächennutzungsspezifische Kaltluftproduktionsraten nicht vorab definiert werden, sondern werden durch die Modellphysik *tatsächlich* berechnet. ENVI-met kann daher für Kaltluftuntersuchungen benutzt werden, indem die hier bereits in der Klimaanalyse nachgewiesene Kaltluftströmung als Initialatmosphäre verwendet wird. Die hiesige Planfläche ist dabei in das außerhalb des Simulationsgebietes gelegene, größere Kaltluftproduktionsgebiet eingebettet, während innerhalb des Simulationsgebietes der strahlungs nächtliche Energieaustausch zwischen Kaltluftproduktionsflächen und Atmosphäre und somit die Kaltluftproduktion weiterhin stattfindet.

Hinweis: Obwohl Simulationsmodelle derzeit die einzige Möglichkeit darstellen, Plan-Zustände einer klimatischen Situation in hoher räumlicher Auflösung zu untersuchen, können sie atmosphärische Prozesse aufgrund der erforderlichen Vereinfachungen nur näherungsweise beschreiben und sind damit eher für relative Aussagen und weniger zur Ermittlung absoluter, korrekter Werte geeignet. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die Simulationsergebnisse in der Regel plausibel sind. Sollten Zweifel an Simulationsergebnissen bestehen, sind nach Eintreten des Plan-Zustandes verifizierende In-Situ-Messungen zu empfehlen.

## Digitale Geländemodelle

Als Eingangsdaten werden digitale Geländemodelle sowie Parameter für die meteorologischen Randbedingungen benötigt. Deren Eigenschaften sind in folgend zusammengefasst.

Tab. Initialisierungsparameter für das Simulationsmodell ENVI-met zum Untersuchungsgebiet Mansergh Quartier.

<b>Modelldimensionierung (3D)</b>		
Gebietsgröße (x, y, z) / m	1.309, 910, 47	= 8,4 ha
Gittergröße (x, y, z) / m	3,5, 3,5, 2 – 7	(Höhe z variabel: ab 16 m ü. Gr.: $z_n = z_{n-1} + 17\%$ )
Gitteranzahl (x, y, z) / n	374, 260, 16	
Modelltagstunden bzw. Witterungsandauer / h	35	
Zeitliche Auflösung des Modelllaufes / h	1,0	
<b>Meteorologische Randbedingungen</b>		
Start Simulation für Datum (DD.MM.)	21.06.	
Start Simulation zur Ortszeit (HH:MM) / MEZ	05:00	= Startzeitpunkt der Einschwingphase (11h)
Simulationsschritte (Modelltagstunden)	37	(Einschwingphase + 24h-Zyklus)
Windgeschwindigkeit in 10 m ü. Gr. / m/s	1,3	Quelle: Klimaanalyse Gütersloh 2022
Übergeordnete Windrichtung / Grad	120 (ESE)	Quelle: Klimaanalyse Gütersloh 2022 2018)
Initiallufttemperatur (2 m ü. Gr.) / °C	siehe Tagesgang in <b>Abbildung</b>	
Relative Initialluftfeuchte (2 m ü. Gr.) / %	siehe Tagesgang in <b>Abbildung</b>	
Bewölkung (x/8)	0	
<b>Bodenparameter Heißer Tag</b>		
Initialtemperatur obere Schicht (0-20 cm) / °C	22,8	Quelle: KUTTLER et al. 2012
Initialtemperatur mittlere Schicht (20-50 cm) / °C	23,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012
Initialtemperatur untere Schicht (< 50 cm) / °C	23,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012
Bodenwassergehalt* obere Schicht (0-20 cm) / %	75	Quelle: KUTTLER et al. 2012
Bodenwassergehalt* mittl. Schicht (20-50 cm) / %	80	Quelle: KUTTLER et al. 2012
Bodenwassergehalt* untere Schicht (< 50 cm) / %	80	Quelle: KUTTLER et al. 2012
* Wassergehalt als relativer Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers zwischen Welkepunkt und Feldkapazität		

Das Simulationsgebiet hat Abmessungen von 1.309 m x 910 m (= 8,4 ha) und besteht bei einer Gittermaschenweite von 3,5 m aus 374 x 260 horizontalen Zellen. Die Atmosphäre besteht aus 16 Schichten, beginnend mit einer Schichtdicke am Boden von 40 cm.

Die Digitalisierung der Geländemodelle beruht neben dem Planentwurf (RW / WESSENDORF 2021) auf einem digitalen Gebäudehöhenmodell (LAND NRW 2020), der Auswertung von Luftbildern und

topografischen Karten (LAND NRW 2020 und Google Earth) und einer Bodenkartierung (LAND NRW 2020).

