



Methodik-Papier zum Handlungsfeld Planung und Bau: Klimaanalyse NRW 2026 – Hintergrund und Methodik

Hintergrund

Die landesweite Klimaanalyse NRW 2026 wurde in Anlehnung an VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (VDI 2015) durchgeführt. Die Aufbereitung stadtklimatischer Sachverhalte in Kartenform dient ihrer Nutzbarmachung für die Stadt- und Regionalplanung. Hierbei werden in erster Linie die räumliche Ausprägung des Luftaustausches sowie thermisch belasteter Gebiete betrachtet und die Ausgleichs- und Belastungs- bzw. Wirkräume zueinander in Beziehung gesetzt. Aus den Ergebnissen werden Empfehlungen für die Planung zur Verbesserung oder zum Erhalt der Situation abgeleitet. Der Fokus wird hierbei auf das Thema der bioklimatischen Belastung (Hitze) gelegt. Vor dem Hintergrund des Klimawandels gewinnt die Berücksichtigung der thermischen Situation sowie der Auswirkungen von Bau- und Planungsmaßnahmen auf diese an Bedeutung.



Klimaanalyse NRW 2026 © AdobeStock:
Tanapat Lek,jew_284247865

Die Klimaanalyse NRW 2026 stellt sowohl eine Aktualisierung als auch eine grundlegende Weiterentwicklung der ersten landesweiten Klimaanalyse aus dem Jahr 2018 dar. Sie besteht aus folgenden Karten, zu denen jeweils eingeständige Methodik-Papiere erstellt wurden:

- [Klimatopkarte](#)
- [Klimaanalysekarte Tag](#)
- [Klimaanalysekarte Nacht](#)
- [Planungshinweiskarte](#)
- [Regional bedeutsame Klimafunktionen](#)
- [Betroffenheitsanalyse](#)

Zudem beschreibt dieses Methodik-Papier den Hintergrund der Modellierung und die entsprechenden Datengrundlagen, Annahmen und Aufbereitungen für die Klimaanalyse im Detail. Darüber hinaus liegt ein zusammenfassender Methoden- und Ergebnisüberblick (LANUK-Fachbericht 171) vor, der die grundlegende Methodik sowie die wichtigsten Ergebnisse der gesamten Klimaanalyse NRW 2026 enthält.

Grundlagen

Szenarien und meteorologische Eingangsdaten

In der Klimaanalyse NRW 2026 wurden zwei Szenarien betrachtet. Zum einen der „typische Sommertag“, zum anderen der „extreme Sommertag“. Es wurde bewusst darauf verzichtet, eine zukünftige Situation auf Basis von Daten aus Klimaprojektionen und verschiedene Klimaszenarien zu betrachten, da diese Ergebnisse auf einer viel größeren räumlichen Ebene erzeugt und dargestellt werden (min. 5 km-Raster). Darüber hinaus spielt für alle Untersuchungsaspekte im Rahmen der Klimaanalyse – thermischen Belastung (v. a. im Siedlungsraum), Kaltluftprozesse (v. a. im Freiraum) und die Austauschprozesse zwischen Siedlungs- und Freiraum – im Wesentlichen die Flächennutzung die entscheidende Rolle für ihre Ausprägung. Allerdings bestehen neben den Unsicherheiten mit denen landesweite Modellierungen verbunden sind, naturgemäß auch große Unsicherheiten in Bezug auf zukünftige Flächennutzungsänderungen oder die Bevölkerungsentwicklung in NRW. Daher wurden zwei Szenarien, basierend auf den derzeitigen Flächennutzungen, der Struktur des Siedlung- und Ausgleichsraums sowie klimatischen Bedingungen, definiert.

Zur Ableitung der Szenarien „typischer Sommertag“ und „extremer Sommertag“ wurden die Daten der DWD-Messtation Düsseldorf (Flughafen) verwendet, da dort alle erforderlichen Parameter vorliegen, um Strahlungswetterlagen abzuleiten, welche als Grundlage verwendet wurden.

Eine Strahlungswetterlage – auch autochthone Wetterlage genannt – muss die folgenden Kriterien erfüllen für 10 Stunden innerhalb des Zeitraumes 17 Uhr MEZ bis 5 Uhr MEZ erfüllen:

- maximale Windgeschwindigkeit: < 2,7 m/s
- maximale Bewölkung: 4 Achtel

Sie ist also v.a. durch schwachen Wind und geringe Bewölkung geprägt und führt dazu, dass die lokalklimatischen Unterschiede in erster Linie auf die Flächennutzung zurück zu führen sind. Daher werden für die Modellierung typischerweise Strahlungswetterlagen betrachtet.

Für den „typischen Sommertag“ wurde der Mittelwert aller autochthonen Nächte an der Messstation in Düsseldorf im Zeitraum 1993-2022 betrachtet (Abbildung 1). Dieser ergab für den Zeitpunkt 21 Uhr MEZ, welcher zur Modellinitialisierung verwendet wird, einen Wert von 20,4 °C. Für den „extremen Sommertag“ wurde der gemessene Wert für das 95. Perzentil aller autochthonen Nächte herausgegriffen: hier lag der Temperaturwert bei 24,6 °C. Diese Werte wurden hinsichtlich der Höhe korrigiert, da die Initialisierung des Modells am Nullpunkt erfolgt (die Station Düsseldorf Flughafen liegt auf 37 m Höhe). So waren die Modellstartwerte um 21 Uhr MEZ für den „typischen Sommertag“ 20,6 °C und für den „extremen Sommertag“ 24,8 °C.

Neben der Starttemperatur gelten die folgenden meteorologischen Bedingungen für beide Szenarien als Eingangsparameter:

- Bedeckungsgrad: 0/8,
- Kein überlagernder geostrophischer Wind → es wurde ein Nesting in die Deutschlandrechnung (200 m × 200 m Auflösung) vorgenommen
- Relative Feuchte der Luftmasse: 50 %.
- Simulationstag: 21.06. (längster Tag → höchste Einstrahlung möglich)

Diese sollen entsprechen einen Strahlungstag (autochthone Situation) repräsentieren.

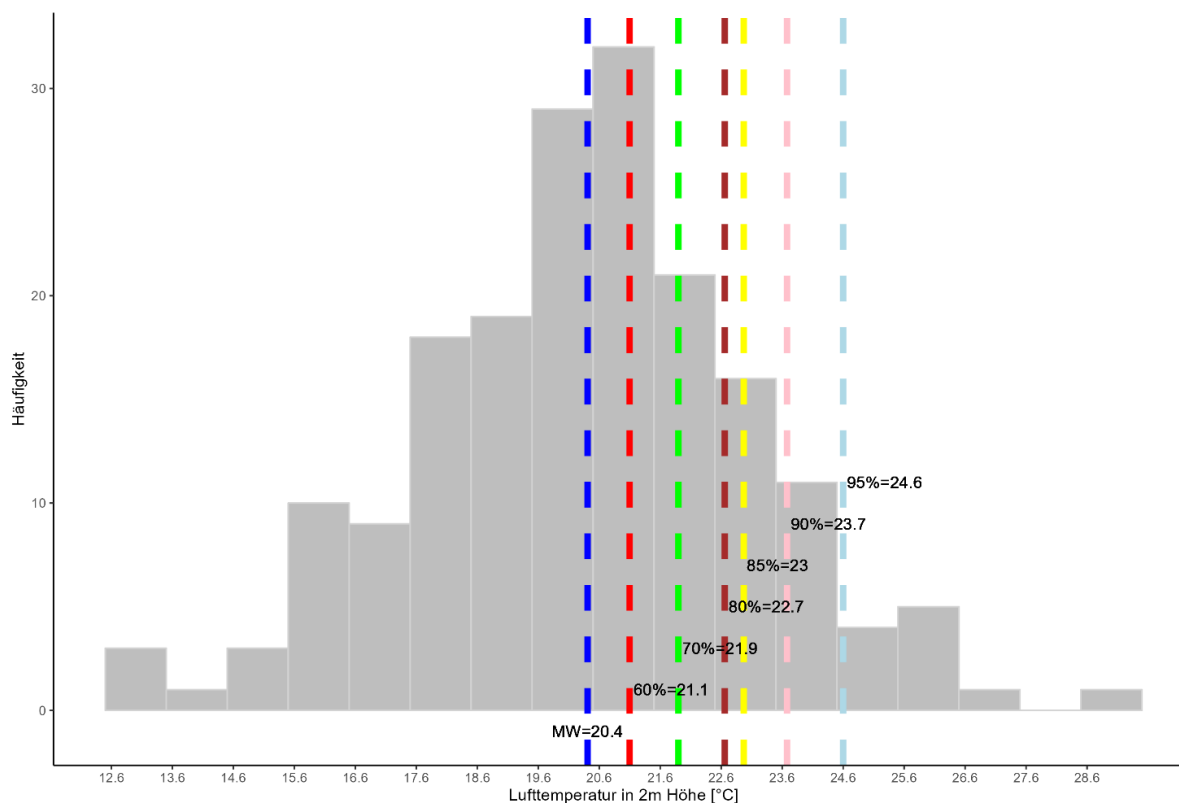


Abbildung 1: 21 Uhr (MEZ) Temperatur der Sommertage aller autochthonen Nächte in den Sommermonaten (JJA) an der DWD-Station Düsseldorf (37 m) für den Zeitraum 1993-2022 (Datenquelle: DWD; Darstellung: GEO-NET 2026).

Autochthone und allochthone Wetterlagen

Um eine Einschätzung vornehmen zu können, wie viele wärmebelastende Situationen auftreten, die auf autochthone Bedingungen zurückzuführen sind, wird in Abbildung 2 die langjährige mittlere Anzahl an autochthonen Nächten an der DWD-Station Düsseldorf dargestellt. In Düsseldorf traten in diesem Zeitraum durchschnittlich 49,9 windschwache Strahlungsnächte pro Jahr auf, wobei saisonale Unterschiede mit einer höheren Anzahl im Sommerhalbjahr zu verzeichnen sind (Abbildung 2). In den drei Sommermonaten Juni, Juli und August wurden im jährlichen Mittel 19 windschwache Strahlungsnächte beobachtet, was einem Anteil von 21 % entspricht – jede fünfte Sommernacht steht folglich unter autochthonen Bedingungen. Die Station Düsseldorf ist, wie die meisten DWD-Stationen, WMO-konform aufgebaut und liegt nicht im urbanen Stadtgebiet, sondern am rural geprägten Rand der Stadt. Daher kann es zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Auftrittshäufigkeit autochthoner Nächte in der Innenstadt kommen. Die genannten Angaben sind daher als Mindestmaß zu verstehen.

