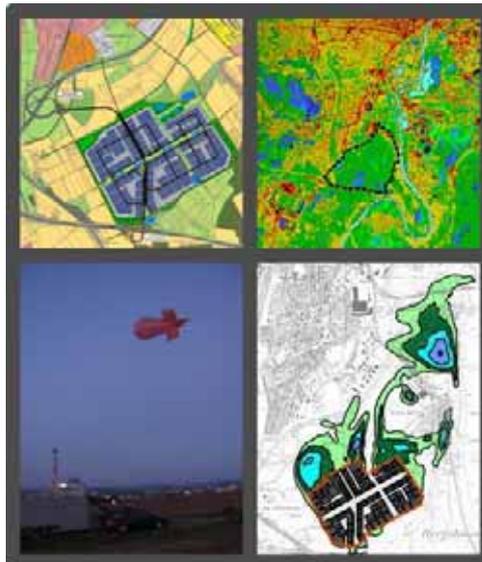


ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

KLIMA- UND LUFTSCHADSTOFFGUTACHTEN ZUM GEPLANTEN GEWERBESTANDORT ‚LANGES FELD‘ IN KASSEL-NIEDERZWEHREN



Teil A Text

Auftraggeber:



documenta-Stadt

Magistrat der Stadt Kassel
Stadtplanungsamt und Bauaufsicht
Obere Königstraße 8
D-34117 Kassel

Bearbeitet von:

Dipl.-Geogr. Achim Burst
Dr.rer.nat. Sonja Burst
Dipl.-Geogr. Torsten Nagel

Mannheim, den 22. November 2007

ÖKOPLANA
Seckenheimer Hauptstraße 98
68239 Mannheim
Telefon: 0621/474626 · Telefax 475277
E-Mail: burst.oekoplana@t-online.de

Geschäftsführer:
Dipl.-Geogr. Achim Burst

www.oekoplana.de

Deutsche Bank Mannheim
Kto.-Nr. 0 460 600
BLZ 670 700 24

Inhalt	Seite
1 Zusammenfassung	1
1.1 Anlass des Gutachtens	1
1.2 Vorgehensweise	1
1.3 Analyse der klimaökologischen Situation	2
1.4 Analyse der lufthygienischen Situation	10
2 Fragestellung	13
3 Planungskonzept	16
4 Untersuchungsmethodik	17
5 Klimaökologische Funktionsabläufe	19
5.1 Allgemeine klimatische Bedingungen im Raum Kassel	19
5.2 Ortsspezifisches Strömungsgeschehen und Ventilation	21
5.2.1 Ergebnisse vorliegender Untersuchungen	21
5.2.1 Ergebnisse vertiefender Untersuchungen zum ortsspezifischen Strömungsgeschehen	25
5.2.2.1 Rauchschwadenexperimente am 13.09.2007	25
5.2.2.2 Fesselballonaufstiege am 23.-24.09.2007	27
5.2.2.3 Tracergas-Analysen am 23.-24.09.2007	32
5.3 Thermische Situation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen	34
5.3.1 Ergebnisse vorliegender Untersuchungen	34
5.3.1.1 IR-Thermalbildaufnahmen	34
5.3.1.2 Mesoskalige Berechnungen – flächenhafte Lufttemperatur-Verteilung	38
5.3.2 Vertiefende Untersuchungen – Verteilung der Lufttemperatur nach Messfahrten am 23.-24.09.2007	39
6 Zusammenfassende Darstellung der klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsgebiet und in dessen Umfeld	43

7	Einfluss des potenziellen Gewerbestandortes ,Langes Feld' auf das ortsspezifische Strömungsgeschehen und die thermischen Umgebungsbedingungen - numerische Modellrechnungen	47
7.1	Modellrechnungen zu den lokalen Kaltluftbewegungen	47
7.1.2.	Ergebnisse der Kaltluftsimulationen, Ist-Zustand	50
7.1.3.	Ergebnisse der Kaltluftsimulationen, Plan-Zustand	52
7.2	Modellrechnungen zu strömungsdynamischen Aspekten der Planung	54
7.2.1	Windanströmung aus Südsüdosten (150°)	55
7.2.2	Windanströmung aus Süden (180°)	57
7.2.3	Windanströmung aus Südsüdwesten (210°)	58
7.3	Modellrechnungen zu thermischen/bioklimatischen Aspekten der Planung	60
7.3.1	Tagsituation (14:00 Uhr) - Windanströmung aus Südsüdwesten	60
7.3.2	Nachtsituation (22:00 Uhr) - Windanströmung aus Südsüdwesten	61
7.3.3	Tagsituation (14:00 Uhr) - Windanströmung aus Süden	62
7.3.4	Nachtsituation (22:00 Uhr) - Windanströmung aus Süden	62
8	Beurteilung der klimatischen Folgeerscheinungen durch den geplanten Gewerbestandort ,Langes Feld' und Planungsempfehlungen	63
9	Lufthygiene	73
9.1	Verkehrsbedingte Immissionsbelastungen	73
9.1.1	Untersuchungsmethodik	74
9.1.2	Verkehrsbedingte Luftschadstoffe und Bewertungsmaßstäbe	75
9.1.3	Grundlagen	77
9.1.3.1	Grundbelastung durch Luftschadstoffe	77
9.1.3.2	Verkehrsaufkommen	79
9.1.3.3	Verkehrsbedingte Emissionen	80

9.1.4	Immissionssituation entlang der Frankfurter Straße in Niederzwehren	82
9.1.4.1	Stickstoffdioxid (NO ₂)	83
9.1.4.2	Feinstaub (PM ₁₀)	84
9.1.4	Immissionssituation entlang der Erschließungsstraße Zwischen der AS Kassel-Niederzwehren und dem Gewerbestandort	85
9.2	Anlagenbedingte Immissionsbelastungen	87
9.3	Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen	89
	Literatur	92

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Lage des Planungsraums ‚Langes Feld‘ im Stadtgebiet von Kassel
- Abb. 2:** Lage des Planungsraums ‚Langes Feld‘, Luftbild
- Abb. 3:** Flächennutzung im Planungsraum ‚Langes Feld‘
- Abb. 4:** Reliefkarte vom Planungsraum und dessen Umfeld
- Abb. 5:** Hangneigungen im Planungsraum ‚Langes Feld‘
- Abb. 6:** Städtebaulicher Rahmenplan
- Abb. 7:** Beispielhafte Ausgestaltung der Haupteerschließungsstraße
- Abb. 8:** Geländeschnitt mit geplantem Gewerbegebiet
- Abb. 9:** Geplantes Erschließungsnetz
- Abb. 10:** Erschließungsvarianten
- Abb. 11:** Klimatische Verhältnisse im Raum Kassel (Bioklima/Windverhältnisse)
- Abb. 12:** Das Bioklima der Bundesrepublik Deutschland. Zeitraum 1971 – 2000
- Abb. 13:** Ausbreitungsklassenstatistik 1990 – 1999. Wetterwarte Kassel
- Abb. 14:** Häufigkeit austauscharmer Wetterlagen und windschwacher Strahlungsnächte im Raum Kassel
- Abb. 15:** Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und thermischer Behaglichkeit (PET)
- Abb. 16:** Lage der Klimamessstationen – 1978/1979
- Abb. 17:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit. Zeitraum 12.1978 – 11.1979, austauscharme Wetterlagen
- Abb. 18:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung, Tag-/Nachtverteilung. Zeitraum 12.1978 – 11.1979, austauscharme Wetterlagen
- Abb. 19:** Windmessungen am 18.06.1998 – 06:00 Uhr (Morgensmessung). Schwachwindlage, Hauptwindrichtung Südwest
- Abb. 20:** Mittlere Windgeschwindigkeit 5.0 m ü.G. in einer Strahlungsnacht. 2 Stunden nach Sonnenuntergang