Die Böden und Oberflächenarten werden für die Berechnung der atmosphärischen Energie- und Wärmebilanz (Erwärmung und Verdunstung) auf nicht bebauten Flächen benötigt. Bei den Bodenoberflächen wird zwischen Asphalt, Schotter, Bürgersteigen (parametrisiert durch Beton), Gehwegplatten und Kopfsteinpflaster (parametrisiert durch Granit) sowie Oberflächengewässern unterschieden. Im Mansergh Quartier wurden für Oberflächenversiegelungen abgesehen von der schwarz asphaltierten Erschließungsstraße helle Steinplatten verwendet. Das Boden- und Oberflächenmodell ist in folgender Abbildung dargestellt.

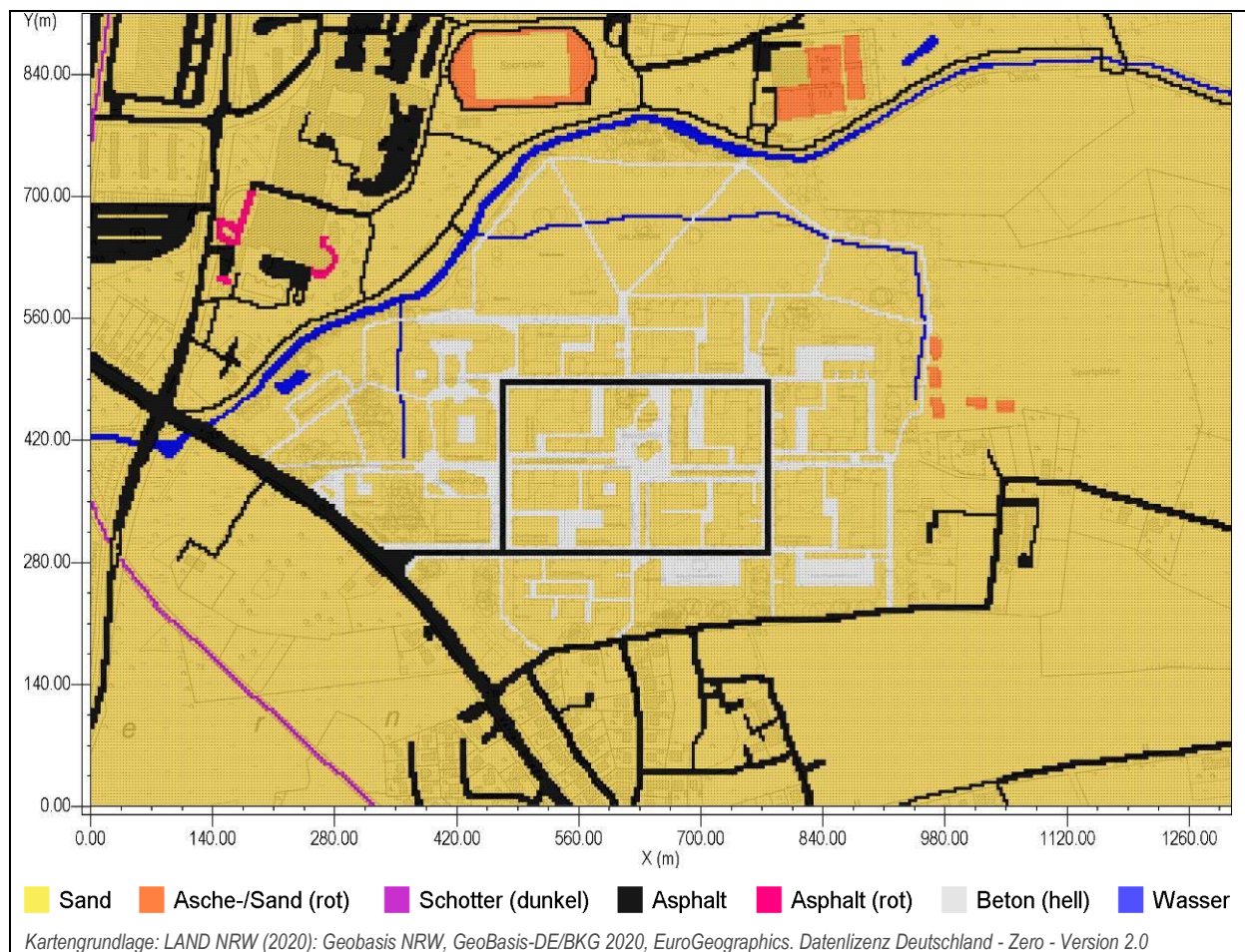


Abbildung: Digitales Boden- und Oberflächenmodell in ENVI-met zum Untersuchungsgebiet Mansergh Quartier.

Das Luftbild in der Abbildung diente zur Erstellung des digitalen Gebäude- und Vegetationsmodells für den Ist-Zustand.