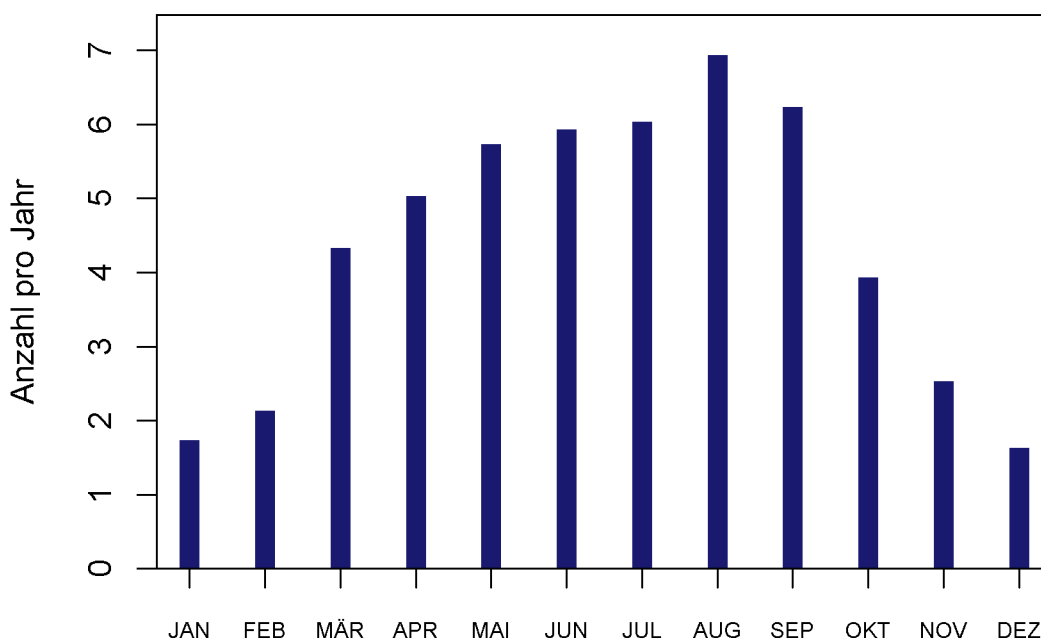


Abbildung 2: Langjährige mittlere Anzahl an autochthonen Nächten an der DWD-Station Düsseldorf für den Zeitraum 1993-2022 (Datenquelle: DWD, Darstellung: GEO-NET 2026).

Neben autochthonen Wetterlagen kann es auch durch allochthone Wetterlagen zu wärmebelastende Situationen kommen. Während allochthoner Wetterlagen wird die Witterung durch den Herantransport von Luftmassen aus anderen Gebieten bestimmt. Je nach Prägung der Luftmassen herrscht dann in NRW eine kalte, kühle, feuchte, trockene, heiße, schwüle etc. Witterung vor bzw. eine Kombination der genannten Eigenschaften. Hier wirkt sich die Witterung unabhängig von der Flächennutzung auf alle Gebiete großräumig aus. Die dargestellten Inhalte der Klimaanalyse gelten daher nur für autochthone Wetterlagen.

Modell

Numerische Modellanwendungen weisen gegenüber anderen Analysenverfahren (Messungen, reine GIS-Analysen) den großen Vorteil auf, dass sie umweltmeteorologisch relevante Größen wie Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur und unter Berücksichtigung der zentralen physikalischen atmosphärischen Prozesse ermitteln können. Diese Felder können im sog. Postprocessing verwendet werden, um weitere relevante Kenngrößen (z. B. Kaltluftparameter, humanbioklimatische Indizes) abzuleiten.

Die Modellrechnungen für die Klimaanalyse NRW 2026 wurden mit dem etablierten mesoskaligen Stadtklimamodell FITNAH-3D durchgeführt. Die Grundgleichungen von FITNAH-3D sind in der Literatur beschrieben (GROSS 1989 und GROSS 1992). FITNAH-3D erfüllt die in der VDI-Richtlinie 3787, Bl.7 (2024) definierten Standards für mesoskalige Windfeldmodelle im Zusammenhang mit dynamisch und thermisch bedingten Strömungsfeldern. Modellanwendungen mit FITNAH-3D benötigen meteorologische Rand- und Startbedingungen sowie spezifische Eingangsdaten. Dazu zählen:

- Gelände/Orographie (Datenquelle: DGM – Digitales Geländemodell in einer Auflösung von 1 m×1 m)
- Landnutzung: es werden in FITNAH 19 Landnutzungsklassen definiert (Datenquelle: Basis-DLM, ALKIS Gebäudeumrisse, DOM – Digitales Oberflächenmodell, CORINE Landcover/Copernicus, Imperviousness Layer/Copernicus)
- Strukturhöhe (Differenz DOM-DGM)
- Bodenfeuchte (mGROWA Daten – Kooperationsprojekt LANUK/FZ Jülich).

Für die meteorologischen Randbedingungen wurden folgende Annahmen getroffen: Bedeckungsgrad 0/8, kein überlagernder geostrophischer Wind, relative Feuchte der Luftmasse 50 %, Simulationstag 21.06. (für Strahlung relevant). Diese bilden die Grundlage, um für Strahlungswetterlagen (autochthone Wetterlagen) typische Verhältnisse abzubilden. Während solcher Strahlungswetterlagen spielt die Flächennutzung die ausschlaggebende Rolle für die thermische Belastung und mögliche ausgleichende Kaltluftsysteme. Modelliert wurde ein Tagesgang mit Start um 21:00 Uhr bis um 14:00 Uhr (MEZ) des Folgetages.

Die horizontale Auflösung in einem regelmäßigen Gitter reicht dabei von 5 m bis 200 m. Die vertikale Gitterweite ist nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 40 und 70 m über Grund (ü. Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü. Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Relief und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Grundsätzlich gilt dabei, je höher die horizontale räumliche Auflösung, desto mehr Details der Erdoberfläche können im Modell berücksichtigt werden und desto hochwertiger sind auch die Modellergebnisse. Den limitierenden Faktor stellt dabei nicht die Größe des zu untersuchenden Modellgebietes, sondern einzig die Rechenzeit dar. Die Wahl der „richtigen“ Modellauflösung muss also stets über eine Abwägung zwischen der zu erfüllenden Analyseaufgabe, den bereitgestellten zeitlichen und sonstigen Ressourcen sowie den zur Verfügung stehenden Eingangsdaten erfolgen. Die Modellierung

der Klimaanalyse NRW 2026 ist in einer horizontalen Auflösung von 25 m × 25 m erfolgt, das entspricht für das gewählte Modellgebiet rund 114 Mio. Rasterzellen. In der gewählten Modellauflösung werden einzelne Gebäude- oder Grünstrukturen nicht explizit aufgelöst (bedeutet: berücksichtigt), sondern über ein Set an vordefinierten, idealisierten Landnutzungsklassen repräsentiert. Diese geben für unterschiedliche Bebauungsstrukturtypen (Einfamilienhaussiedlung, Blockrandbebauung etc.) bestimmte Anteile für den Bebauungsgrad, den Versiegelungsgrad, den Anteil unversiegelter Flächen (mit und ohne Vegetation) und der Strukturhöhe je Pixel vor (Abbildung 3).

FITNAH-3D-Nutzungsklassen

In FITNAH-3D werden 19 Landnutzungsklassen definiert. Im Normalfall können die in Tabelle 1 genannten Klassen, die sich zu den drei Clustern „Urbane Strukturen“, „Verkehrsinfrastrukturen“ und „Freiraumstrukturen“ zusammenfassen lassen, unterschieden werden. Dabei kann es vorkommen, dass einzelne Klassen nicht besetzt sind – in NRW ist dies beispielsweise für die Klassen 15 „Rebflächen“ und 17 „Gletscher“ der Fall.

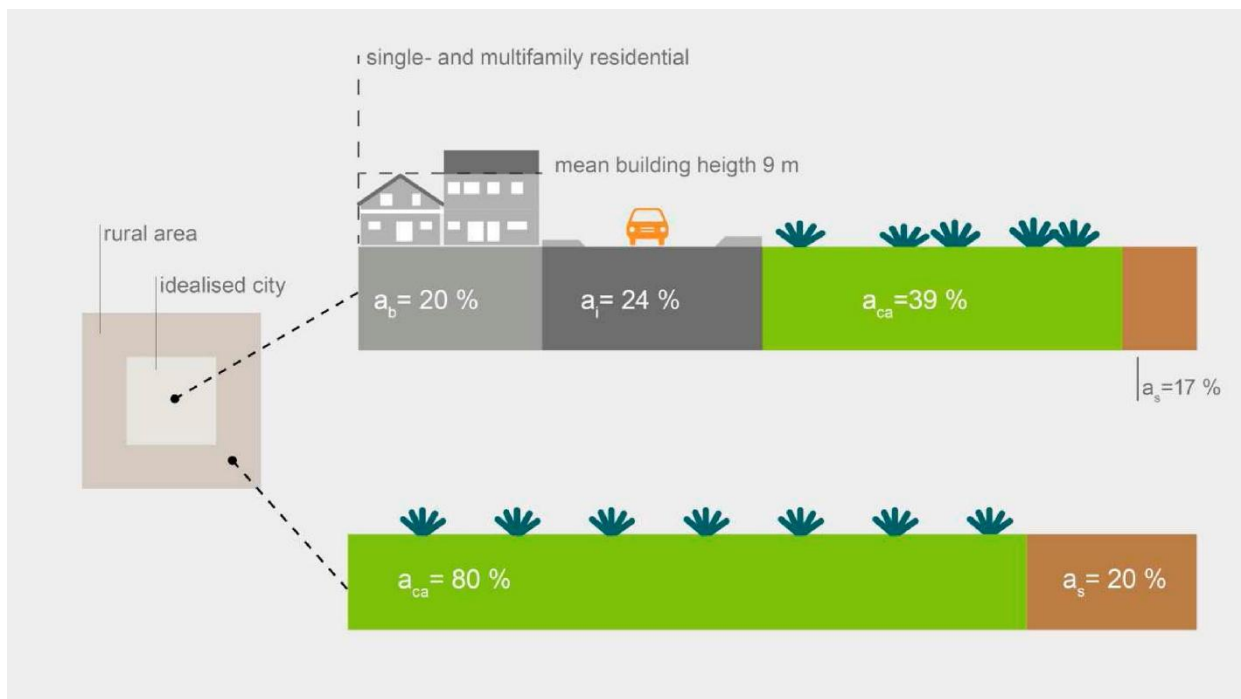


Abbildung 3: Schematische Darstellung von idealisierten Landnutzungsklassen (hier Ein- und Mehrfamilienhäuser) in mesoskaligen Stadt-/Regionalklimamodellen (Quelle: BUCHHOLZ & KOSSMANN 2015).

Die FITNAH-3D-Nutzungsklassen werden in erster Linie durch das Basis-DLM bestimmt. Das Basis-DLM enthält 25 Objektarten. Ein Großteil dieser Objektarten ließ sich mithilfe einer LookUp-Tabelle direkt den FITNAH-3D-Nutzungsklassen zuordnen (Tabelle 2). Landnutzungsklassen, für die keine eindeutige FITNAH-3D-Klasse zugewiesen werden konnte, wurden über weitere Analysen und Abgleichen mit aktuellen Luftbildern klassifiziert.

Tabelle 1: FITNAH-3D-Nutzungsklassen (Quelle: GEO-NET 2026).

FITNAH-3D-Code	Nutzungsklasse	Cluster
1	Zentrumsbebauung	} Urbane Strukturen
2	Block- und Blockrandbebauungen	
3	Industrie- und Gewerbeflächen	
4	Zeilen- und Hochhausbebauungen	
5	Einzel- und Reihenhausbauung	
6	Straße	} Verkehrsinfrastrukturen
7	Gleisfläche	
8	baulich beeinflusste Grünfläche	} Freiraumstrukturen
9	Freiland, Rasen	
10	Gehölz	
11	Laubwald	
12	Mischwald	
13	Nadelwald	
14	Gewässer	
15	Rebflächen	
16	Fels	
17	Gletscher	
19	Platz	
28	Sand	

Tabelle 2: Look-Up-Tabelle zur Zuordnung der Objektart des Basis-DLM zu den FITNAH-3D-Nutzungsklassen (Quelle: GEO-NET 2026).