- Abb. 21:** Kaltluftvolumenstrom in einer Strahlungsnacht. 6 Stunden nach Sonnenuntergang
- Abb. 22:** Profil des vertikal integrierten Kaltluftflusses im innenstadtnahen Bereich
- Abb. 23:** Großräumige Luftdruckverteilung während der Messkampagnen
- Abb. 24:** Untersuchungsmethoden zur Erfassung bodennaher Luftströmungen
- Abb. 25:** Lage temporärer Klimamessstationen – 2007
- Abb. 26:** Temporäre Klimamessstationen – 2007. Fotografische Dokumentation
- Abb. 27:** Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 13.-14.09.2007
- Abb. 28:** Ergebnisse von Rauchschwadenexperimenten am 13.09.2007
- Abb. 29:** Standorte der Fesselballonaufstiege
- Abb. 30:** Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 23.-24.09.2007
- Abb. 31:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit am Messstandort 'Am Sportzentrum'. Zeitraum: September/Oktober 2007
- Abb. 32:** Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 23.-24.09.2007 – Standort 1 / NE-Hang
- Abb. 33:** Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 23.-24.09.2007 – Standort 2 / E-Hang
- Abb. 34:** Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 23.-24.09.2007 – Standort 3 / Dennhäuser Straße
- Abb. 35:** Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 23.-24.09.2007 – Standort 4 / Fuldaaue
- Abb. 36:** Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 23.-24.09.2007 – Standort 5 / Eselsgraben
- Abb. 37:** Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 23.-24.09.2007 – Standort 6 / Sportplatz
- Abb. 38:** Standort der Tracergasanalysen am 23.-24.09.2007

- Abb. 39:** Ausbreitung nächtlicher Kaltluft im Bereich des Planungsgebietes 'Langes Feld'. Tracergas-Experiment am 23.-24.09.2007, 23:45 – 02:15 Uhr
- Abb. 40:** Wärmebildplan – Tagaufnahme vom 14.07.1990 (14:30 – 15:15 Uhr)
- Abb. 41:** Wärmebildplan – Abendaufnahme vom 13.07.1990 (22:01 – 22:38 Uhr)
- Abb. 42:** Wärmebildplan – Morgenaufnahme vom 14.07.1990 (04:18 – 04:50 Uhr)
- Abb. 43:** Klimatopkarte auf Datenbasis der Abend- und Morgenaufnahme
- Abb. 44:** Lufttemperaturverteilung 5.0 m ü.G. in einer Strahlungsnacht. 2 Stunden nach Sonnenuntergang
- Abb. 45:** Lufttemperaturverteilung 5.0 m ü.G. in einer Strahlungsnacht. 6 Stunden nach Sonnenuntergang
- Abb. 46:** Isothermenkarte vom 23.09.2007 – 20.30 Uhr
- Abb. 47:** Isothermenkarte vom 23.09.2007 – 23.00 Uhr
- Abb. 48:** Klimafunktionskarte
- Abb. 49:** Klimabewertungskarte
- Abb. 50:** Rechengebiet – Kaltluftabflussmodell. Ausschnitt aus der TK 1:25.000
- Abb. 51:** Kaltluftströmungsgeschwindigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung – Ist-Zustand
- Abb. 52:** Kaltluftvolumenstromdichte und Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung – Ist-Zustand
- Abb. 53:** Kaltluftströmungsgeschwindigkeit bei ausgeprägter Kaltluftbildung – Ist-Zustand
- Abb. 54:** Kaltluftvolumenstromdichte und Kaltluftmächtigkeit bei ausgeprägter Kaltluftbildung – Ist-Zustand
- Abb. 55:** Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte in der Anfangsphase der Kaltluftbildung beim Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand
- Abb. 56:** Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte bei ausgeprägter Kaltluftbildung beim Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand

- Abb. 57:** Modellgebiet (Strömungssimulation) – Ist-Zustand
- Abb. 58:** Modellgebiet (Strömungssimulation) – Plan-Zustand
- Abb. 59:** Strömungssimulation - Ist-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.0 m/s
- Abb. 60:** Strömungssimulation - Ist-Zustand (6 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.0 m/s
- Abb. 61:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.0 m/s
- Abb. 62:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.0 m/s - Windvektoren
- Abb. 63:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.0 m/s
- Abb. 64:** Strömungssimulation – Differenzen der Windgeschwindigkeit zwischen Plan- und Ist-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.0 m/s
- Abb. 65:** Strömungssimulation – Differenzen der Windgeschwindigkeit zwischen Plan- und Ist-Zustand (6 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.0 m/s
- Abb. 66:** Strömungssimulation - Ist-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s
- Abb. 67:** Strömungssimulation - Ist-Zustand (6 m ü.G.). Anströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s
- Abb. 68:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s
- Abb. 69:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s - Windvektoren
- Abb. 70:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s
- Abb. 71:** Strömungssimulation – Differenzen der Windgeschwindigkeit zwischen Plan- und Ist-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s
- Abb. 72:** Strömungssimulation – Differenzen der Windgeschwindigkeit zwischen Plan- und Ist-Zustand (6 m ü.G.). Anströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s

- Abb. 73:** Strömungssimulation - Ist-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdwesten (210°) mit 2.0 m/s
- Abb. 74:** Strömungssimulation - Ist-Zustand (6 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdwesten (210°) mit 2.0 m/s
- Abb. 75:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdwesten (210°) mit 2.0 m/s
- Abb. 76:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdwesten (210°) mit 2.0 m/s - Windvektoren
- Abb. 77:** Strömungssimulation - Plan-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdwesten (210°) mit 2.0 m/s
- Abb. 78:** Strömungssimulation – Differenzen der Windgeschwindigkeit zwischen Plan- und Ist-Zustand (2 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdwesten (210°) mit 2.0 m/s
- Abb. 79:** Strömungssimulation – Differenzen der Windgeschwindigkeit zwischen Plan- und Ist-Zustand (6 m ü.G.). Anströmung aus Südsüdwesten (210°) mit 2.0 m/s
- Abb. 80:** Modellgebiet (thermische Umgebungsbedingungen) – Ist-Zustand
- Abb. 81:** Modellgebiet (thermische Umgebungsbedingungen) – Plan-Zustand
- Abb. 82:** Simulation der thermischen Umgebungsbedingungen – Ist-Zustand (1.5 m ü.G.) / Tagsituation 14:00 Uhr. Windanströmung aus Südsüdwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 83:** Simulation der thermischen Umgebungsbedingungen – Plan-Zustand (1.5 m ü.G.) / Tagsituation 14:00 Uhr. Windanströmung aus Südsüdwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 84:** Simulation der thermischen Umgebungsbedingungen – Ist-Zustand (1.5 m ü.G.) / Nachtsituation 22:00 Uhr. Windanströmung aus Südsüdwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 85:** Simulation der thermischen Umgebungsbedingungen – Plan-Zustand (1.5 m ü.G.) / Nachtsituation 22:00 Uhr. Windanströmung aus Südsüdwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