Die Höhe der Gebäude wurden aus dem digitalen Gebäudemodell (LAND NRW 2020) übernommen und mit aktuellen Luftbildern (LAND NRW 2020 und Google Earth) abgeglichen. Geschosshöhen wurden ggf. in Meter umgerechnet. Für das Erdgeschoss werden 4 m Höhe angenommen, für alle übrigen Etagen 3 m Höhe, sowie für Garagen und Gartenschuppen/-lauben 3 m oder 2 m Höhe.

Das Vegetationsmodell nimmt für alle Pflanzen einen einheitlichen Metabolismus an. Die Differenzierung erfolgt daher ausschließlich über die Pflanzengestalt anhand von Pflanzenhöhe, Pflanzendurchmesser und Pflanzen- bzw. Blattdichte (LAD).



Das fertige digitale Gebäude- und Vegetationsmodell des Plan-Zustandes ist in folgender Abbildung dargestellt.

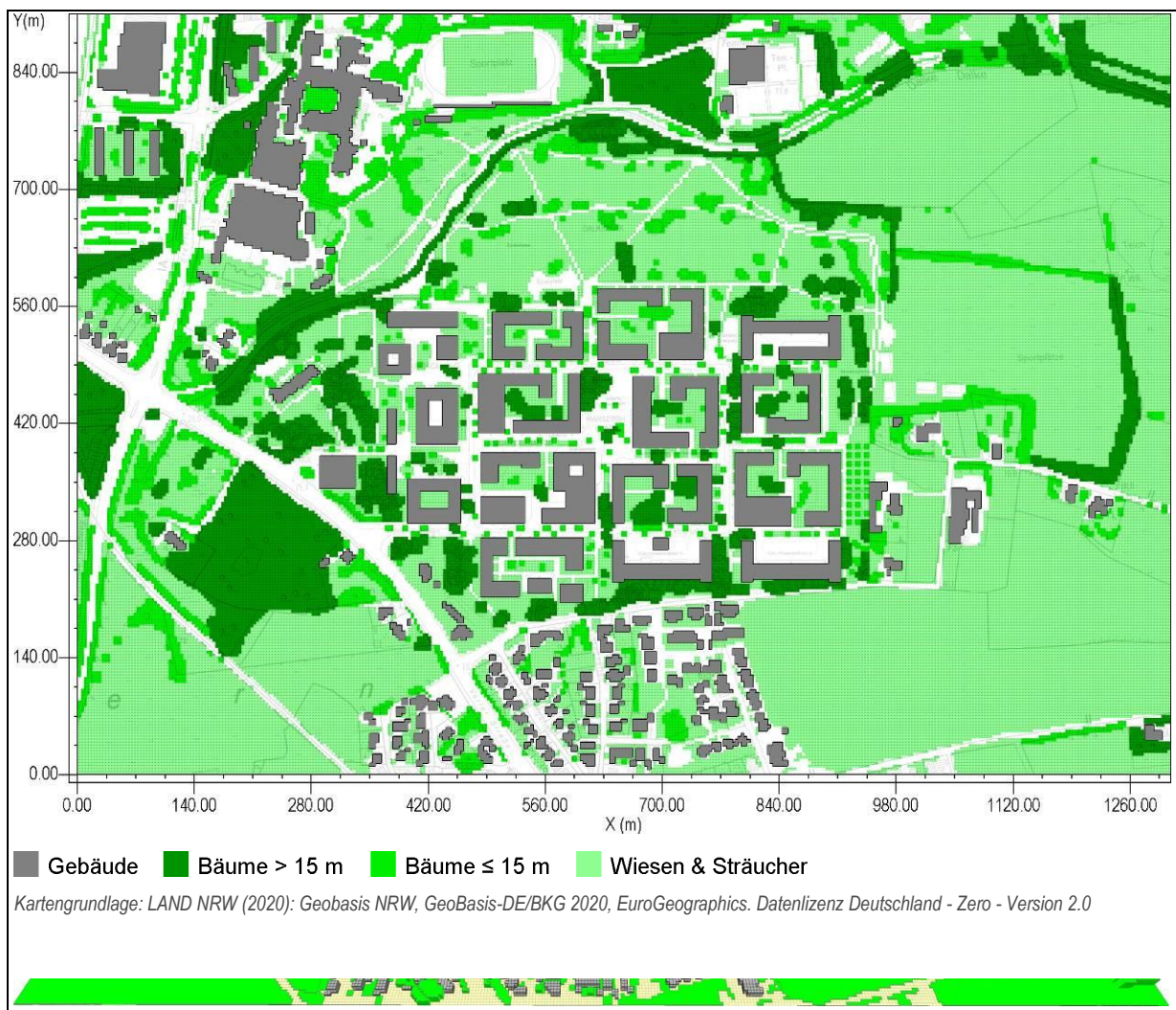


Abbildung: Digitales Gebäude- und Vegetationsmodell in ENVI-met zum Untersuchungsgebiet Mansergh Quartier.