Objektart des Basis-DLM	FITNAH-3D-Nutzungsklasse
AX_Bahnverkehr	7 - Bahnverkehr
AX_Fliessgewaesser	14 - Gewässer
AX_Friedhof	8 - baulich beeinflusste Grünfläche
AX_Gehoelz	10 - Gehölz
AX_Hafenbecken	14 - Gewässer
AX_Halde	28 - Sand
AX_Heide	9 - Freiland, Rasen
AX_IndustrieUndGewerbeflaeche	3 - Industrie- und Gewerbeflächen
AX_IndustrieUndGewerbeflaeche mit FKT = 2630 (Deponie oberirdisch)	9 - Freiland, Rasen
AX_IndustrieUndGewerbeflaeche mit FKT = 2640 (Deponie untertage)	9 - Freiland, Rasen
AX_Insel	9 - Freiland, Rasen
AX_Landwirtschaft	9 - Freiland, Rasen
AX_Moor	9 - Freiland, Rasen
AX_Schiffsverkehr	3 - Industrie- und Gewerbeflächen
AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche mit FKT = 4110 (Golfplatz)	9 - Freiland, Rasen
AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche mit FKT = 4260 (Autokino, Freilichtkino)	19 - Platz

Objektart des Basis-DLM	FITNAH-3D-Nutzungsklasse
AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche mit FKT = 4290 (Modellflugplatz)	9 - Freiland, Rasen
AX_StehendesGewaesser	14 - Gewässer
AX_Sumpf	9 - Freiland, Rasen
AX_TagebauGrubeSteinbruch	28 - Sand
AX_UnlandVegetationsloseFlaeche	9 - Freiland, Rasen
AX_Wald mit VEG = 1100	11 - Laubwald
AX_Wald mit VEG = 1200	13 - Nadelwald
AX_Wald mit VEG = 1300	12 - Mischwald

Die FITNAH-3D-Nutzungsklassen unterscheiden fünf urbane Klassen (Tabelle 3). Das Basis-DLM unterscheidet hingegen die urbanen Strukturen v. a. hinsichtlich ihrer Nutzung und definiert die folgenden urbanen Klassen (ausgenommen Gewerbeflächen):

- Fläche besonderer funktionaler Prägung – Geschlossen
- Fläche besonderer funktionaler Prägung – Offen
- Fläche gemischter Nutzung – Geschlossen
- Fläche gemischter Nutzung – Offen
- Wohnbaufläche – Geschlossen
- Wohnbaufläche – Offen

Die Einteilung der urbanen Klassen in FITNAH-3D kann somit nicht ausschließlich über das Basis-DLM erfolgen. Damit dennoch zwischen allen fünf urbanen FITNAH-3D-Klassen unterschieden werden kann, wurde ein Algorithmus entwickelt, welcher auf Gebäudeanteilen und Versiegelungsgraden basiert. Tabelle 4 zeigt die Zuordnung der „Urbanen Strukturen“ der FITNAH-3D-Nutzungsklassen aus der Kombination des Gebäudeanteils und Versiegelungsgrads. Klasse 1 „Zentrumsbebauung“ wird z. B. nur vergeben, wenn der Versiegelungsgrad > 80 % ist und der Gebäudeanteil > 40 %. Zusätzlich zu den fünf urbanen Klassen wird hier auch Klasse 8 „baulich beeinflusste Grünfläche“ vergeben, wenn der Versiegelungsgrad < 20 % und der Gebäudeanteil < 30 % ist. Gewerbeflächen werden ausschließlich über das Basis-DLM gesetzt und sind hier nicht aufgeführt.

Tabelle 3: „Urbanen Strukturen“ der FITNAH-3D-Nutzungsklassen (Quelle: GEO-NET 2026).

FITNAH-3D - Code	Nutzungsklasse
1	Zentrumsbebauung
2	Block- und Blockrandbebauungen
3	Industrie- und Gewerbeflächen
4	Zeilen- und Hochhausbebauungen
5	Einzel- und Reihenhausbebauung

Tabelle 4: Zuordnung der „Urbanen Strukturen“ der FITNAH-3D-Nutzungsklassen aus der Kombination des Gebäudeanteils und Versiegelungsgrads. Die Farbcodierung entspricht jener aus Tabelle 3. Zusätzlich ist Klasse 8 „baulich beeinflusste Grünfläche“ grün codiert (Quelle: GEO-NET 2026).

Gebäudeanteil Versiegelungsgrad	0 % – 5 %	6 % – 15 %	16 % – 30 %	31 % – 40 %	41 % – 100 %
0 % – 20 %	8	8	8	5	5
21 % – 40 %	5	5	5	5	5
41 % – 60 %	5	5	5	5	4
61 % – 80 %	5	5	5	4	2
81 % – 100 %	5	4	4	2	1

Abschließend folgt ein Vergleich mit den urbanen Klassen des Basis-DLMs, um die Klassifikation der urbanen FITNAH-3D-Nutzungsklassen zu verbessern. Je nach DLM-Nutzung dürfen nur bestimmte FITNAH-3D-Nutzungsklassen vergeben werden. Sind über die Zuweisung aus Tabelle 4 andere FITNAH-3D-Nutzungsklassen vergeben worden, werden diese entsprechend herunter- bzw. hochgestuft:

- Fläche funktionaler Prägung – offen: Klassen 2, 4 und 5
- Fläche funktionaler Prägung – geschlossen: Klassen 1 und 2
- Fläche gemischter Nutzung – offen: Klassen 2 und 4
- Fläche gemischter Nutzung – geschlossen: Klassen 1, 2 und 4
- Wohnbaufläche – offen: Klassen 4 und 5
- Wohnbaufläche – geschlossen: Klasse 4.

Der Ablauf bei der Zuordnung der „urbanen Strukturen“ der FITNAH-3D-Nutzungsklassen wird in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** noch einmal veranschaulicht.

Für die weiteren Cluster der FITNAH-3D-Nutzungsklassen gibt es ebenfalls schematische Verfeinerungsansätze. Hierbei wurde neben den Objektarten und Unterfunktionen des Basis-DLMs ebenfalls der Versiegelungsgrad und der Gebäudeanteil betrachtet, zusätzlich fließt die Strukturhöhe in das Zuordnungsschema ein (Abbildung 5). Bei Objektart „AX_Strassenverkehr“ wurde die Nutzungsklasse nach der Mehrheit der benachbarten Nachbarklassen vergeben, da die Straßen separat über das Straßennetz klassifiziert wurden. Dabei kamen alle Autobahnen und Bundesstraßen zur Auswahl und wurden anschließend linienhaft über das Raster gelegt. Flächen der Objektart „AX_Bergbaubetrieb“ wurden anhand des Luftbildes manuell klassifiziert.

In Abbildung 6 wird die räumliche Verteilung der FITNAH-3D-Nutzungsklassen in NRW dargestellt. Insgesamt umfassen die urbanen Klassen 7,7 % des Nutzungsrasters in NRW. 92,3 % des Bundeslandes sind Nutzungsklassen zuzuordnen, die im umweltmeteorologischen Kontext den sog. Ausgleichraum darstellen, potenziell also Klimafunktionen, die der Entlastung gegenüber Hitze dienen, bereitstellen. Demgegenüber bilden die Klassen der urbanen Strukturen den Wirkraum. Hier können thermische Belastungen für die menschliche Gesundheit auftreten, die u. a. über Kaltluftzuflüsse abgemildert werden

können. Die Werte der Landnutzungsklassen können von der offiziellen Statistik der Siedlungs- und Verkehrsfläche in NRW abweichen, u. a. aufgrund unterschiedlicher Klassenabgrenzungen sowie der in der Klimaanalyse verwendeten Auflösung von 25 m × 25 m. Für die Nutzungsklassifizierung der Modellflächen, die außerhalb NRWs liegen, wurde der Datensatz Corine Landcover mit Landnutzungsattributen verwendet.

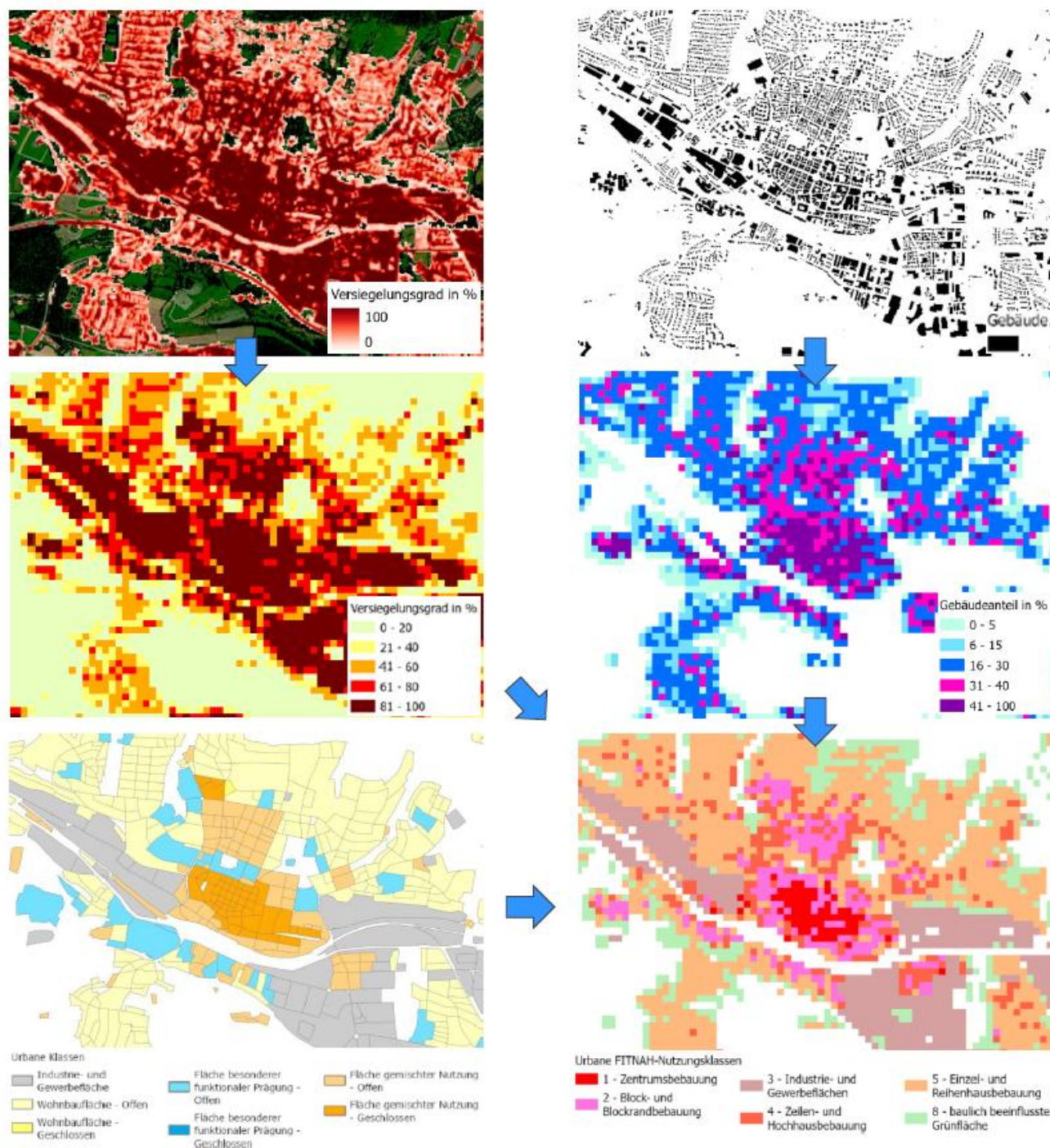


Abbildung 4: Ablaufschema zur Klassifikation urbaner FITNAH-3D-Nutzungsklassen aus Versiegelungsgrad, Gebäudeanteil und Basis-DLM (Quelle: GEO-NET 2026).