- Abb. 86:** Simulation der thermischen Umgebungsbedingungen – Ist-Zustand (1.5 m ü.G.) / Tagsituation 14:00 Uhr. Windanströmung aus Süden mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 87:** Simulation der thermischen Umgebungsbedingungen – Plan-Zustand (1.5 m ü.G.) / Tagsituation 14:00 Uhr. Windanströmung aus Süden mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 88:** Simulation der thermischen Umgebungsbedingungen – Ist-Zustand (1.5 m ü.G.) / Nachtsituation 22:00 Uhr. Windanströmung aus Süden mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 89:** Simulation der thermischen Umgebungsbedingungen – Plan-Zustand (1.5 m ü.G.) / Nachtsituation 22:00 Uhr. Windanströmung aus Süden mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 90:** Überlagerung von Vorbehaltsgebieten für besondere Klimafunktionen mit geplanten Siedlungs-, Industrie- und Gewerbegebieten im Raum Kassel
- Abb. 91:** Bedeutung des Ausgleichspotenzials von Freiräumen in Abhängigkeit der bioklimatischen-lufthygienischen Defizitbereiche
- Abb. 92:** Gemessene und berechnete Immissionsbelastung durch NO₂
- Abb. 93:** Berechnete Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentrationen im Ballungsraum Kassel
- Abb. 94:** Gemessene und berechnete Immissionsbelastung durch PM₁₀
- Abb. 95:** Berechnete Jahresmittelwerte der PM₁₀-Konzentrationen im Ballungsraum Kassel
- Abb. 96:** Frankfurter Straße in Niederzwehren – Fotografische Dokumentation
- Abb. 97:** Modellgebiet und Verkehrssituationen – verkehrsbedingte Luftschadstoffverteilung entlang der Frankfurter Straße in Niederzwehren
- Abb. 98:** Ausbreitungsrechnung – Ist-Zustand [Bezugsjahr 2010]. NO₂-Jahresmittelwert

- Abb. 99:** Ausbreitungsrechnung – Plan-Zustand [Bezugsjahr 2010].
NO₂-Jahresmittelwert
- Abb. 100:** Ausbreitungsrechnung – Ist-Zustand [Bezugsjahr 2010].
PM₁₀-Jahresmittelwert
- Abb. 101:** Ausbreitungsrechnung – Plan-Zustand [Bezugsjahr 2010].
PM₁₀-Jahresmittelwert
- Abb. 102:** Lage ausgewählter Messpunkte zur Bestimmung der ver-
kehrsbedingten Immissionsbelastung
- Abb. 103:** Beispielhaftes Ausbreitungsverhalten von Stickoxiden
(NO_x) im Planungsgebiet ,Langes Feld'
- Abb. 104:** Beispielhaftes Ausbreitungsverhalten von Staubpartikeln
(Staubniederschlag) im Planungsgebiet ,Langes Feld'

KLIMA- UND LUFTSCHADSTOFFGUTACHTEN ZUM GEPLANTEN GEWERBESTANDORT ,LANGES FELD' IN KASSEL-NIEDERZWEHREN

1 Zusammenfassung

1.1 Anlass des Gutachtens

- Im Regionalplan Nordhessen (2000) ist der Planungsraum ,Langes Feld' als Teil eines regionalen Grünzugs sowie als Bereich (2/3 der Fläche) mit besonderer Klimafunktion ausgewiesen. Grundlage für die Bewertung ist ein Klimagutachten des ZRK (TARAXACUM 1999), das den Planungsraum als hochaktives bzw. aktives Kaltluftentstehungsgebiet bewertet, das über Flächen mit hohem Luftleitpotenzial in der Fuldaaue in Bezug zur Kasseler Innenstadt steht.
- Mit dieser klimaökologischen Bewertung verknüpft ist die Befürchtung, dass bei einer Ausweisung eines Gewerbestandortes im Bereich des ,Langen Feldes' die klimaökologische Ausgleichsleistung deutlich eingeschränkt wird (Verlust von Kaltluftproduktionsflächen und Erhöhung der Oberflächenrauigkeit), wodurch sich u.U. in der angrenzenden Bebauung (Niederzwehren, Rengershausen, Neue Mühle) sowie entlang der Fuldaaue bis in innenstadtnahe Lagen nachhaltige klimaökologische Negativeffekte einstellen.
- Mit diesem Gutachten sollen die sich aus der potenziellen Bebauung ergebenden Auswirkungen auf die lokalen klimaökologischen Verhältnisse detailliert untersucht und bewertet sowie Planungsvorgaben zur Minimierung klimatischer und lufthygienischer Negativeffekte erarbeitet werden.

1.2 Vorgehensweise

- Das Gutachten ist als Ergänzung und Vertiefung zu bereits vorliegenden Klimaanalysen zu sehen und baut auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen auf.
- Neben einer projektbezogenen Aufbereitung und Darstellung vorhandener Klimadaten wurden in einer windschwachen Strahlungsnacht orientierende mobile Klimamessungen durchgeführt: Fesselballonmessungen mit begleitenden Rauchschwadenexperimenten, Tracergas-Analysen sowie eine netzförmige bodennahe Erfassung der Lufttemperatur mit einem Messfahrzeug.

- Auf Grundlage der Messergebnisse wurden mit Hilfe von Modellrechnungen (mit meteorologisch anerkannter Modellsoftware) die Auswirkungen des geplanten Gewerbestandortes auf das lokale Klimageschehen sowie auf die luft-hygienischen Umgebungsbedingungen simuliert.

1.3 Analyse der klimatischen Situation

Allgemeine klimatische Bedingungen im Raum Kassel

- Im Kasseler Becken bildet sich durch die topografische Gliederung des Geländes und die Flächennutzung ein ortsspezifisches Lokalklima aus.
- Besonders im Sommer und in den Übergangsjahreszeiten beeinflussen lokale Luftströmungen, deren Existenz auf die Kaltluftproduktion der Freiräume und die Kaltluftbewegung entlang der Fulda und angrenzender vegetationsbedeckter Hangzonen/Hangeinschnitte zurückzuführen ist, in hohem Maße das Ventilationsgeschehen im Süden von Kassel. Diese lokalen Luftzirkulationen entwickeln nur begrenzte horizontale und vertikale Reichweite. Da sie in ihrer Summenwirkung aber das Ventilationsgeschehen bei wind-schwachen austauscharmen Wetterlagen wesentlich bestimmen, ist dem Erhalt ihrer Entstehungsgebiete und bevorzugten Zugbahnen besondere Beachtung zu schenken.

Grundsätzliches zu Kaltluftproduktion und -ausbreitung

- Über vegetationsbedeckten Freiräumen kommt es generell zu intensiver Kaltluftproduktion. Die Kaltluftbewegung und die sich daraus entwickelnden Lokalströmungen beschränken sich weitgehend auf den bodennäheren Luftraum. In ebenem Gelände bzw. im Bereich nur schwach geneigter Hanglagen können Hindernisse wie bspw. Straßendämme oder Gehölzgruppen zum unüberwindbaren Hindernis werden. Nur wenn gleichzeitig überregionale bzw. regionale Luftströmungen für zusätzliche Bewegungsimpulse sorgen ist eine Überströmung möglich.
- Zur Entwicklung einer klimarelevanten Kaltluftströmung entlang von Hangzonen sind neben der Flächennutzung auch die Größe der Kaltluftproduktionsfläche und die Hangneigung ($> 2^\circ$) von Bedeutung.
- Klimaökologische Ausgleichswirkungen bezüglich eines großräumigeren Luftmassenaustausches sind nur zu erwarten, wenn die kaltluftproduzierenden und kaltlufttransportierenden Grünflächen mindestens 400 - 500 m breit sind.

- Laut Luftreinhalteplan Kassel von 1999 sind in Kassel an 6,7 % der Tage (=24,4 Tage) austauscharme Wetterlagen zu erwarten. 20 % aller Nächte sind windschwache Strahlungsnächte. In diesen Fällen spielt die örtliche Kaltluftentstehung und -verbreitung eine wichtige Rolle. An den anderen Tagen/Nächten ist die örtliche Kaltluftproduktion nicht von Bedeutung, da das lokale Klima in dieser Zeit von regionalen und überregionalen Luftströmen bestimmt wird.