### Meteorologische Randbedingungen

Als Witterungsszenario wird ein, für die vorliegende Fragestellung üblicher, typischer Tagesverlauf eines autochthonen heißen Sommertages angenommen, der wolkenfrei, sonnenreich und austauscherm, d. h. von überregionalen Windfeldern unbeeinflusst, ist.

Fehlende Bewölkung führt am Tage zu hoher Sonneneinstrahlung und damit zur Aufheizung der urbanen Oberflächen. Die Böden sind jedoch noch hinreichend feucht, sodass Verdunstung zur Senkung der Lufttemperaturen stattfinden kann. Es werden Tageshöchsttemperaturen von 30 °C (*heißer Tag*) überschritten. Mangelnde Durchlüftung führt zu Wärmestau im Quartier. Hitzestress am Tage ist somit in dieser Situation gegeben. Auch nächtliche Abkühlung findet kaum oder nur langsam statt. Die Bedingungen einer *Tropennacht* (Tiefsttemperatur > 20 °C) werden erreicht.

Modelltechnisch werden die atmosphärischen Prozesse durch die im Tagesgang vorgegebene Sonneneinstrahlung auf das Geländemodell und dessen stetige Interaktion mit der Atmosphäre (insbesondere Wärmestrahlung der Oberflächen und anschließender atmosphärischer turbulenter Wärmetransport) generiert. Für das Witterungsszenario werden daher die meteorologischen



Bedingungen für den Zeitpunkt kurz vor Sonnenaufgang (5 Uhr) als Beginn des meteorologischen Tageszyklus vorgeben. Hiervon ausgehend werden zunächst die Modellstunden der bis zum Nachmittag dauernden Einschwingphase und daran anschließend 24 numerisch aufeinander aufbauende Stundendatensätze der meteorologischen Parameter berechnet.

Das Datum, mittels dessen der astronomisch bedingte Strahlungshaushalt (welcher den Energie-/Wärmehaushalt im System Erdoberfläche-Atmosphäre maßgeblich bestimmt) errechnet wird, wird auf den 21. Juni festgesetzt, da hier der solare Strahlungsantrieb am größten ist.

Für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit werden die jeweiligen Tagesgänge über Stundenmittelwerte vorgegeben (s- folgende Abbildung), die zu erreichen sind und anhand derer die Simulationsergebnisse modellintern kalibriert werden. Dabei werden typisierte Werte aus einer langen Messreihe einer nordwestdeutschen Großstadt verwendet.

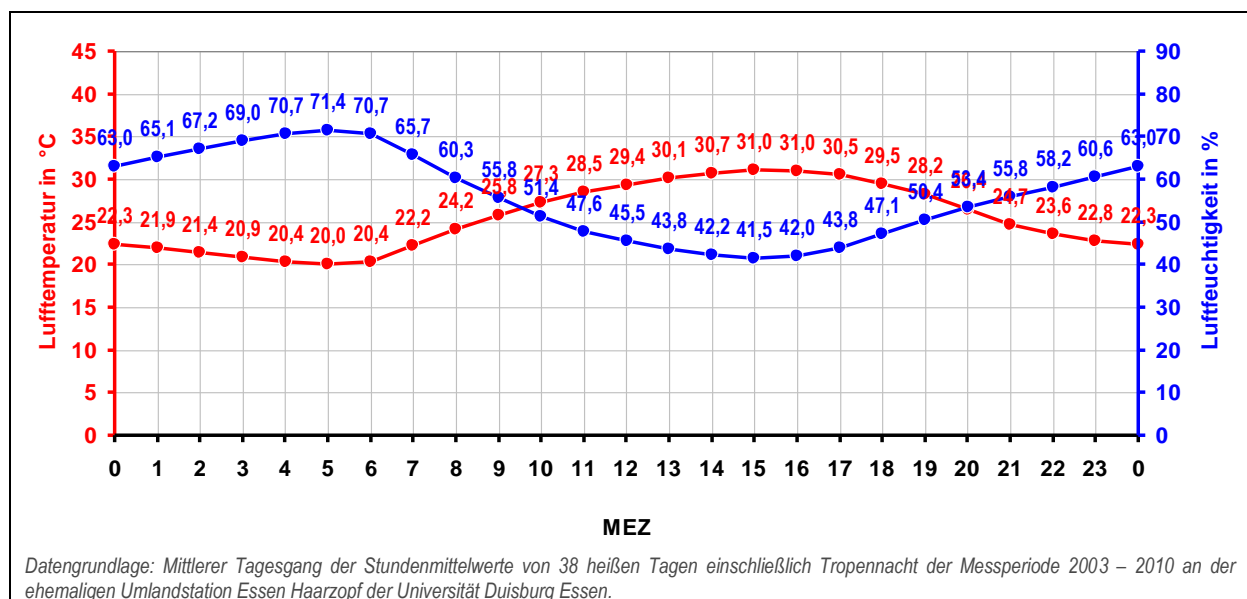


Abbildung: Typischer mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit für einen heißen Tag mit Tropennacht.