Abbildung 7 zeigt einen Detailausschnitt für einen städtisch geprägten Raum am Beispiel Düsseldorfs. Deutlich lassen sich die durch Wohnbebauung geprägten Stadtteile, wie z. B. Friedrichstadt, von Bereichen, die durch Gewerbegebiete geprägt sind, wie beispielsweise in Lierenfeld, unterscheiden. Auch wichtige Ausgleichsflächen im Umland von Düsseldorf treten deutlich hervor, wie etwa der Aaper Wald oder die landwirtschaftlich geprägten Rheinauen.

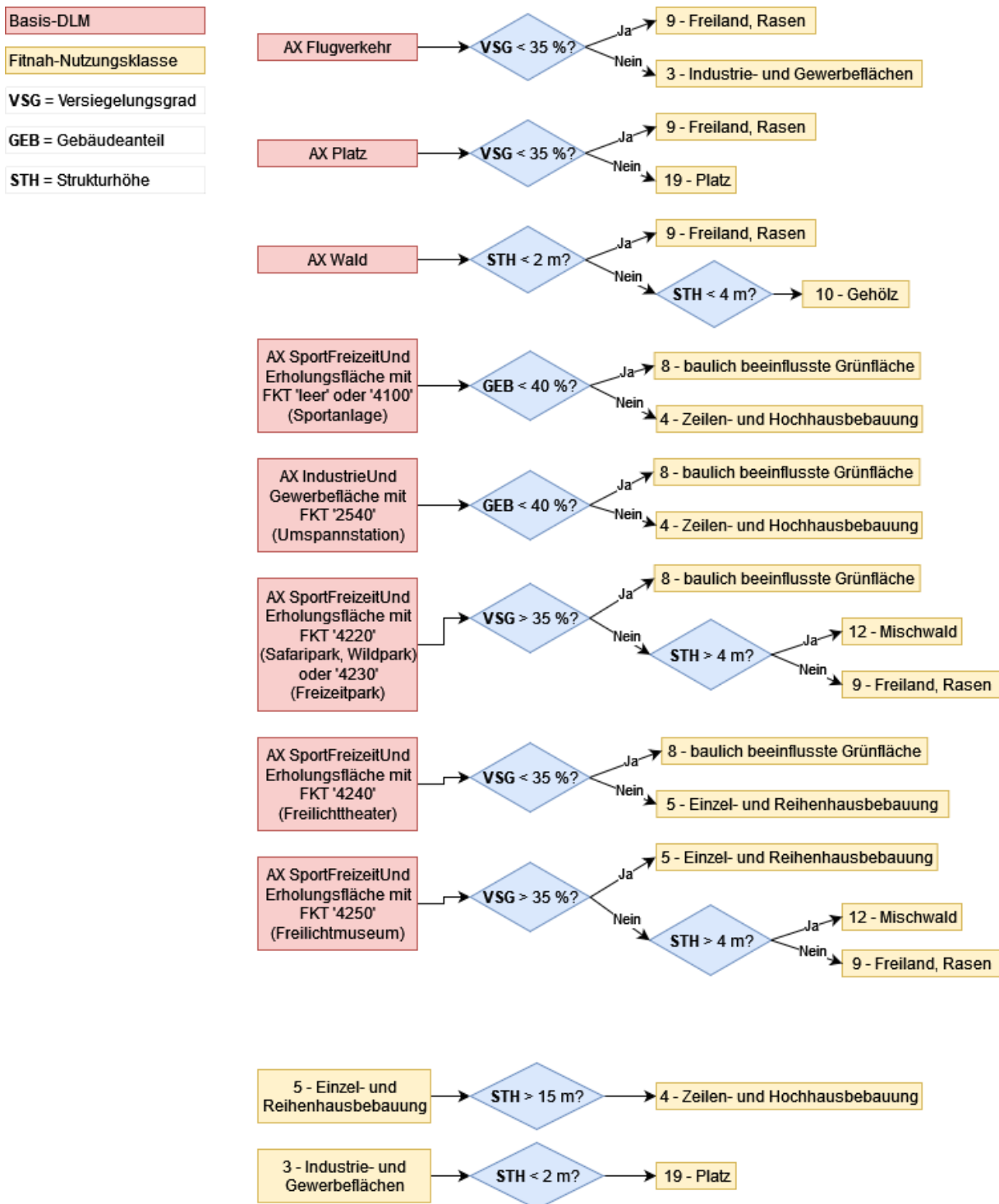


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Verfeinerung der Nutzungsklassen (GEO-NET 2026).

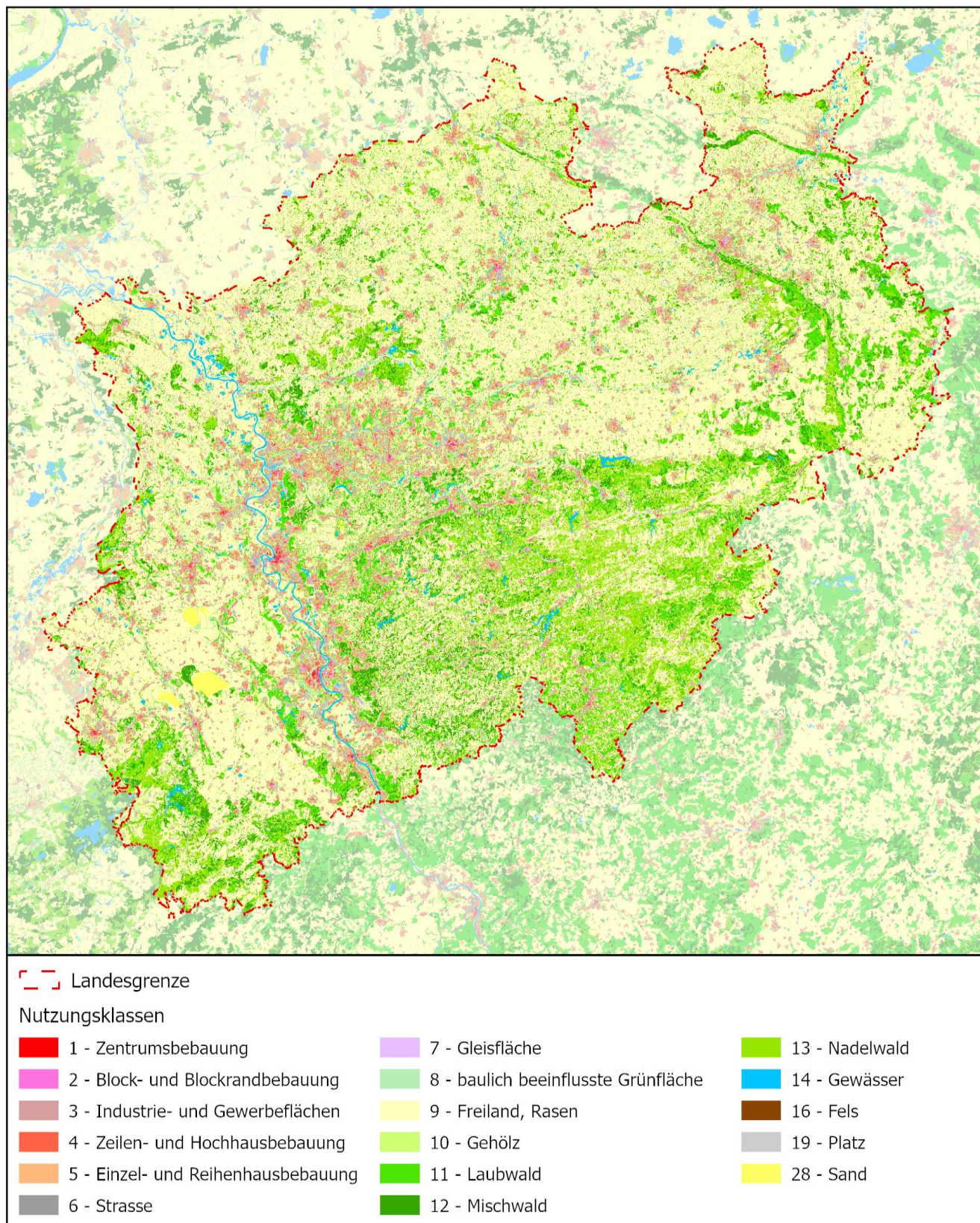


Abbildung 6: Übersicht über die FITNAH-3D-Nutzungsklassen in NRW (Quelle: GEO-NET 2026).

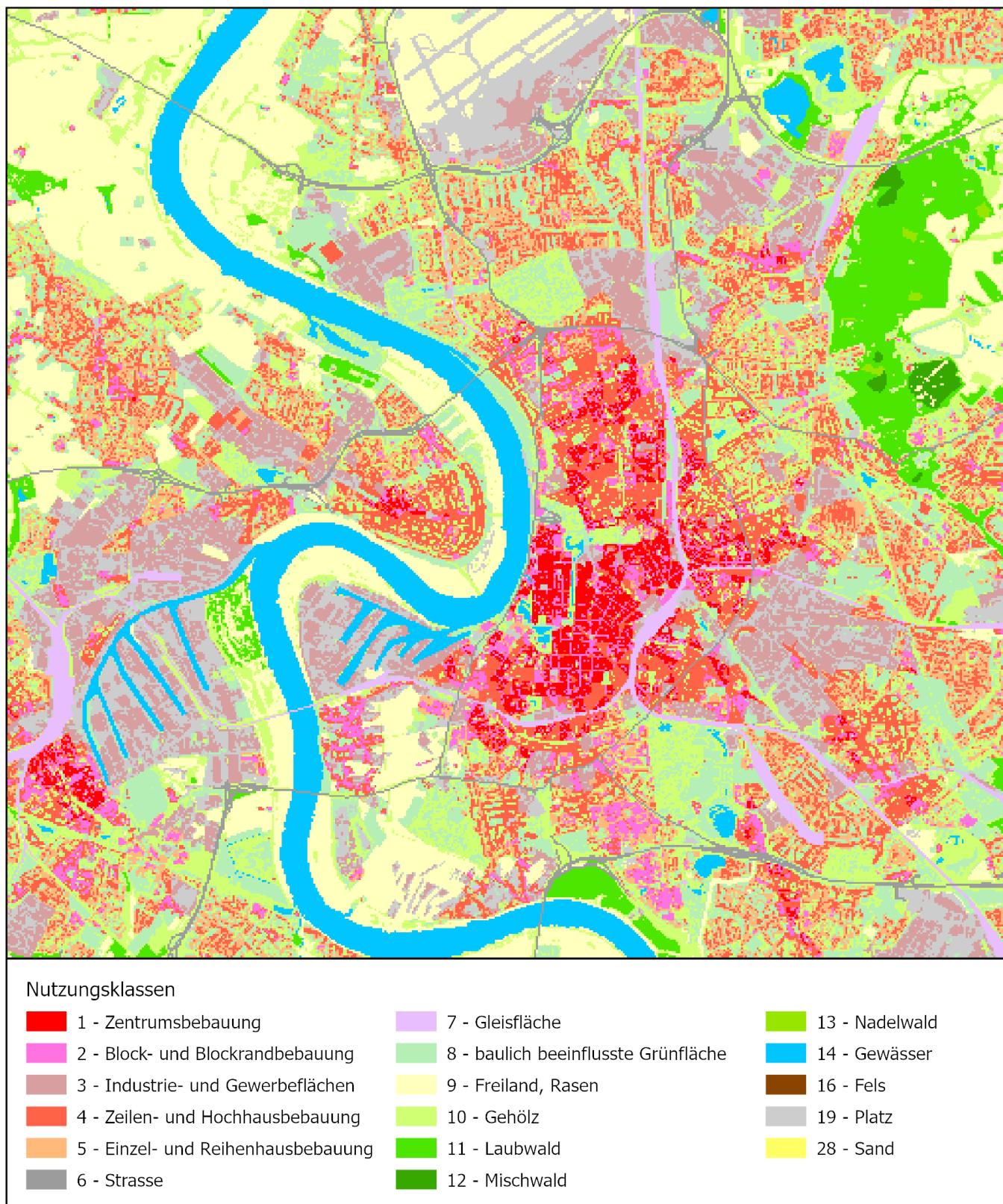


Abbildung 7: Übersicht über die FITNAH-3D-Nutzungsklassen für den Detailausschnitt Düsseldorf (Quelle: GEO-NET 2026).