Funktion des Langes Feldes für das lokale Klima

- Das „Lange Feld“ fungiert als klimaökologischer Ausgleichsraum (→ Kalt- und Frischluftproduktion) mit positiver Auswirkung auf die Fuldaaue östlich der Dennhäuser Straße und Kassel-Niederzwehren.
- Die Freiflächen bilden zum einen selbst ein Kaltluftentstehungsgebiet, zum anderen hat das ‚Lange Feld‘ eine Funktion als Ventilationsbahn, über welche die regional angelegten Ausgleichsströmungen zwischen südlichem bis südwestlichem Freiraumgefüge und der städtischen Bebauung im Fuldataal bodennah durchgreifen können. Dies führt im direkten Planungsumfeld zu einer Intensivierung der Belüftung bzw. Durchlüftung.

Kaltluftbewegungen im Planungsraum „Langes Feld“ und in dessen Umfeld (Messungen)

- Im Planungsumfeld herrschen im Allgemeinen südliche bis südwestliche Windrichtungen vor. Das deutet auf ein stadteinwärts gerichtetes Regional-/Lokalwindsystem bei austauscharmen Wetterlagen hin. Die Analysen haben gezeigt, dass sich v.a. bei austauscharmen Strahlungswetterlagen über den Freiräumen ‚Langes Feld‘ und Fuldaaue ein lokales kaltluftinduziertes Strömungssystem ausbildet.
- Die vom „Langes Feld“ nach Norden bis Nordosten ins Fuldataal abfließende Kaltluft wird in das Kaltluftgeschehen entlang der Fuldaaue mit einbezogen. Entlang der Fulda bildet sich eine auf die Bebauung von Kassel zugerichtete Kaltluftströmung. Aufgrund des geringen Gefälles neigt die Kaltluft im Bereich dicht gehölzüberstellter Flächen und am Autobahndamm der A 49 bzw. an der Eisenbahntrasse südlich der Giesewiesen vermehrt zu Stagnation. Im bodennächsten Luftraum (10 m ü.G.) bildet sich daher im Laufe der Nacht zwischen Neue Mühle und A 49 ein „Kaltluftsee“ aus.
- Nur bei gleichzeitig bodennah durchgreifenden regional bzw. überregional angelegten Höhenwinden, die zusätzlich Bewegungsimpulse auf die lokale bodennahe Kaltluft ausüben, kann die Kaltluft der Fuldaaue wirklich in die Bebauung verfrachtet werden. Die Bewegungsimpulse über den Kaltluftabfluss aus dem ‚Langes Feld‘ sind zu schwach.

Die von der Talkaltluft ausgehenden Ventilationseffekte für die angrenzende Bebauung (z.B. Südstadt) sind daher recht gering.

- Für die Versorgung der Kasseler Innenstadt sind die lokalen bodennahen Kaltluftbewegungen über das ‚Lange Feld‘ hinweg von eher geringer Bedeutung. Hier spielt das Fahrenbachtal südlich von Lohfelden eine sehr große Rolle, aber auch Habichtswald und Söhrewald tragen wesentlich zur Kaltluftversorgung der Innenstadt bei. Das ‚Lange Feld‘ unterstützt im Wesentlichen die klimaökologischen Ausgleichsleistungen der Fuldaaue für das südliche Stadtgebiet von Kassel.
- Die Bebauung von Niederzwehren profitiert nur in begrenztem Umfang vom Kaltluftpotenzial des ‚Langen Feldes‘. In Niederzwehren bestimmen im Wesentlichen Kaltluftbewegungen aus der Hangzone zwischen Baunsberg und Brasselsberg die örtliche Situation.
- Die Trasse der A 49 wirkt nicht nur als Hindernis für den Luftaustausch, sondern ist auch für den Eintrag von Kfz-bedingten Luftschadstoffen in die bodennahen Kaltluftschichten verantwortlich, so dass nur bedingt von Frischluftzufuhr gesprochen werden kann. In Richtung Rengershausen wird das „Lange Feld“ durch die Trasse der A 44 vom südlichen Freirum getrennt.
- Die Messungen zeigen, dass sich bei gegenläufigem Höhenwind aus nördlichen Richtungen im Bereich der nordöstlichen Hangzone des „Langen Feldes“ keine kräftigen Hangabwinde in Richtung Fuldaaue entwickeln können. Der Höhenwind greift immer wieder bodennah durch und durchsetzt die örtlich gebildete Kaltluft mit wärmerer Luft aus höheren Luftschichten. Die Bildung laminarer Kaltluftbewegungen wird so unterbunden. Nur entlang des tiefer eingeschnittenen Eselsgrabens kann sich bei derartigen Wetterlagen ein wirksamer gerichteter Kaltluftstrom entwickeln. Die hieraus resultierenden klimaökologischen Positiveffekte für die Bebauung von Niederzwehren sind aber auch hier durch die querende Autobahntrasse der A 49 gering.

Auswirkungen der Planung (Simulationen/Modellrechnungen)

a) Belüftungssituation

- Im direkten Planungsgebiet kommt es zu einer Neuversiegelung von 80 % der Böden mit Kaltluftproduktion. Bebauung bedeutet generell höhere Oberflächenrauigkeit und damit Einschränkung der Durchlüftung. Es wird einerseits die Kaltluftbildung im Gebiet selbst verringert, andererseits werden die Hangabwinde durch die versiegelten Oberflächen und Baukörper beeinflusst. Die vorgesehene Bebauung führt aber nicht zu einer kompletten Einschränkung der Kaltluftströmungen.
- Im Bereich der Bebauung von Niederzwehren ergeben sich in der Anfangsphase der Kaltluftbildung gegenüber dem Ist-Zustand keine nennenswerten Veränderungen.

Hier dominiert der Einfluss von Hangkaltluft aus dem westlichen Freiraumgefüge. Auch in Richtung Rengershausen sind keine Veränderungen im Kaltluftgeschehen zu erwarten.

- Im Planungsraum ,Langes Feld' wird stellenweise eine Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte simuliert. Die potenzielle Bebauung wirkt sich im Kaltluftgeschehen in die Fuldaaue und dort noch Richtung Norden bis zum Gewann Giesewiesen (nördlich der talquerenden A 49) aus. Im Bereich des Auestadions ist aber eine Beeinflussung des Kaltluftgeschehens nicht mehr nachweisbar. Im Bereich der Fuldaaue südlich der A 49, wo vermehrt Stagnationstendenzen zu beobachten sind, reduziert sich die Kaltluftvolumenstromdichte in Teilbereichen um ca. 25%, nördlich der A 49 um 0 - 12%. Von diesen Auswirkungen ist jedoch keine Bebauung betroffen, so dass von keinen erheblichen Auswirkungen gesprochen werden kann. Eine intensive Abkühlung an Sommertagen bleibt durch das thermische Gunstpotenzial der Fuldaaue und der verbleibenden Freiflächen am ,Langen Feld' gesichert. Nachhaltige bioklimatische Negativeffekte auf die talnahe Bebauung von Kassel (Südstadt) sind nicht zu befürchten.
- Auch für die Bebauung von Niederzwehren und Rengershausen werden hinsichtlich der kaltluftbedingten Belüftung keine negativen Auswirkungen berechnet. Im Siedlungsbereich Neue Mühle ist mit einer leicht reduzierten Kaltluftzufuhr über die südwestliche Hangzone zu rechnen. Das verbleibende Gunstpotenzial reicht jedoch aus, um nachhaltige bioklimatische Zusatzbelastungen (z.B. verzögerte nächtliche Abkühlung) zu vermeiden.
- Zuströmende Luftmassen können über die internen Belüftungsbahnen des geplanten Gewerbegebietes in die Bebauung einströmen und somit an Sommertagen, v.a. nach Sonnenuntergang, zur bioklimatischen Entlastung beitragen. Die bebauungsinterne ca. 50 m breite Grünzone bildet bei südwestlichen Winden eine wichtige Ventilationsachse. In diesem Teilbereich ergeben sich gegenüber dem Ist-Zustand keine größeren Windabschwächungen, so dass die Größenordnung der Ventilationsachse diesbezüglich als ausreichend bewertet werden kann.
- Unterstützt wird die Belüftungsintensität durch eine in Richtung der Grünzüge abgestufte Gebäudehöhe. Die Lee-Effekte des potenziellen Gewerbegebietes reichen max. 240 m nach Nordwesten. Der als Kaltluftsammel- und Kaltluftabflussbereich fungierende Hangeinschnitt „Beim alten Teich“ wird aufgrund der nach Südosten zurückversetzten Bebauung nur im oberen Hangbereich von den bebauungsbedingten Lee-Effekten überprägt.
- Insgesamt ist festzuhalten, dass die Auswirkungen des potenziellen Gewerbegebietes auf die lokalen Kaltluftbewegungen im Fuldataal begrenzt bleiben. Die allgemein erforderlichen Mindestgrößen für Kaltluftströmungsleitbahnen werden eingehalten.

Bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen sind Einschränkungen der Kaltluftströmung in nördliche Richtung bis in den Bereich Giesewiesen zu erwarten. Davon sind überwiegend nicht bebaute Bereiche betroffen.

b) Wärmeinseleffekt

- Durch die geplante Bebauung im 'Langen Feld' kommt es im Planungsgebiet zu einer flächenhaften Zunahme der Lufttemperatur um ca. 1.5 - 3.0 °C. Diese bleibt auf das nähere Planungsumfeld (bis in eine Entfernung von 150 - 300 m) beschränkt. In Niederzwehren ist mit keinen thermischen Zusatzbelastungen zu rechnen.
- Positiv ist das geplante Netz von Frei- und Abstandsflächen zu bewerten. Es ermöglicht eine allseitige Umströmung der Baukörper, so dass der Wärmeinseleffekt zusammen mit gezielten grünordnerischen Maßnahmen eng begrenzt werden kann.
- Die Breite des von SW nach NO verlaufenden Grünzuges reicht aber nicht aus, um im zentralen Teilbereich eine Überlagerung der Wärmeauren von nördlich und südlich angrenzender Bebauung zu verhindern. Hier wäre eine Aufweitung auf mindestens 60 m notwendig.
- Die Wärmeaura der geplanten Bebauung reicht z.T. bis in den Bereich „Warteküppel“. Die vorgesehenen grünordnerischen Maßnahmen am Bebauungsrand reichen nicht aus, um die Warmluftfahne eng zu begrenzen.

Allgemeine Planungshinweise

- Für das Planungsgebiet und dessen Umfeld ist von großer Bedeutung, dass bei der Ausweisung eines Gewerbestandortes die wesentlichen klimaökologischen Funktionsabläufe erhalten werden und die Möglichkeit zur Sicherung einer möglichst hohen klimaökologischen Qualität innerhalb der potenziellen Bebauung genutzt wird. Dies bedeutet, dass klimatisch besonders bedeutsame Teilbereiche des 'Langen Feldes' weitgehend von Bebauung freigehalten werden müssen. Als Teil des siedlungsnahen Kaltlufteinzugsgebietes sind die vom 'Langen Feld' ausgehenden thermischen Positiveffekte für die bestehende Bebauung von Kassel langfristig zu sichern. Dies kann nur durch den Erhalt ausreichend großer Kaltlufteinstehungsgebiete und durch die Sicherung der wesentlichen Kaltluftabflussbahnen erreicht werden. Für derartige Strömungsleitbahnen werden Breiten von mindestens 400 bis 500 m empfohlen.
- Aus Sicht der Klimaökologie ist bei der baulichen Gestaltung des geplanten Gewerbegebiets entscheidend, dass der von der Bebauung ausgehende „Wärmeinseleffekt“ sowohl von seiner Intensität als auch von seiner räumlichen Ausdehnung möglichst gering bzw. eng begrenzt bleibt.

- Am West-, Nord- und Ostrand des Planungsgebiets ist eine möglichst offene räumliche Verzahnung mit dem angrenzenden Freiland zu entwickeln.
- Frei- und Abstandsflächen sollten die Möglichkeit bieten, siedlungsklimatisch relevante Ausgleichsmaßnahmen zu realisieren, die sich nicht nur auf das Eigenklima und die klimaökologische Qualität der Neubebauung positiv auswirken, sondern auch dazu beitragen, dass die klimaökologische Ausgleichsleistung der verbleibenden Freiräume möglichst auf hohem Niveau gehalten werden kann. Es ist daher darauf zu achten, dass innerhalb der Bebauung funktionsfähige Ventilations- bzw. Belüftungsbahnen ausgewiesen werden, die sowohl zur Sicherung der Kaltluftproduktion beitragen (Aktivwirkung) als auch Luftaustauscheffekte sichern (Passivwirkung).
- Zentrale Grünachsen sollten eine Mindestbreite von der 3- bis 4-fachen Höhe der benachbarten Gebäude erhalten.
- Die Bebauung ist derart anzuordnen, dass für die benachbarte Wohnbebauung möglichst keine zusätzlichen strömungsdynamischen Negativeffekte zu erwarten sind.
- Thermisch wirksame Ausgleichsmaßnahmen auf den einzelnen Grundstücken sowie entlang der Erschließungsachsen (nicht nur zentrale Grünachsen) sollten vorgesehen werden.

Bereits im Rahmenplan berücksichtigte klimaökologische Belange

a) zur Sicherung der Kalt-/Frischlufthproduktion und Luftschadstoffsedimentation

- Die bedeutsamen Kaltluftammel- und -abflussbereiche in Richtung Fuldaue und Eselsgraben werden von Bebauung weitgehend freigehalten.
- Die allgemein erforderlichen Mindestgrößen für Kaltluftströmungsleitbahnen werden eingehalten.
- Zwischen dem geplanten Gewerbegebiet und der A 49 verbleibt ein strömungsrelevanter freier Geländequerschnitt von ca. 500 - 750 m (Hangeinschnitt entlang des Gewanns „Beim alten Teich“)
- Der Abstand zur nächstgelegenen Bebauung in Rengershausen beträgt ca. 850 m, zur Wohnbebauung der Neuen Mühle mindestens 350 m (Am Sandgraben).
- Das Gewerbegebiet wird mit Hilfe von Flurgehölzen eingegrünt, die – wo möglich – an bestehende Gehölzstrukturen angebunden werden. Die Gehölze/Hecken sind in Gebäude-Lee-Lage angeordnet, so dass dadurch keine zusätzlichen Strömungshindernisse entstehen.

- Ein Teil bisheriger Ackerflächen nördlich des geplanten Gewerbegebiets und entlang der Hangzone zum Eselsgraben wird in Extensivgrünland umgewandelt.
- Im Südosten ist eine Ergänzung des Waldrandbereiches vorgesehen.

Bewertung:

Insgesamt kann von keiner erheblichen Schwächung des siedlungsnahen Kaltluftströmungsgeschehens gesprochen werden.

b) zur Reduzierung des Wärmeinseleffekts

- Eine Gliederung durch interne Ventilations-/Grünachsen (Durchlüftung und günstiges Eigenklima) ist gegeben.
- Beiderseitige Baumpflanzungen an Hauptstraßen (Beschattung des Straßenzugs, Luftsedimentation) sind vorgesehen.
- Die Erschließungsvariante mit der geringsten Flächeninanspruchnahme wurde gewählt.
- Es ist Dachbegrünung vorgesehen, die zur Reduzierung der Luftschadstoffbelastung und zur Erhöhung der Wasserrückhaltefähigkeit nach Regen beiträgt.
- Die geplanten Baumpflanzungen in den Erschließungsstraßen werden für Schattenwurf sorgen.