Die Windverhältnisse wurden aus der Klimaanalyse Gütersloh 2022 übernommen. Hierbei wurde eine südöstliche Strömung von 1,3 m/s angenommen. Das Windfeld wird unabhängig von der Tageszeit nur einmalig analysiert, da modellbedingt die vorgegebene Strömungssituation im Tagesgang konstant ist.

## Anlage B: Maßnahmen zur Optimierung des lokalen Klimas

Für die klimagerechte Quartiergestaltung gibt es zahlreiche Maßnahmenvorschläge für unterschiedliche räumliche Maßstabsebenen, die zur Minderung des Hitzestresses und zur Verbesserung der Durchlüftungsverhältnisse besonders geeignet sind und im Rahmen einer detaillierten Anpassungsuntersuchung für das Ruhrgebiet im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010) empfohlen wurden.

Die nachstehende Liste und Abbildung enthalten eine kompakte Maßnahmenübersicht. Einige Maßnahmenanwendungen sind in folgender Übersicht exemplarisch skizziert.

Tab.: Übersicht über städtebauliche Handlungsmaßnahmen zur klimatischen und klimawandelgerechten Optimierung von Bauvorhaben (aus MUNLV 2010, verändert).

Hinweis: Die H- und E-Kennziffern verweisen auf die detaillierten Maßnahmen Erläuterungen im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010).

Maßnahme	Schutzziel				
	Abkühlung Außenbereich	Abkühlung Gebäude	Verbesserung Durchlüftung	Verbesserung Luftqualität	Abwehr Niederschl.-überschwemmung
<b>Gebäudeoptimierung</b>					
H8 Dachbegrünung	nur bei Flachbauten	insb. Obergeschosse			
H10 Fassadenbegrünung			wenn als Baumaßsatz		
H14 Hauswandverschattung, Wärmedämmung					
H15 Geeignete Baumaterialien verwenden					
H15 Optim. Geb.-Energetik (Strom/Wärme EnEV, GEG)					
H15 Helle Fassadenfarben					
H18 Verschattungselemente an Gebäuden					
<b>Quartiergestaltung</b>					
<b>städttebauliche Infrastruktur</b>					
H5 Freiflächen erhalten, schaffen, Flächen entsiegeln			wenn wenig Bäume	wenn viele Bäume	
E3 Lokale Niederschl.versickeung, Kanalentkoppelung					
E4 Niederschlagsrückhalte-/speichermaßnahmen					
H12 Offene Wasserflächen schaffen					
H13 Gebäudeausrichtung optimieren					
H22 Beschattung relevanter Flächen					
H23 Verkehrsfläch. m.geringer Wärmeleit-/speicherfähigk. Wasserdurchlässige Verkehrsflächen					
<b>Grünflächen und Vegetation</b>					
H6 Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten			wenn wenig Bäume	wenn viele Bäume	
H7 Begrünung von Straßenzügen mit Bäumen				wenn Einzelbäume*	
H19 Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation					
H20 Bepflanzung mit klimaresilienten Pflanzenarten					
H21 Vermehrter Einsatz bodendeckender Vegetation					
<b>Quartierübergreifende Hinweise</b>					
H11 Erhalt oder Schaffung von Frischluftflächen		Wenn Kaltluftzufuhr			
H16 Erhalt oder Schaffung von Luftleitbahnen		Wenn Kaltluftzufuhr			

**Wirkung**

gering bis garnicht
Wirkungskonflikt

Deutliche Verbesserung
Mäßige Verbesserung
Verschlechterung

**Wirkungskonflikt von Bäumen ▶ Abwägung des Nutzens!**

**Pro:**

- Kühle durch Schatten
- Absorber für Spurenstoffe + Regen
- Einzelbäume: effektiv

**Contra:**

- reduzierter vertikaler Austausch
- Strömungsriegel bei Baumgruppen
- Gehölze und Wälder: kritisch
- \* - Verkehrsreiche Alleen: Spurenstoffalle