Weitere Eingangsdaten

Orographie

Zur Ermittlung der Höheninformation für jeden Gitterpunkt wurde das aktuelle NRW-weite Digitale Geländemodell (DGM) in einer Auflösung von 1 m verwendet. Für die im Modellgebiet liegenden bzw. angrenzenden Bundesländer/Länder wurde das frei verfügbare EU-DEM mit einer Auflösung von 25 m verwendet (Bashfield & Keim 2011). Die beiden Geländemolldaten wurden homogenisiert und in eine Auflösung von 25 m überführt, auf das Untersuchungsgebiet zugeschnitten und miteinander verschmolzen.

Strukturhöhe

Die Strukturhöhe als weitere wichtige Modelleingangsgröße gibt die Höhe von sich auf der Erdoberfläche befindenden Objekten wie Gebäuden oder Vegetationsstrukturen an. Die Strukturhöhe dient als Rauigkeitsmaß und ist v. a. für das Strömungsgeschehen relevant. Sie ergibt sich dabei aus der Subtraktion von Digitalem Oberflächenmodell (DOM) und Digitalem Geländemodell ($DOM - DGM = \text{Strukturhöhe}$). Die daraus abgeleiteten Strukturhöhen wurden für alle urbanen Klassen (1–5 und 8) und Klassen, welche Vegetation abbilden (10, 11, 12 und 13, Tabelle 1), verwendet. Alle übrigen Klassen bekamen eine Strukturhöhe von 0 zugewiesen. Außerhalb von Nordrhein-Westfalen wurden empirischen Standardhöhenwerte für die urbanen und Vegetations-Nutzungsklassen genutzt.

Bodenfeuchte

In NRW wird das Wasserhaushaltsmodell mGROWA durch das FZ Jülich betrieben. Eine kurze Übersicht über das Modell, Eingangsdaten, Berechnungen und Ausgangsdaten liefert Abbildung 8. Das mGROWA Modell ist ein rasterbasiertes flächendifferenziertes Wasserhaushaltsmodell, welches in 100 m x 100 m Rasterauflösung Tagesdaten bereitstellt. Die Tagesdaten liegen für alle Jahre seit 1961 vor. Zur Berechnung der Bodenfeuchte als Eingangsdaten für die FITNAH-3D-Modellierung wurden die Bodenfeuchtedefizitdaten in Prozent im obersten Bodenhorizont (0 bis 30 cm Tiefe) verwendet. Das Bodenfeuchtedefizit stellt die Wassermenge dar, die benötigt wird, um den Wassergehalt in der Wurzelzone auf Feldkapazität (nFK, nutzbare Feldkapazität = pflanzenverfügbares Wasser) zu bringen. Liegt das Bodenfeuchtedefizit bei 100 %, dann ist der Wassergehalt am permanenten Welkepunkt. Ist das Defizit bei 0 %, dann ist der Wassergehalt bei Feldkapazität. Bei keinem oder geringem Bodenfeuchtedefizit setzt eine Sickerwasserbewegung (Grundwasserneubildung) ein.

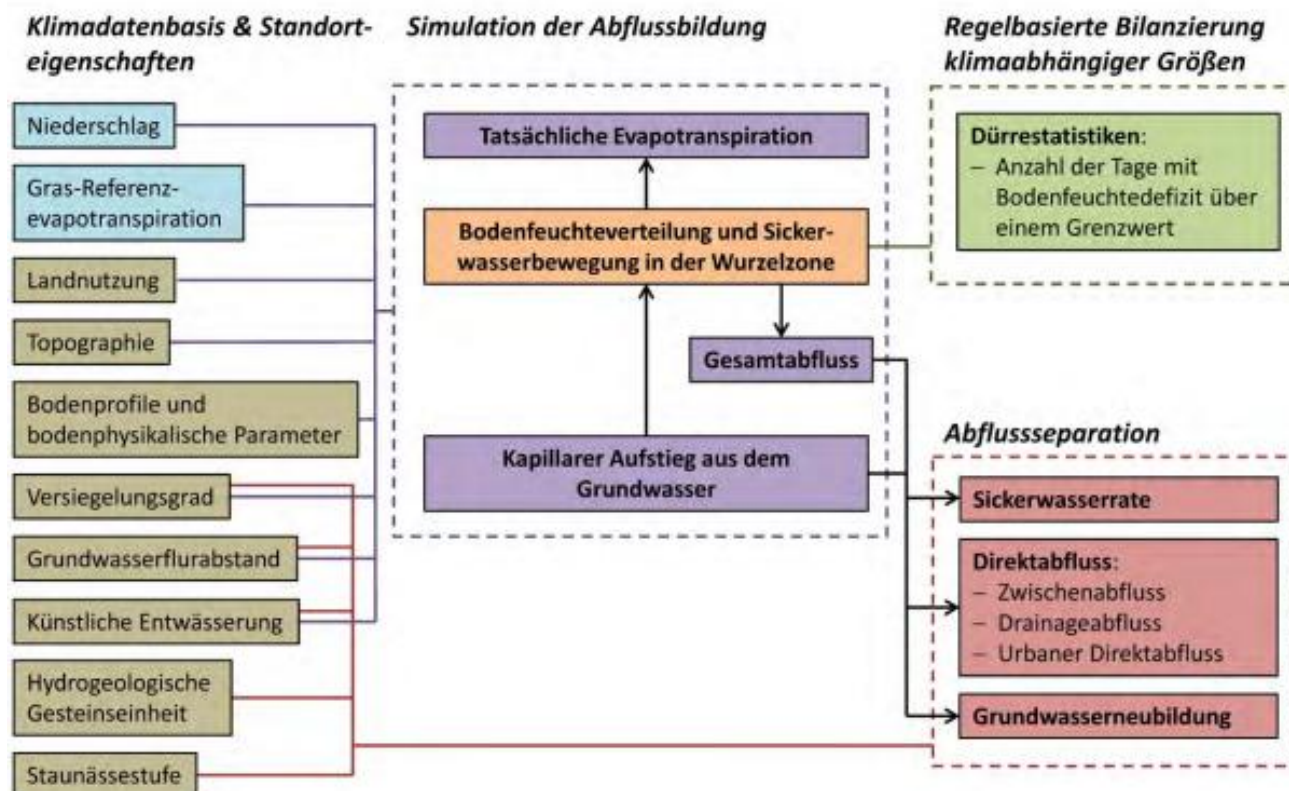


Abbildung 8: Modellkonzept des Wasserhaushaltsmodells mGROWA in der Implementierung für Nordrhein-Westfalen (Quelle: LANUV 2021).

Für den typischen Sommertag wurde der Mittelwert der Sommermonate JJA (Juni, Juli, August) der Zeitreihe 1991-2020 aus den mGROWA Simulationsdaten verwendet. Der extreme Sommertag wurde mit dem Mittelwert der Sommermonate JJA des Jahres 2022 abgebildet. Die mGROWA-Bodenfeuchtedefizite wurden dann anhand einer Zuordnungstabelle in FITNAH-3D-Bodenfeuchtwerte übersetzt (siehe Tabelle 7). Dabei wurde festgelegt, dass 0 % mGROWA-Bodenfeuchtedefizit dem Wassergehalt bei Feldkapazität entspricht (in FITNAH: 60% (extremer Sommertag) oder 80% (typischer Sommertag)) sowie 100 % mGROWA-Bodenfeuchtedefizit dem Wassergehalt am Welkepunkt (in FITNAH: 30 % Bodenfeuchte). Die dazwischenliegenden Werte wurden interpoliert. FITNAH-3D erhält die Bodenfeuchteangaben lediglich für vegetationsbestandene Flächen, d. h. für baulich beeinflusste Grünfläche, Freiland, Rasen, Gehölz und Wald. Für versiegelte Bereiche wird die Bodenfeuchte nicht berücksichtigt.

Tabelle 5: Zuordnungsschema mGROWA-Bodenfeuchtedefizit zu FITNAH-3D Bodenfeuchte (Quelle: GEO-NET 2026).

mGROWA Bodenfeuchtedefizit in %	FITNAH-3D-Bodenfeuchte in %: typischer Sommertag	FITNAH-3D-Bodenfeuchte in %: extremer Sommertag
0	80	60
100	30	30

Gewässertemperatur

Neben einer individuellen bodennahen Lufttemperatur ist FITNAH-3D auch in der Lage, räumlich und tageszeitlich flexible Oberflächentemperaturen von offenen Wasserflächen zu berücksichtigen. Die oberflächennahe Wassertemperatur hängt grundsätzlich von der Entfernung zur Mündung, Breite und Tiefe des Flusses sowie meteorologischen Gegebenheiten wie Sonneneinstrahlung, langwelliger Wärmestrahlung und Verdunstung (Evaporation) ab (CAISSIE 2006). Darüber hinaus spielt der Wasserstand des Flusses für die Erwärmung des Wasserkörpers eine Rolle.

Die Strahlungsenergie der Sonne führt bei Wasser nicht nur zu Erwärmung, sondern auch zu Verdunstung. Die Strahlung dringt je nach Trübheitsgrad tief in den Wasserkörper ein. Das Wasser erwärmt sich bis in tiefere Schichten, da es bei Fließgewässern durch die Bewegung zu Durchmischungsprozessen kommt. Durch die zeitgleich auftretende Evaporation erwärmt sich das Wasser jedoch weniger schnell, als das bei anderen Strukturen der Fall ist, wie bspw. Boden oder Gestein. Der Prozess der Evaporation verbraucht Wärmeenergie und entzieht der unmittelbaren Umgebung somit die Wärme. Durch die geringe Temperaturzunahme bei großer Energiezufuhr und geringe Temperaturabnahme bei Abkühlung sind Wasserkörper gute Wärmespeicher (KUTTLER 2013). Dementsprechend sind die Temperaturextreme im Wasser geringer und treten zeitlich verzögert auf.

Wasserflächen haben tagsüber einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort, der dem von Vegetationsflächen vergleichbar ist. Jedoch ist die Reichweite der Wirkung eher gering und reicht häufig kaum über die eigentliche Wasserfläche hinaus (KUTTLER et al. 2012). Nachts können Wasserflächen sogar leicht negative Auswirkungen haben, da sie höhere Temperaturen als die Umgebung aufweisen (KUTTLER et al. 2012). Dadurch können sie Einfluss auf das Flurwindsystem haben. Zudem sind sie meist die tiefsten Punkte im Stadtre relief, was diesen Effekt noch verstärkt. Darüber hinaus können insbesondere Fließgewässer aufgrund ihrer geringen Rauigkeit als Luftleitbahnen dienen.