Konkrete Planungsempfehlungen

Aus Sicht der Klimaökologie wurden bei der Planung wesentliche klimaökologische Belange bereits berücksichtigt. Eine weitere Minimierung klimakölogischer Negativeffekte kann durch folgende Planungsvorschläge erreicht werden:

- Bei südlicher Anströmung reicht die Warmluftfahne des Gewerbegebiets bis in den Bereich Warteküppel. Zur Minimierung dieses Effekts sind möglichst umfangreiche bebauungsinterne Ausgleichsmaßnahmen zu ergreifen.
- Die Ventilationsbahnen sind insgesamt so dimensioniert, dass sich im weiteren Umfeld der Bebauung keine Negativeffekte einstellen werden. Vorschläge zur klimaökologischen Optimierung der Planung: Aufweitung der zentralen Grünachse von 50 auf 60 m (um die klimaökologische Aktivwirkung der Flächen zu erhöhen).
- Zur Verbesserung der Ventilation wird eine abgestaffelte Gebäudehöhe auch in Richtung des nördlichen Freiraumgefüges (nicht nur zu den beiden Grünachsen) empfohlen.

- Zur Reduzierung des Wärmeinseleffektes sollten langgestreckte Fassaden (ab ca. 30 m) durch Anpflanzung von Laubbäumen gliedernd gestaltet werden (Reduzierung der Aufheizung durch Schattenwurf)
- Zur Reduzierung des Wärmeinseleffektes sollten wo möglich Rasengittersteine bei Befestigung von Parkplätzen verwendet werden.
- Größere Gewerbestrukturen sollten im südlichen Teilbereich angesiedelt werden. Am Nord- und Ostrand sollte durch kleinteilige Strukturen eine offene räumliche Verzahnung mit dem Freiland ermöglicht werden.
- Die Gebäudehöhen sollten 10 m in der Regel nicht überschreiten. Es können auf 20 % der Fläche auch bis zu 12 m hohe Gebäude zugelassen werden, wenn ein Volumenausgleich erfolgt (= andere Gebäude niedriger oder geringere Ausnutzung der GRZ). Bisher sind im Entwurf noch keine Gebäudehöhen vorgegeben.
- Zudem sollte geprüft werden, ob die Gewerbebebauung im Nordwesten zugunsten einer Ausdehnung der Bebauung im Südosten zurückgenommen werden kann, so dass die Bebauung sehr wichtiger Ausgleichspotenziale minimiert werden kann.
- Ausgleichsmaßnahmen im Bestand (Frankfurter Straße) sind zu begrüßen, sollten aber nicht für die Beanspruchung klimatisch aktiver Freiflächen bewertet werden.
- Bei der Ansiedlung von Unternehmen muss die betriebliche Dynamik berücksichtigt werden. Eine Ausdehnung des Gebietes über das vorgeschlagene Maß hinaus sollte ausgeschlossen werden.

Hinweis:

Die bauliche Inanspruchnahme von Regionalen Grünzügen ist grundsätzlich als kritisch zu bewerten. Auch vermeintlich geringe klimaökologische Beeinträchtigungen können in der Summe über Jahre hinweg nachhaltige Veränderungen im stadtklimatischen Wirkungsgefüge haben.

1.4 Analyse der lufthygienischen Situation

Mit dem geplanten Gewerbestandort geht auch eine wechselnde Verkehrsfrequenz, ggf. eine Zusatzemission von Heizungsabgasen und durch die lokale Veränderung des Windfeldes ein modifiziertes Ausbreitungsverhalten von Luftschadstoffen einher. Daher werden in einem zweiten Teil des Gutachtens die verkehrsbedingten Immissionsverhältnisse aufgezeigt und bewertet sowie bevorzugte Ausbreitungspfade anlagenbezogener Immissionen beschrieben. Es soll damit geprüft werden, ob das geplante Gewerbegebiet zu einem erheblichen Anstieg der Luftschadstoffimmissionen führen kann.

Beurteilt werden die Immissionszusatzbelastungen (Stickstoffdioxid NO₂ und Feinstaub PM₁₀) durch das veränderte Verkehrsaufkommen. Außerdem werden Aussagen zum Ausbreitungsverhalten anlagenbezogener Luftschadstoffemissionen gemacht.

Verkehrsbedingte Immissionsbelastungen

- Geprüft wurde die Immissionsbelastung entlang der Autobahnzufahrt Frankfurter Straße sowie entlang der Trasse zum geplanten Gewerbestandort.
- Ein großer Teil der Schadstoffbelastung in der Luft (40 - 50% bei Stickstoffdioxid und ca. 10 – 20% bei Feinstaub) resultieren aus dem Verkehr im Kasseler Stadtgebiet.
- Zunahme Der Verkehrsbelastung durch den geplanten Gewerbestandort: jeweils rund 9.000 Kfz/24h im Ziel- und Quellverkehr, davon jeweils 40 % über A 44 bzw. A 49 und 20 % über die Frankfurter Straße.
- Verkehrszusatzbelastung: 13 % auf der A 49, 20 % auf der A 44, 24 % auf der Frankfurter Straße

a) Frankfurter Straße

- Die Immissionsbelastung an der Frankfurter Straße ist bei vorliegender hoher Grundbelastung (30,6 µg/m³) bereits im Ist-Zustand relativ hoch mit Werten zwischen 37 und 39 µg/m³. Im Plan-Zustand erreicht sie in Nähe der Wohnbebauung mit knapp 40 µg/m³ fast den Grenzwert. Dabei wurden allerdings emissionsmindernde Maßnahmen, wie sie im Luftreinhalte- und Aktionsplan vorgeschlagen werden, noch nicht berücksichtigt.
- Die Wohnbebauung in den angrenzenden Straßenzügen ist nur in geringem Umfang von Zusatzimmissionen betroffen. Grenzwertüberschreitungen sind nicht zu erwarten.

- Der Zusatzverkehr führt auch zu einem geringen Anstieg an Feinstaubbelastung (von gut 33 auf knapp 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), der Grenzwert (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) wird aber weiterhin sicher eingehalten.

b) Neue Erschließungsspanne

Entlang der Erschließungsstraße werden nicht unerhebliche Schadstoffmengen emittiert werden. Beiderseits der Straße können bis in ca. 150 m Entfernung Stickstoffdioxidimmissionen von mehr als 10 % der Grundbelastung erwartet werden. Bei einer 800 m langen Fahrstrecke mit je 150 m breiten Streifen mit nicht unerheblicher Schadstoffzusatzbelastung geht durch die Erschließungsstraße weiteres lufthygienisches Ausgleichspotenzial von ca. 24 ha verloren.

Anlagenbedingte Immissionsbelastungen

- Zwischen dem geplanten Gewerbestandort und der nächstgelegenen Wohnbebauung besteht ein Mindestabstand von ca. 350 m. Bei der Ansiedlung emittierender Betriebe sind grundsätzlich die Werte aus dem Abstandserlass einzuhalten.
- Grundsätzlich ist eine Prognose nur schwer möglich, da die Emissionen anlagenspezifisch beurteilt werden müssen.
- Die höchsten Werte sind im unmittelbaren Nahbereich zu erwarten. Aufgrund der kuppenartigen Lage kommt es zu einer intensiven Durchmischung der bodennahen Luftschichten.
- Zu erwartende relative Schadgaskonzentrationen: Am Sandgraben je nach Quellort 2 - 15%, In der Fuldaaue 1 - 3%, in Niederzwehren je nach Quellort 2 - 10 %.
- Durch die meist vorherrschenden Winde aus südlichen Richtungen werden die Schadgasemissionen im Allgemeinen bevorzugt in Richtung Norden abtransportiert. Bei Kaltluftsituationen ist davon auszugehen, dass z.B. Emissionen von Heizungsanlagen in das bodennahe Kaltluftsystem gelangen und in Richtung Fuldaaue abtransportiert werden.