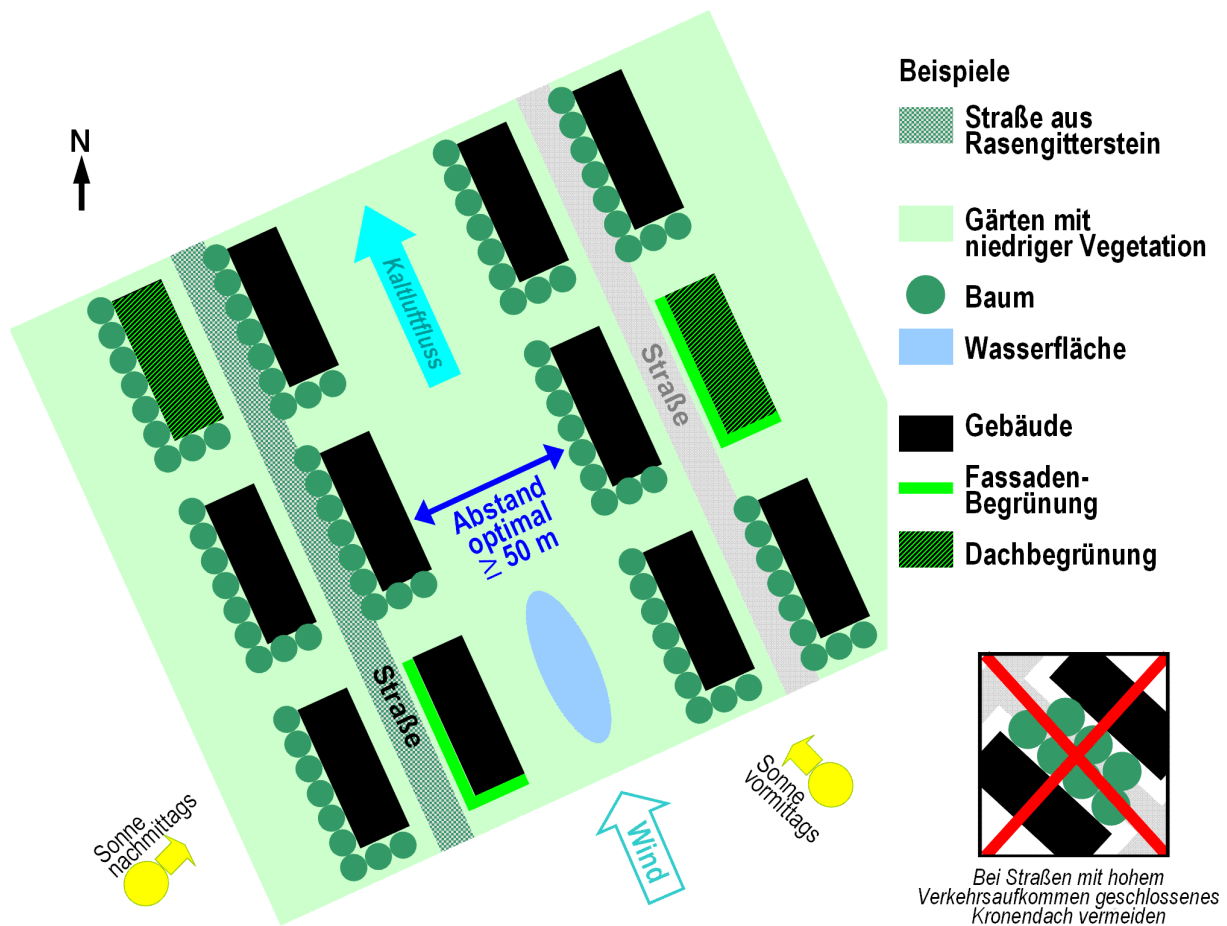


Abbildung: Beispiele für Klima optimierende grünplanerisch-architektonische Maßnahmen (schematische Skizze, nicht lage- und maßstabstreu).

Die nachfolgend beschriebenen einzelnen Maßnahmen sind hauptsächlich nur lokal wirksam. Um das Klima flächenhaft zu verbessern, sollten die Maßnahmen daher auch in der Fläche angewendet werden.

Eine Anwendung *aller* Maßnahmen ist nicht zwingend erforderlich und wird im Rahmen der Planungsvorgaben wahrscheinlich auch nicht realisierbar sein. Es wird empfohlen, so viele Maßnahmen wie möglich zu benutzen und örtlich zu bündeln, sofern sinnvoll.

### Bauwerksanordnung

Die Bauwerksanordnung hat maßgeblichen Einfluss auf die Durchlüftung.

- Eine zur Hauptwindrichtung (NW-SE-Achse) parallele Gebäudeausrichtung ist zu empfehlen, um die Durchlüftung und damit den Wärmeabtransport zu verbessern.
- Entlang der Anströmrichtung (NW-SE-Achse) sollten einige Belüftungskorridore von mindestens 50 Meter Breite in Form von Grünflächen des Savannentyps freigehalten werden.
- Die Bildung quer zur Windrichtung liegender Gebäude (Strömungsriegel) ist zu vermeiden.
- Bei Blockrandbebauung oder geschlossenen Innenhöfen kann die Belüftung durch breite und mehrgeschossige Gebäudedurchlässe verbessert werden.
- In verkehrsberuhigten Straßenschluchten (z. B. Fußgängerzonen) mit beidseitig geschlossenen Gebäudefassaden können zwischen den Gebäuden horizontal gespannte helle Sonnenschutzsegel zur Verschattung angebracht werden. Durch vertikalen, überlappenden Versatz von Einzelsegeln bleibt die Durchlüftung gewährleistet.