Zur Ermittlung geeigneter Wassertemperaturen für die Modellierung wurden Messstellen des LANUK ausgewertet. Insgesamt standen 74 valide Messstationen zur Verfügung, die sich gut für die Analyse der Wassertemperaturen eignen. Ziel war es, einen sommerlichen Mittelwert über mehrere Jahre hinweg zu berechnen. Die Zeitreihen der einzelnen Stationen reichen – je nach Standort – teilweise bis ins Jahr 1995 zurück. Die Messdaten liegen in Intervallen von 15 Minuten bis zu einer Stunde vor. Auf dieser Basis wurden Tagesmaximalwerte ermittelt und anschließend für die Sommermonate Juni, Juli und August über den jeweiligen verfügbaren Zeitraum gemittelt. Die Zuordnung der Wassertemperaturen zu den Flussabschnitten, basierend auf dem Basis-DLM, erfolgt in der Regel direkt über die jeweilige Messstation, die den entsprechenden Fluss erfasst. Bei kleineren Flussabschnitten ohne eigene Messstelle erfolgt die Zuweisung auf Basis benachbarter Stationen mit vergleichbarer hydrologischer Lage. Für stehende Gewässer wurde eine pauschale Standardwassertemperatur von 20 °C angenommen. Diese Gewässertemperaturen dienten als Grundlage für die Modellierung des typischen Sommertages. Für das Szenario „extremer Sommertag“ wurden die Werte jeweils um +2,1 °C erhöht. Das entspricht der Hälfte der Differenz der Starttemperaturen für die Lufttemperatur zwischen den beiden Szenarien (typischer und extremer Sommertag).

Datenquellen

Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die verwendeten Daten und Bezugsquellen.

Tabelle 6: Übersicht der Datenquellen.

Datensatz	Aktualität	Format	Quelle
ALKIS Gebäudeumrisse	2023	Vektor-Polygon	Geoportal NRW/ OpenGeodata.nrw https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/
Basis-DLM	2023	Vektor-Polygon	Geoportal NRW/ OpenGeodata.nrw https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/
Corine Landcover	2018	Vektor-Polygon	Copernicus CLC 2018 https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018
Digitales Geländemodell	2022	GeoTIFF, 1 m Auflösung	Geoportal NRW/ OpenGeodata.nrw https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/
Digitales Oberflächenmodell	2022	GeoTIFF, 1 m Auflösung	Geoportal NRW/ OpenGeodata.nrw https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/
EU-DEM	2011	GeoTIFF, 25 m Auflösung	Bashfield & Keim 2011
Gewässertemperatur	1995-2023	Stunden-mittelwerte	LANUK (unveröffentlicht)
Imperviousness Density Map	2018	GeoTIFF, 10 m Auflösung	Copernicus Imperviousness https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness
mGROWA Bodenfeuchtedefizit	2024	GeoTIFF, 100 m Auflösung	FZ Jülich (unveröffentlicht)
Straßennetz	2023	Vektor-Linie	Geoportal NRW/ OpenGeodata.nrw https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/

Modellausgabegrößen

Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt

FITNAH-3D gibt für den Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt neun verschiedene physikalisch-meteorologische Ausgabegrößen für mehr als 20 Vertikalschichten und für stündliche – bei Bedarf auch für noch kürzere – Zeitschnitte aus (Tabelle 7). Insgesamt ergibt sich somit eine deutlich vierstellige Anzahl an Variablendimensionen als Ausgangspunkt für die aufgabenstellungsorientierte Weiterverarbeitung dieses Datensatzes mit einem Umfang von mehreren hundert Gigabyte (GB). Zu den wesentlichsten Parametern zählen Strömungsparameter mit den drei Komponenten „u“ (Ost-West-Komponente), „v“ (Nord-Süd-Komponente) und „w“ (Vertikalkomponente) sowie die die bodennahe Lufttemperatur beeinflussende Größen wie der fühlbare und latente Wärmestrom.

Tabelle 7: Von FITNAH-3D zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt berechnete Parameter (Quelle GEO-NET 2026).

Parameter und Einheit	Einheit	Dimensionalität
U-Komponente (Horizontalkomponente) des Windes	m/ s	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
V-Komponente (Horizontalkomponente) des Windes	m/ s	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
W-Komponente (Vertikalkomponente) des Windes	m/ s	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Potentielle Lufttemperatur	K	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Diffusionskoeffizient für Impuls	m ² / s ²	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Turbulente kinetische Energie	m ² / s ²	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Wärmestrom der Oberflächen	W/ s ²	Stündlich, zweidimensional für die Oberflächen
Luftdruck	N/ m ²	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Spezifische Feuchte	kg/ kg	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten

Um die der Analyse zu Grunde liegenden hochgradig angewandten Fragestellungen bearbeiten zu können, hat sich in der gesamten Fachdisziplin eine gutachterliche Verdichtung und Weiterverarbeitung der vom Modell berechneten Parameter etabliert. In diesem sog. Postprocessing werden aus den o. g. Modellausgabegrößen standardisierte Kenngrößen abgeleitet, die von Anwendern in der Regional- und Stadtplanung mit entsprechenden Grundkenntnissen und Fachgutachtern gleichermaßen verstanden und interpretiert werden. Für die Klimaanalyse NRW 2026 wurden neun Parameter berechnet (Tabelle 8). Hierbei handelt es sich insbesondere um Windfelder, Kaltluftparameter, absolute Lufttemperaturen und humanbioklimatische Indizes wie die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET). Die PET wird nach den Modellsimulationen in einem Postprocessing-Schritt berechnet und nutzt dafür die Klimaparameter Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, spezifische Feuchte und Windgeschwindigkeit (u, v). Bezüglich der zu betrachtenden Vertikalschichten liegt der Fokus auf dem bodennahen Niveau, was dem Aufenthaltsbereich des Menschen entspricht. Mit der Kaltluftvolumenstromdichte und der Kaltluftmächtigkeit existieren hier zwei Ausnahmen, bei denen bis zu einer spezifischen Höhe integriert wurde.

Tabelle 8: Abgeleitete Ausgabegrößen von FITNAH-3D zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt.

Parameter und Einheit	Einheit	Höhen-niveau	Zeitliche Dimension	Untersuchte Szenarien
Absolute Lufttemperatur	°C	2 m ü. Gr.	23:00 Uhr	Alle
			04:00 Uhr	Alle
			14:00 Uhr	Alle

Kaltluftprodukti- onsrate	m³/(m²*h)	Boden- oberfläche	23:00 Uhr	Alle
			04:00 Uhr	Alle
			23:00 Uhr	Alle
			04:00 Uhr	Alle
Kaltluftvolumen- stromdichte	m³/(s*m)	Integral bis 50 m ü. Gr.	23:00 Uhr	Alle
			04:00 Uhr	Alle
Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)	°C	1,1 m ü. Gr.	14:00 Uhr	Alle
Vorwärtstrajek- torien im Ausgleichsraum	m	20 m ü. Gr.	22:00 bis 05:00 Uhr	Bestands- situation
Windgeschwin- digkeit	m/s	2 m ü. Gr.	23:00 Uhr	Alle
			04:00 Uhr	Alle
Windrichtung [als geographische Rotation]	°	2 m ü. Gr.	23:00 Uhr	Alle
			04:00 Uhr	Alle

Die Auswertezeitpunkte sind für die nächtlichen Kenngrößen 23:00 Uhr (MEZ) für den Zeitpunkt der ersten Nachthälfte und 04:00 Uhr (MEZ) als Zeitpunkt der maximalen Abkühlung bzw. Ausprägung des Kaltluftprozessgeschehens sowie für die Tagsituation 14:00 Uhr (MEZ) als Zeitpunkt der maximalen Einstrahlung. Die Vorwärtstrajektorien, welche zentrale Bestandteile der Karte der Planungsempfehlung Regionalplanung darstellen, wurden in einer Zeitspanne von Sonnenuntergang 22 Uhr bis Sonnenaufgang 5 Uhr (MEZ) ausgewertet.

In der Literatur und auch in der Praxis werden insbesondere die Kaltluftparameter nicht immer einheitlich abgeleitet bzw. definiert, sodass im Folgenden auf die in der Klimaanalyse NRW 2026 verwendeten Parameter kurz im Detail eingegangen werden soll.

Bei Kaltluft handelt es sich allgemeingültig um eine Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und ist zudem über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Bei der Kaltluftproduktionsrate handelt es sich nun um das Luftvolumen (in m^3), das sich pro Flächeneinheit (in m^2) und pro Zeiteinheit (in h) um einen bestimmten Faktor abkühlt. Die Kaltluftproduktionsrate ist abhängig von der Landnutzung sowie dem Relief. Dabei gilt, dass im ebenen Gelände weniger Kaltluft produziert wird als an Hängen. In der Literatur sind Werte zwischen 10 und $42 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ für Freilandflächen (z. B. Grünland, Ackerflächen) sowie zwischen 2 und $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ für Wälder veröffentlicht (z. B. GROSS 1987, LOHMEYER & SCHÄDLER 1998 und SIEVERS 2005). Im verdichteten

urbanen Bereich wird sehr wenig und über Wasserflächen keine Kaltluft produziert. Die höchsten Raten weisen demnach Freilandflächen an Hängen auf. Die entsprechende empirische Formel lautet (vgl. SIEVERS 2005):

$$KPR = K1a + (K1b - K1a) \cdot (1 - e^{-5 \cdot S}),$$

wobei S die Steilheit bezeichnet;

für $K1a$ wurde/kann die untere Grenze des genannten Freilandwertes verwendet werden ($10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$),

für $K1b$ wurde/kann die obere Grenze des genannten Freilandwertes verwendet werden ($42 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$).

Die Kaltluftproduktionsrate ist eine wichtige Kaltluftkenngröße. Sie beinhaltet jedoch keine expliziten Hinweise zur Fließdynamik der Kaltluft. Diese Lücke schließt der Kaltluftvolumenstrom als wichtigste abgeleitete Kaltluftausgabegröße. Er stellt das Produkt der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite; Einheit m^3/s) dar. Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Kaltluftleitbahn fließt. Der in der Klimaanalyse NRW 2026 modellierte Kaltluftvolumenstrom bezieht sich auf einen 1 m breiten Querschnitt und repräsentiert damit eine Kaltluftvolumenstromdichte (Einheit $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$). Der Kaltluftvolumenstrom ist auch deswegen von herausragender Bedeutung, weil er gemäß VDI 3787, Bl.5 (2003; Entwurf 2024) maßgeblich für die Beurteilung von planerischen Auswirkungen auf die Kaltluftprozesse ist. Eine Reduzierung des Kaltluftvolumenstroms um $> 10 \%$ ist demnach ein starkes Indiz für eine hohe vorhabenbezogene Auswirkung.

Validierung

Modelle, und somit auch Klimamodelle, sind immer nur ein Abbild der Wirklichkeit und nicht die Wirklichkeit selbst. Sie dienen der Beschreibung von mehr oder weniger komplexen Zusammenhängen und werden in vielfacher Form angewendet. Bei jeder Modellanwendung stellt sich die Frage nach der Güte, also: Wie gut bildet dieses Modell die Wirklichkeit ab? Für die Beurteilung der Modellgüte kommen je nach Fragestellung unterschiedliche Methoden und Verfahren zur Anwendung. Dazu gehören bspw. einfache visuelle Vergleiche oder aber auch die Berechnung von Fehler- und Gütemaßen.