Bewertung:

Das 'Lange Feld' fungiert im Ist-Zustand als Schadgassenke. Durch das planungsspezifische Verkehrsaufkommen und betriebliche Immissionen (z.B. Hausbrand) wird diese Funktion reduziert. Eine erhebliche lufthygienische Zusatzbelastung für das Stadtgebiet von Kassel ist aufgrund der recht günstigen Ventilationsverhältnisse im Planungsgebiet hieraus jedoch nicht abzuleiten.

Planungsempfehlungen

Zusätzliche Maßnahmen zur Immissionsminderung:

- Baum- und Strauchpflanzungen entlang der Erschließungsstraße sowie lockere Baumpflanzungen entlang der Frankfurter Straße (z.T. bereits geplant)
- Prüfung von Durchfahrtsverboten für Schwerlastverkehr auf der Frankfurter Straße (Abwicklung des Schwerlastverkehrs v.a. über die A 44)
- Entwicklung eines attraktiven ÖPNV-Angebots
- Prüfung der Nutzung von Fernwärme
- Förderung der Einrichtung von Solar- und/oder Photovoltaikanlagen

2 Fragestellung

Eine Bestandsaufnahme der Gewerbeflächen durch das Büro Planquadrat (2005) weist darauf hin, dass die Stadt Kassel in den nächsten Jahren einen neuen Gewerbestandort benötigt, um die zu erwartende Nachfrage nach Gewerbeflächen mittel- und langfristig befriedigen zu können.

Laut einer umfangreichen Standortanalyse wird der Bereich ,Langes Feld' im Süden von Kassel als geeigneter Standort erachtet (**Abbildung 1**)¹.

Der ca. 356 ha große Planungsraum ,Langes Feld' umfasst die weitgehend landwirtschaftlich genutzten Freiflächen (ca. 64% Flächenanteil) zwischen den Autobahnen A 44 und A 49 sowie dem Fuldataal. (vgl. **Abbildungen 2** und **3**). Er ist nach Angaben von Planquadrat (2005) neben dem Habichtswald, der Fuldaue und der Dönche einer der größten zusammenhängenden unbesiedelten Bereiche und die größte zusammenhängende landwirtschaftlich genutzte Fläche des Kasseler Stadtgebiets.

Grünlandflächen nehmen einen Flächenanteil von ca. 8% ein. Feldgehölze, Gehölzflächen und Streuobstbrachen umfassen ca. 10% der Fläche des Planungsraumes.

Siedlungsflächen haben einen Flächenanteil von ca. 6% (einschließlich Kraftwerksflächen).

Die Reliefkarte (**Abbildung 4**) verdeutlicht, dass sich der Planungsraum ,Langes Feld' weitgehend in Kuppen- und Hanglage befindet. Das zum Fuldataal und zum Eselsgraben hin abfallende Gelände erstreckt sich über Höhenlagen von ca. 145 m ü.NN (Dennhäuser Straße) bis ca. 203 m ü.NN (Gewann Langefeld), wobei Hangneigungen unter 4% (ca. 63% der Gesamtfläche) überwiegen (**Abbildung 5**). Größere Hangneigungen (über 10°) finden sich entlang der NW-exponierten Hangzone am Eselsgraben (zwischen Keilsberg und Warteküppel) und am östlichen Übergang des Planungsraumes ins Fuldataal.

¹ PLANQUADRAT DORTMUND (2005): Machbarkeitsstudie ,Langes Feld'. Dortmund

Im Regionalplan Nordhessen (2000) ist der Planungsraum als Teil eines Regionalen Grünzugs sowie als Bereich (ca. 2/3 der Fläche) mit besonderer Klimafunktion ausgewiesen. Grundlage für die Bewertung ist ein Klimagutachten des Zweckverbandes Raum Kassel (TARAXACUM 1999), das den Planungsraum als hochaktives bzw. aktives Kaltluftentstehungsgebiet bewertet, das über Flächen mit hohem Luftleitpotenzial in der Fuldaaue in Bezug zur Kasseler Innenstadt steht.

Teile der Hochfläche sowie die Nord- und Westhänge werden als Bereiche mit hoher bis sehr hoher klimaökologischer Ausgleichsleistung bewertet. Die nordöstlichen bis südlichen Bereiche besitzen mittlere klimaökologische Bedeutung.

Mit dieser klimaökologischen Bewertung des Geländes verknüpft ist die Befürchtung, dass bei einer Ausweisung eines Gewerbestandortes ‚Langes Feld‘ die klimaökologische Ausgleichsleistung des Freiraumgefüges deutlich eingeschränkt wird, wodurch sich in der angrenzenden Bebauung (Niederzwehren, Rengershausen, Neue Mühle) sowie entlang der Fuldaaue bis in innenstadtnahe Lagen nachhaltige klimaökologische Negativeffekte einstellen.

Im anstehenden Planungsprozess sind daher die sich aus der potenziellen Bebauung ergebenden Auswirkungen auf die lokalen klimaökologischen Verhältnisse detailliert zu untersuchen und zu bewerten sowie Planungsvorgaben zur Minimierung klimatischer/ lufthygienischer Negativeffekte zu erarbeiten.

Mit der baulichen Inanspruchnahme der Freiflächen wird durch den Verlust von Kaltluftproduktionsflächen und durch die Erhöhung der Oberflächenrauigkeit eine Veränderung der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe erfolgen.

Die Aufgabe des vorliegenden Fachgutachtens besteht nun darin, die auftretenden strömungsdynamischen, thermischen und lufthygienischen Verhältnisse projektbezogen zu analysieren und die aus den vorgesehenen Planungen resultierenden Folgeerscheinungen zu bewerten.

Voraussetzung hierzu ist eine vertiefende Aufnahme der klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsgebiet und in dessen Umfeld sowie eine Simulation der klimatischen/lufthygienischen Veränderungen zwischen Ist- und Plan-Zustand.

Für die Klimauntersuchung sowie für die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in planungsbezogene Bewertungen und Empfehlungen wurden daher folgende Schwerpunkte gesetzt:

- Vertiefende Analyse und Bewertung der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe unter besonderer Berücksichtigung der Kaltluftbewegung.
- Quantitative Bestimmung und Diskussion der klimaökologischen Wechselwirkungen zwischen Freiflächen und Bebauung sowie der zu erwartenden klimatischen Veränderungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld bei Realisierung des Gewerbestandortes ,Langes Feld'. Hierbei sind sowohl thermische/bioklimatische als auch strömungsdynamische Aspekte zu betrachten.
- Bestimmung der lufthygienischen Folgeerscheinungen durch den potenziellen Verkehrsanstieg entlang der Frankfurter Straße.
- Beispielhafte Darstellung des Ausbreitungsverhaltens von Schadgasen im Bereich ,Langes Feld' bei Ansiedlung emittierender Betriebe.

Die vorliegende stadtklimatische Untersuchung beschäftigt sich somit mit dem Klima auf Ebene der Meso (γ)- und Mikroklimatologie (räumliche Dimension ca. 20 m – 20 km) – **Tabelle 1**. Nachweisbare Auswirkungen der räumlich eng begrenzten Planung auf weiter entfernte Bereiche und die meso (β)-klimatischen bis makroklimatischen Bedingungen können ausgeschlossen werden.