## **Gebüdefassaden und Dächer**

Fassaden und Dächer haben maßgeblichen Einfluss auf die Erwärmung von Gebäuden und deren nahen Außenbereichen und sind eine der Hauptursachen städtischer Wärmeinseln.

- Die Wärmedämmung von Fassaden und Dächern nach GEG-Standard (2020, vormals EnEV 2020) reduziert sowohl die Gebäudeinnenerwärmung als auch die Wärmeabstrahlung nach außen.
- Bei der Fassadengestaltung sind helle Farbtöne zu bevorzugen, um Überwärmungseffekte zu vermeiden. Gleiches gilt für Dächer.

### **Gebüdefassaden**

- Großflächige sonnenexponierte Fassaden (Südost- Süd- und Südwestfassaden) sollten primär durch Bäume oder ersatzweise mit Fassadenbegrünung verschattet werden, um Gebäude vor Aufheizung zu schützen.  
(Für Nordfassaden ist dies aufgrund fehlender Sonneneinstrahlung nicht zwingend erforderlich.)
- In engen Straßenräumen sind Fassadenbegrünungen gegenüber Baumpflanzungen aus Gründen der Belüftung zu bevorzugen.
- Neubauten: Schatten spendende Arkadengänge in sonnenexponierten Fassaden in Erwägung ziehen.

### **Dächer**

- Für flache oder gering geneigte Dächer sollten Dachbegrünungen favorisiert werden. Gründe:
  - Verbesserung des Gebäudeinnenklimas.
  - Förderung der Regenrückhaltung.
  - Verbesserung des Lokalklimas durch Verdunstungseffekte.  
(nachrangig bei hohen Gebäuden).
  - Schaffung von Biotopen.
  - Aktive intensive Nutzung (einschl. Hecken/Stauden/Bäumen) als Dachgarten.

## **Erdoberflächen und Versiegelungen**

Die Erdoberfläche und deren Versiegelungen haben maßgeblichen Einfluss auf die Erwärmung der bodennahen Atmosphäre. Versiegelte Flächen sind eine der Hauptursachen städtischer Wärmeinseln.

### Unversiegelte Flächen

Unversiegelte Flächen können durch Verdunstungskälte die Lufttemperatur spürbar senken und die Überschwemmungsgefahr durch Starkregen reduzieren (Versickerung).

- Die großflächige Anlegung bzw. Nutzung unversiegelter Flächen ist daher zu favorisieren:
- Grünflächen oder Parks nach dem Savannenprinzip mit einzelnen Bäumen oder Baumgruppen auf ansonsten flächendeckender niedriger Vegetation (Rasen, Beete, Bodendecker) verlangsamen die Bodenaustrocknung und bilden einen optimalen Kompromiss aus Verschattungszonen und Durchlüftungsmöglichkeit.
- Auch Wasserflächen, insbesondere mit Schilfrand, sind geeignete Verdunstungsflächen.



### Versiegelte Flächen / Verkehrsflächen

- Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze und andere versiegelte Flächen sollten mit Rasengittersteinen oder Fugenpflaster, hellem Kies oder hellem, porösem Asphalt wasserdurchlässig und damit verdunstungsaktiv gemacht werden.
- Steingärten mit ästhetischer Funktion sollten vermieden werden.

### *Baumpflanzungen*

Bäume sind wesentliche Klimafaktoren und Biotopelemente durch ihre Funktion als Schattenspende, Luftspurenstofffilter, Verdunstungselement, Niederschlagsfänger und Lebensraum.

- Im Plangebiet sollte ein überdurchschnittlich hoher Baumanteil realisiert werden.
- Baumpflanzungen sollen bewusst als Verschattungselemente im öffentlichen Raum eingesetzt werden und den Charakter der privaten Innenhöfe prägen.
  - Geeignete Standorte sind neben Grünflächen auch die Ost-, Süd- oder Westfassaden an Straßen und Innenhöfen, wo die Bäume die Gebäude vor sonnenbedingter Einstrahlung schützen können.  
(Auf den Nordseiten von Gebäuden sind Baumpflanzungen aufgrund fehlender Sonneneinstrahlung nicht zwingend erforderlich.)
  - Als Synergieeffekt verzögern die Baumkronen durch Interzeption den Regenwasserabfluss und verbessern damit die Starkregenbehandlung.
  - Auch Laubgänge und Hecken in Erwägung ziehen.
- Bäume sollten jedoch die bodennahe Belüftung so wenig wie möglich behindern, um den Abtransport von Spurenstoffen und Wärme zu gewährleisten.
  - Im Straßenraum sind daher geschlossene Kronendächer (z. B. bei Alleen) zur Gewährleistung des vertikalen Luftaustauschs (Abtransport von Spurenstoffen) zu vermeiden, indem z. B. Sonnen abgewandte Straßenseiten bzw. Nordfassaden von Bäumen frei gehalten werden.
  - Auf größeren, belüftungsrelevanten Freiflächen Baumanordnung in weit abständigen Kleingruppen (Savannentyp).
- Einsatz klimawandelangepasster Baumarten prüfen.
- Durch geschickte Verbindung der Standorte der Bepflanzungselemente mit Schattenzonen von Gebäuden können gut vernetzte Verschattungszonen geschaffen werden, entlang derer eine Fortbewegung durch das Quartier mit weitgehend reduzierter Wärmebelastung möglich ist.