Zur Beurteilung der Güte von Modellergebnissen werden Vergleichsdaten benötigt, die idealerweise mit einer anderen Methodik erhoben worden sein sollten. Dies können Messungen oder aber auch Modellierungen, jedoch mit einem anderen Modell oder Modellansatz sein. Dabei ist es wichtig, zu beachten, welche Eigenschaften die Vergleichsdaten aufweisen, denn Messungen und alternative Modellergebnisse unterliegen wiederum eigenen Unsicherheiten und Fehlern, die Einfluss auf ein Vergleichsergebnis haben.

Die Validierung der FITNAH-3D-Modellergebnisse erfolgt anhand von Messdaten und bezieht sich auf die Simulation des „mittleren Sommertages“. Als Validierungsdatensatz wurden stündliche Messdaten von

Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Als Parameter wurden die Lufttemperatur in 2 m Höhe, der Windgeschwindigkeit und der Bedeckungsgrad aller für Nordrhein-Westfalen verfügbaren Stationen im Messzeitraum von 1990 bis 2023 benötigt. Zur Ermittlung von austauschbaren Wetterlagen anhand von Stationsdaten müssen alle drei benannten meteorologischen Variablen gleichzeitig an der jeweiligen Station gemessen worden sein. Außerdem wurde ein Vollständigkeitskriterium geprüft. Dafür mussten 90 % der stündlichen Daten für die relevanten Sommermonate JJA vorliegen. Der gesamte Stationsdatensatz gilt schließlich als ausreichend, wenn mindestens 10 Jahre mit validen Daten vorliegen. Insgesamt erfüllten 18 Stationen die genannten Kriterien (Abbildung 9).

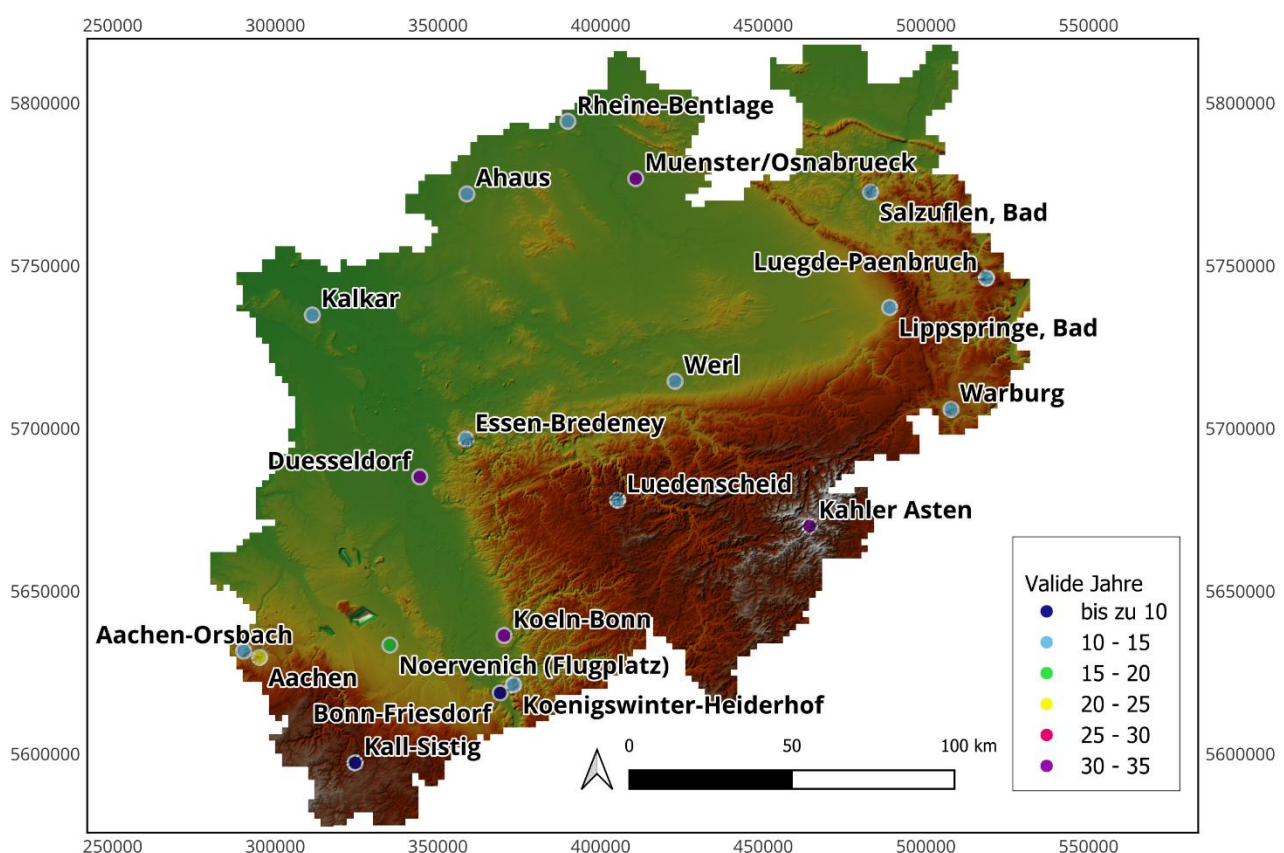


Abbildung 9: Übersicht über die Stationen, die für die Validierung vollständige Daten zur Bestimmung von Strahlungswetterlagen im Zeitraum 1990-2023 aufweisen (Quelle: GEO-NET 2026).

Für diese Stationen wurden die Strahlungswetterlagen bestimmt. Dabei wurde nach folgenden Kriterien vorgegangen: Die Höchstwindgeschwindigkeit darf 2,7 m/s nicht übersteigen bei gleichzeitig geringer Bewölkung (Bedeckungsgrad höchstens 4 Achtel) während mehrerer Nachtstunden. In der Regel müssen diese Kriterien für 10 Stunden innerhalb des Zeitraums zwischen 17 Uhr (MEZ) und 5 Uhr (MEZ) erfüllt sein (d. h., es kann dazwischen eine Lücke auftreten) oder an 7 aufeinanderfolgenden Stunden innerhalb dieses Zeitraums – also ohne Lücke. Falls der Bedeckungsgrad nicht vorliegt, muss in exakt denselben

Stunden eine Temperaturabnahme von mindestens 0,3 K/h erfolgt sein (AUGTER 1997 und SCHLÜNZEN et al. 2018). In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird die Anzahl der gefundenen Strahlungswetterlagen an den für die Validierung identifizierten Stationen dargestellt. Aufgrund der geringen Anzahl an Strahlungswetterlagen wurde die Station Kahler Asten von der weiteren Validierung ausgeschlossen.

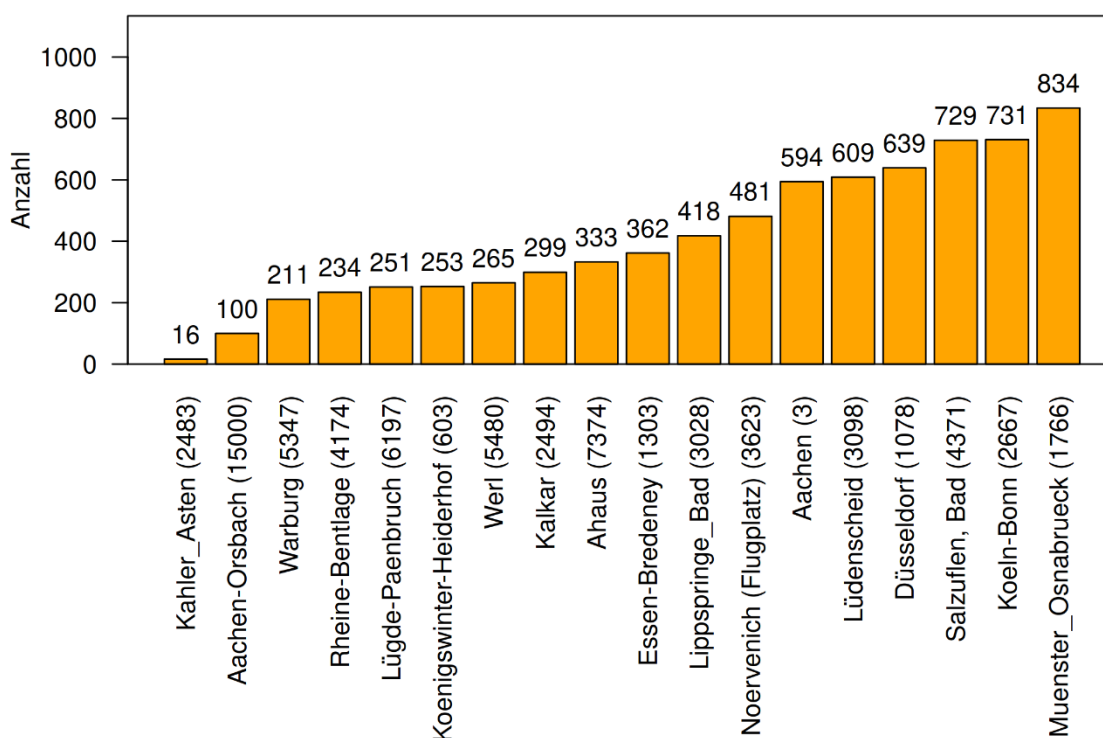


Abbildung 10: Anzahl von Strahlungswetterlagen an den Validierungs-Messstationen (Quelle: GEO-NET 2026).

Ein weiterer Aufbereitungsschritt sorgte dafür, dass nur Strahlungswetterlagen, die in etwa dem typischen Sommertag entsprechen, für die Validierung herangezogen werden. Dazu wurden jene Tagesgänge der Messdaten zusammengestellt, die in dem hier als „FITNAH-Temperatur-Wertebereich“ bezeichneten Intervall liegen. Die Parameter des FITNAH-Temperatur-Wertebereichs (Tabelle 9) wurden aus den vorliegenden Modellergebnissen ermittelt und jeweils um +1 K an den oberen Grenzen erhöht und um -1 K an den unteren Grenzen erniedrigt, um die Datenmenge der Vergleichszeitreihen nicht zu stark zu reduzieren.

Tabelle 9: Parameter des FITNAH-Temperatur-Wertebereichs (jeweils an den oberen Grenzen um +1 K erhöht und an den unteren Grenzen um -1 K erniedrigt, Quelle: GEO-NET 2026).

Parameter	untere Grenze in °C	obere Grenze °C
Maximumtemperatur	29	32
Minimumtemperatur	12	17
Mitteltemperatur	19	22

Parameter	untere Grenze in °C	obere Grenze °C
Temperatur um 22 Uhr	17	21

Des Weiteren wurde für die Validierung berücksichtigt, dass das Temperatursignal nicht ausschließlich von einem Punkt, sondern eher von einer Quellfläche, die den Sensor umgibt, stammt. Nach OKE et al. (2017) hat diese Quellfläche einen Radius von etwa 500 m. Somit wurden für jede Messstation, zusätzlich zum den nächstgelegenen Gitterpunkt des FITNAH-Gitters, alle in einer Fläche von 500 m × 500 m umliegenden Gitterpunkte herausgesucht und jeweils das Flächenmittel aus diesen Werten berechnet. Dabei wurde überdies berücksichtigt, dass es in der Historie vieler DWD-Messstationen zu räumlichen Verlagerungen kam. Bei Standortwechseln können Entfernungen von wenigen Metern bis hin zu mehreren Kilometern auftreten. Alle Messzeitreihen wurden hinsichtlich ihrer Verortung über die Zeit untersucht, nach ihrer jeweiligen Position zusammengestellt und bei einem Ortswechsel als separate Station (Substation) definiert. Jeder so zusammengestellten Zeitreihe wurde anschließend der nächste Gitterpunkt aus dem FITNAH-Modellgitter zugeordnet und für die entsprechenden Umgebungsflächen die Flächenmittel der Temperatur bestimmt. Diese Flächenmittelpunkte bilden den repräsentativen Vergleichswert für die weitere Validierung.

Zur Quantifizierung und Beurteilung der Modellgüte wurden folgende Gütemaße (oder auch Fehlermaße) berechnet:

- Bestimmtheitsmaß R^2 ,
- Mittlerer absoluter Fehler (MAE),
- Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RMSE) und
- Gewichteter absoluter Fehler (WAPE).

Tabelle 10 gibt das Ergebnis der Gegenüberstellung von Modell- und Messdaten der Klimasimulation wieder. Alle ermittelten Bestimmtheitsmaße (R^2) liegen zwischen 0,98 und 1,00. Im Mittel weichen die Modellwerte von den Messwerten absolut um 1,7 °C ab (Gütemaß MAE), wobei die geringste mittlere absolute Abweichung 0,90 °C und die höchste mittlere absolute Abweichung 2,82 °C beträgt. Der RMSE liegt bei Werten zwischen 1,91 °C und 3,22 °C mit einem Mittelwert von 1,91 °C und der WAPE zwischen 0,04 % und 0,14 %, bei einem Mittelwert von 0,08 %. Am einfachsten ist der MAE interpretierbar, da dieser Wert die Höhe der Abweichungen direkt aufzeigt.

Tabelle 10: Summarische Statistik der Modellgüte (Quelle: GEO-NET 2026).

	Mittelwert	Minimum	Maximum
R2 [-]	0,99	0,98	1,00
MAE [°C]	1,69	0,90	2,82
RSME [°C]	1,91	1,09	3,22
WAPE [%]	0,08	0,04	0,14
n	33	21	77

Betrachtet man den Tagesgang der modellierten und gemessenen Werte, zeigt sich, dass tagsüber an fast allen Stationen die Temperaturwerte vom Modell überschätzt werden, wobei der Auswertungszeitpunkt 14 Uhr (MEZ) relativ gut bei den Messungen und Modellierungen übereinstimmt (Abbildung 11). Gründe für die größeren Abweichungen am Tag sind einerseits der Auswahlalgorithmus der Tagesgänge der Messwerte und andererseits der unterschiedliche Sonnenstand von Mess- und Modellzeitreihen. Die Auswahl der Tagesgänge an den Messstationen erfolgte anhand der Definition für nächtliche autochthone Bedingungen. Außerdem wurden die Modellsimulationen für den 21.06., also den Sonnenhöchststand, initialisiert. Somit kann es vorkommen, dass die meteorologischen Bedingungen am Tag nicht der idealisierten Wetterlage des FITNAH-Modells entsprechen.

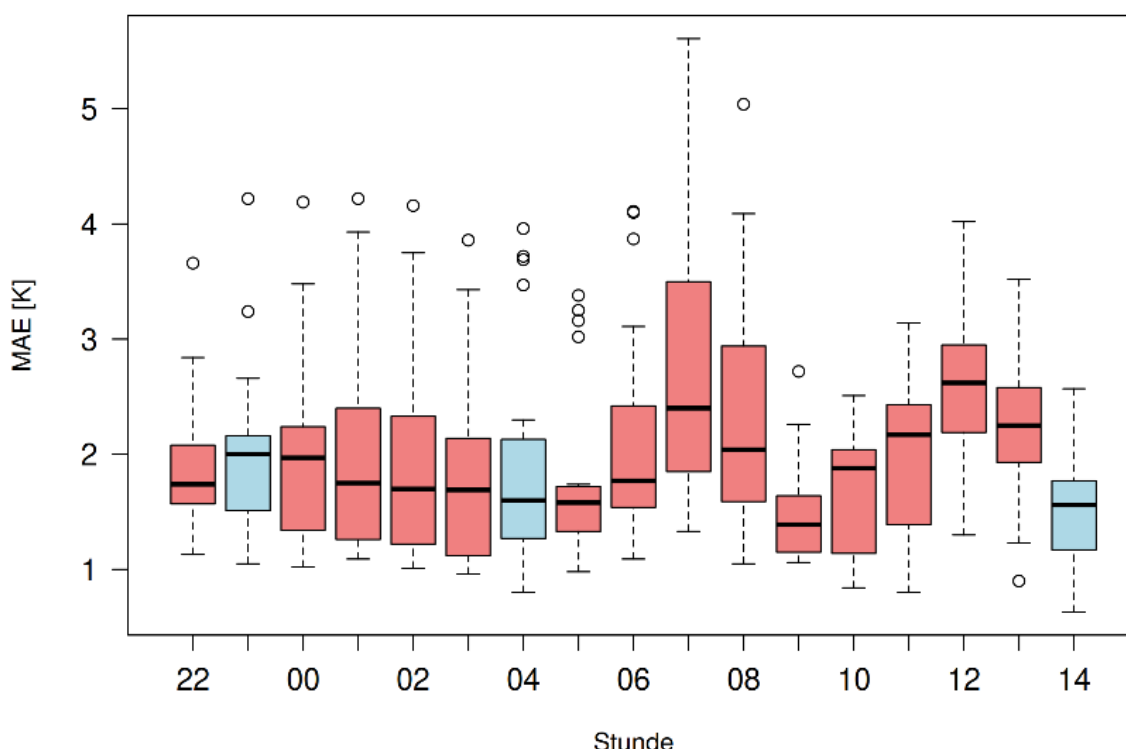


Abbildung 11: Modellperformance im Tagesgang anhand des MAE (Die hellblauen Boxen kennzeichnen die Auswertezeitpunkte der Klimaanalyse, Quelle: GEO-NET 2026).

Insgesamt zeigt der Vergleich der FITNAH-Simulationsergebnissen mit den Messdaten der DWD-Stationen eine gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messungen bei Betrachtung der Lufttemperatur in 2 m Höhe. Die mittlere absolute Abweichung im Vergleich aller verfügbaren Daten liegt bei ca. 1,7 °C, wobei die Nachttemperaturen besser wiedergegeben werden als die Tagestemperaturen. Die Modellperformance ist im Vergleich der Messstationen untereinander recht unterschiedlich, wobei der Schwankungsbereich der mittleren absoluten Abweichungen zwischen 0,90 °C und 2,82 °C liegt.

Fazit

Die in diesem Methodik-Papier dargestellten Annahmen, Eingangsdaten und Rahmenbedingungen sind bei der Interpretation der Modellergebnisse und der daraus abgeleiteten Karten zwingend zu berücksichtigen. Die Klimaanalyse NRW 2026 bildet idealisierte autochthone Strahlungswetterlagen unter definierten Randbedingungen ab und stellt damit keine Abbildung aller real auftretenden Wetter- und Belastungssituationen dar. Ebenso können Abweichungen zu kommunalen Stadtklimaanalysen auftreten, etwa aufgrund unterschiedlicher Modellansätze, räumlicher Auflösungen, meteorologischer Eingangsdaten, Starttemperaturen oder weiterer Parametrisierungen.

Gleichzeitig ermöglicht erst der Einsatz numerischer Modelle eine landesweit flächendeckende und einheitliche Betrachtung stadtklimatisch relevanter Prozesse in hoher räumlicher Auflösung. Auf dieser Grundlage lassen sich sowohl großräumige als auch lokale Unterschiede der thermischen Belastung, des Kaltlufthaushalts und der klimaökologischen Ausgleichsfunktionen belastbar herausarbeiten. Die Klimaanalyse NRW 2026 schafft damit eine fachlich fundierte und landesweit vergleichbare Grundlage, um klimatisch belastete Bereiche, bedeutsame Ausgleichsräume und potenzielle Konfliktbereiche zu identifizieren.

Die Ergebnisse sind daher insbesondere als strategische Planungs- und Bewertungsgrundlage zu verstehen. Sie unterstützen dabei, Handlungsbedarfe und räumliche Prioritäten für Maßnahmen der Klimaanpassung abzuleiten und im Rahmen der Regional- und Bauleitplanung frühzeitig zu berücksichtigen. Für konkrete kleinräumige Fragestellungen oder vorhabenbezogene Bewertungen kann eine weitergehende kommunale oder projektbezogene Vertiefung erforderlich sein.

Literatur

- Augter, G. (1997): Berechnung der Häufigkeiten windschwacher Strahlungsnächte und windschwacher Abkühlungsnächte. Deutscher Wetterdienst.
- Bashfield, A., & Keim, A. (2011): Continent-wide DEM Creation for the European Union. *34th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 1-4.
- Buchholz, S. & Kossmann M. (2015): Research Note. Visualisation of summer heat intensity for different settlement types and varying surface fraction partitioning. *Landscape and Urban Planning* **144**: 59-64, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.002> (04.03.2026).
- Caissie, D. (2006): The thermal regime of rivers: A review. *Freshwater Biology*, 51(8), 1389–1406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x>
- DWD – Deutscher Wetterdienst Climate Data Center (2025): Beobachtungsdaten. Stationsdaten. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/
- GEO-NET (Hrsg.) (2026): Fortschreibung der landesweiten Klimaanalyse NRW – Endbericht. (unveröffentlicht).
- Gross, G. (1987): Some effects of deforestation on nocturnal drainage flow and local climate. A numerical study. *Boundary-Layer Meteorology*, 38(4), 315–337. <https://doi.org/10.1007/BF00120851>
- Gross, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 62, 57–72.
- Gross, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. *Fluid Dynamics Research*, 10(4–6), 483–498. [https://doi.org/10.1016/0169-5983\(92\)90035-U](https://doi.org/10.1016/0169-5983(92)90035-U)
- Kuttler, W.; Müller, N.; Dütemeyer, D. & Barlag, A.-B. (2012): Prognose- und Diagnoseanalysen zur Verbesserung des Stadtklimas – Stadtklimatische Untersuchungen in Oberhausen und Simulationen verschiedener Minderungsstrategien zur Reduktion der thermischen Belastung im Hinblick auf den Klimawandel. *dynaklim*-Publikation Nr. 25. https://www.uni-due.de/imperia/md/content/geographie/klimatologie/dynaklim-publikation_nr_25_prognose-_und_diagnoseanalysen_zur_verbesserung_des_stadtklimas.pdf
- Kuttler, W. (2013): Klimatologie. Schöningh.
- LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2021): Kooperationsprojekt GROWA+ NRW 2021. Teil IIa – Modellierung des Wasserhaushalts in Nordrhein-Westfalen mit mGROWA. LANUV-Fachbericht 110, Recklinghausen. https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30110b.pdf

- Lohmayer, A. & Schädler, G. (1998): *Das Kaltluftabflußmodell KALM*.
<https://www.lohmeyer.de/de/system/files/content/download/publikationen/KALMdeutsch.pdf>
- Oke T. R.; Mills, G.; Christen, A., & Voogt, J. A. (2017): *Urban Climates* (1. Aufl.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Schlünzen, K. H.; Riecke, W.; Bechtel, B.; Boettcher, M.; Buchholz, S.; Grawe, D.; Hoffmann, P.; Petrik, R.; Schoetter, R.; Trusilova, K. & Wiesner, S. (2018): Stadtklima in Hamburg. In: Von Storch, H.; Meinke, I. & Claußen, M. (Hrsg.): *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland* (S. 37–53). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_3
- Sievers, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Berichte des DWD, No. 227.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2015): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1: Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2024): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5: Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2024): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 7: Klimaindikatoren. Düsseldorf.