### **Wassermanagement**

Idee der Schwammstadt: Effiziente Wasserbevorratung und -verdunstung für Böden und Pflanzen in Trockenperioden zur Lufttemperatursenkung, insbesondere durch Evapotranspiration der Vegetation.

- Neuböden: Böden mit hoher nutzbarer Feldkapazität (Wasserspeicherfähigkeit) wie beispielsweise schluffige oder lehmige Böden bevorzugen.
- Lokale Niederschlagsversickerung durch Entsiegelungen und Kanalnetzabkopplung.
- Abwehr von Starkregen/Überschwemmungen durch Entsiegelungen, Geländemulden, Wasserspeicher (Rigolen, Regenwasserzisternen), Dachbegrünungen und großkronige Bäume.
  - Die Wasserspeicher dienen auch als Wasserreservoir für Pflanzen während Trockenphasen.

## Luftreinhaltung

Bebauungen und Ihre Nutzungen sind Quellen unerwünschter atmosphärischer Spurenstoffe, deren Anreicherung zu minimieren ist.

- Zur Minimierung der Zusatzbelastung mit atmosphärischen Spurenstoffen sollten Gebäude mindestens dem GEG-Standard (2020, vormals EnEV 2020) entsprechen.
  - In lufthygienisch vorbelasteten Gebieten ist der Passivhausstandard zu empfehlen.
- Die ergänzende Nutzung einfach zu realisierender regenerativer Energiequellen wie Fotovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen ist zu empfehlen.
- Je nach lokaler Verfügbarkeit sind auch Fernwärme, Fernkälte und Geothermie in Betracht zu ziehen.
- Holzbasierte und andere feinstaublastige Feuerungsanlagen (Heizungen, Kamine) sollten vermieden werden, um die Anreicherung von Kaltluftströmen mit Spurenstoffen zu vermeiden.
- Für den Straßenverkehr sollten nur Anliegerstraßen ausgewiesen werden; Durchgangsstraßen sollten vermieden werden.
- Immissionsschutzpflanzungen am Plangebietsrand sind zu empfehlen.

Tabelle: Synergieeffekte und Konfliktpotenziale von Anpassungsmaßnahmen (Beispiele).

Maßnahmen oder Maßnahmenbündel	Synergieeffekte
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versickerungsflächen Rasen/Wiesen/Beete</li> <li>• Bäume</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hitzeschutz</li> <li>• Starkregenschutz</li> <li>• Biotop</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versickerungsflächen Rasengittersteine</li> <li>• Bäume</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hitzeschutz</li> <li>• Starkregenschutz</li> <li>• als Verkehrsfläche nutzbar</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dachbegrünungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudewärmedämmung</li> <li>• Hitzeschutz</li> <li>• Regenrückhalt</li> <li>• Biotop (+ Dachgarten)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dachbegrünung + Solarenergienutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudewärmedämmung</li> <li>• Hitzeschutz</li> <li>• Regenrückhalt</li> <li>• Biotop</li> <li>• Vermeidung fossiler Energie</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fassadenbegrünung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hitzeschutz</li> <li>• Biotop</li> <li>• Substitution aufwendiger technischer Fassadenelemente (z. B. Sonnenschutzlamellen/-rollos, Dekorelemente, Wärmedämmung)</li> <li>• enge Straßenschluchten mit stärkerem Verkehr bleiben baumfrei</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudeschattenzonen,</li> <li>• Bäume,</li> <li>• Hecken,</li> <li>• Laubengänge oder</li> <li>• Sonnenschutzsegel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verknüpfung zu verschattetem Fußwegenetz mit reduzierter Wärmebelastung</li> </ul>

Maßnahmen oder Maßnahmenbündel	Konfliktpotenziale
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bäume</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strömungshindernis: in engen Straßenschluchten mit viel Kfz-Verkehr kritisch (Spurenstofffalle)</li> <li>• Standorte mit subterrestrischer Infrastruktur</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrige Vegetation (Wiesen, Rasen, Beete):</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• extreme Sonnenexposition: Hitzeschlag, Sonnenstich</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fassaden- und Dachbegrünungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Denkmalschutz und Brandschutz</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bäume in Gebäudenähe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Denkmalschutz und Brandschutz</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geländemulden</li> <li>• Rigolen</li> <li>• Regenwasserzisternen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standorte mit subterrestrischer Infrastruktur</li> </ul>