Tabelle 1: Skaleneinteilung in der Klimatologie (nach HÖSCHELE 1984)

Horizontale Erstreckung	Skalenbezeichnung	Planungsebene	Üblicher Kartenmaßstab
20 – 200 km	Meso-Skala β	Landesplanung	1 : 500.000
2 – 20 km	Meso-Skala γ	Regionalplanung	1 : 50.000
200 m – 2 km	Mikro-Skala α	Standort-, Flächennutzungsplanung	1 : 10.000
20 m – 2 km	Mikro-Skala β	Bebauungsplanung	1 : 500
unter 20 m	Mikro-Skala γ		

3 Planungskonzept

Auf Grundlage der vorhandenen Kenntnisse wurden vom Büro PLANQUADRAT DORTMUND für den Gewerbebestandort ,Langes Feld' erste Strukturkonzepte erarbeitet, die eine Entwicklung im zentralen Bereich der Hochfläche vorsehen. Vom Planungsraum ,Langes Feld', der eine Gesamtfläche von ca. 350 ha umfasst, sollen ca. 95 ha (= 27%) planerisch in Anspruch genommen werden.

Die stadtklimatisch besonders bedeutsamen nördlichen und westlichen Hanglagen sollen als klimaökologisch wirksame Freiräume erhalten bleiben.

Laut vorliegendem Städtebaulichen Rahmenplan (**Abbildung 6 – 8**) soll das Gewerbegebiet (Flächengröße ca. 95 ha, Nettobaufläche ca. 77 ha) mit Hilfe eines orthogonalen Erschließungsrasters räumlich gegliedert werden, das sich an dem vorhandenen SW-NE-orientierten Wege- und Flurstücksraster orientiert. Klimatische Negativeffekte, die aus der Überbauung der Freiflächen resultieren, sollen mit Hilfe interner Ventilations-/Grünachsen und grünordnerischer Maßnahmen weitgehend aufgefangen werden. So ist bspw. in SW-NE-Richtung eine zentrale ca. 50 m breite Grünachse geplant, die sowohl die Durchlüftung als auch die Gestaltung eines möglichst günstigen Eigenklimas im Gewerbegebiet sichern soll.

Die Haupteerschließungsstraßen sind derart konzipiert, dass beiderseitige Baumpflanzungen möglich werden → Beschattung des Straßenzugs, Luftschadstoffsedimentation (**Abbildung 7**).

Zur Einbindung des Gewerbegebietes in das Planungsumfeld soll eine Eingrünung mit Flurgehölzen (mehrrheilige Hecken) erfolgen, die – wo möglich – an bestehende Gehölzstrukturen angebunden werden. Weitere Ausgleichsmaßnahmen sind die Umwandlung bisheriger Ackerflächen in Extensivgrünland (vor allem nördlich des geplanten Gewerbegebietes und entlang der Hangzone zum Eselsgraben) und eine Ergänzung des Waldrandbereiches im Südosten.

Die Erschließung des Gewerbebestandes ,Langes Feld' soll über die neu zu schaffende Autobahnanschlussstelle A 44 ,Langes Feld' und die Autobahnanschlussstelle A 49 Kassel-Niederzwehren erfolgen (**Abbildung 9**). Nach vergleichender Prüfung mit weiteren Erschließungsvarianten (siehe **Abbildung 10**) zeigte sich, dass die nun weiterverfolgte Variante u.a. die geringste Flächeninanspruchnahme besitzt und stufenweise realisiert werden kann.

4 Untersuchungsmethodik

Das planungsbezogene Klima- und Luftschadstoffgutachten zum potenziellen Gewerbestandort ,Langes Feld' ist als Ergänzung bzw. Vertiefung zu bereits vorliegenden Klimaanalysen des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (DWD), des HESSISCHEN LANDESAMTES FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (HLUG) und des ZWECKVERBANDES RAUM KASSEL (ZVK)/TARAXACUM² zu sehen und baut auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen auf.

Neben einer projektbezogenen Aufbereitung und Darstellung vorhandener Klimadaten/Klimakarten werden zur Erarbeitung fachlich fundierter Aussagen und planungsrelevanter Empfehlungen in einer windschwachen Strahlungsnacht orientierende mobile Klimamessungen durchgeführt:

- Mittels eines kleinaerologischen Messprogramms (Fesselballonmessungen mit einer mehrparametrischen Sonde – Lufttemperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Höhe) wird im Planungsraum die Intensität und Mächtigkeit lokaler Kaltluftbewegungen untersucht.
- Mit Tracergas-Analysen (mit Hilfe des Gases SF₆) wird untersucht, inwiefern die Kaltluft des Planungsraumes über die Fuldaaue bis in innenstadtnahe Bereiche gelangt.
- Mit Hilfe dicht angelegter, netzförmiger Messprofile im Planungsraum und in dessen Umfeld erfolgt die bodennahe Erfassung der Lufttemperatur. Dies erlaubt es, thermisch unterschiedlich wirksame Teilbereiche zu ermitteln sowie Kaltluftstagnationsbereiche kenntlich zu machen.

In einem weiteren Schritt werden mit Hilfe umfangreicher meso- und mikroskaliger Modellrechnungen die Auswirkungen des geplanten Gewerbegebietes im Süden von Kassel auf das lokale Klimageschehen geprüft. Dabei kamen die allgemein anerkannten Modellpakete KALM³, MISKAM⁴ und Envi-MET⁵ zum Einsatz.

² **DEUTSCHER WETTERDIENST (1982):** Klimatologische Untersuchung zum Landschaftsplan Kassel. Teil 1. Windverhältnisse bei austauscharmen Wetterlagen. Offenbach a.M.

AMBIMET (1992): Numerische Simulation der Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge im Bereich Kassel während einer Strahlungsnacht. Hrsg.: Hessische Landesanstalt für Umwelt. Wiesbaden.

TARAXACUM (1999): Fortschreibung und vertiefende Klimauntersuchung (M 1:10.000) für den Raum des Zweckverbandes Kassel. Kassel.

ZWECKVERBAND KASSEL (1990): Stadtklimauntersuchung Zweckverband Kassel – Wärmebildpläne. Aufnahmen durch Spacetec, Freiburg i. Br.

³ **SCHÄDLER ET AL. (1994):** Simulation of nocturnal drainage flows on personal computers. In: Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3, S. 167 - 171

⁴ **EICHORN, J. (1998):** MISKAM – Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Mainz.

Zunächst werden mit einem mesoskaligen Kaltluftabflussmodells (KALM) für den Ist- und Plan-Zustand die ortsspezifischen Kaltluftbewegungen quantifiziert.

Die räumlichen Abmessungen des hierbei betrachteten Untersuchungsgebietes liegen bei einigen Kilometern, um den Stellenwert des räumlich eng begrenzten Planungsraumes im Süden von Kassel bewerten zu können.

Grundlage der Berechnungen bildet ein digitales Höhenmodell und die von der Flächennutzung abhängige Kaltluftproduktionsrate. Berechnet wird die Kaltluftmächtigkeit und die Kaltluftvolumenstromdichte. Die Bebauung findet über ihre Oberflächenrauigkeit Eingang in die Berechnungen.

Die detaillierte, mikroskalige Prüfung und Bewertung verschiedener Planungsvarianten hinsichtlich ihrer strömungsdynamischen und thermischen Folgeerscheinungen erfolgt mit den prognostischen Rechenmodellen MISKAM und Envi-MET.

Zur Bewertung der verkehrsbedingten lufthygienischen Folgeerscheinungen werden auf Grundlage einer Ausbreitungsklassenstatistik Immissionsberechnungen mit dem Modell WinMISKAM⁶ durchgeführt. Entlang eines Ausschnittes der zusätzlich belasteten Frankfurter Straße werden für den Ist- und Plan-Zustand die besonders relevanten Schadstoffkomponenten Stickstoffdioxid (NO₂) und Feinstaub (PM₁₀) geprüft.

Die Ergebnisse werden den Grenzwerten der 22. BImSchV gegenübergestellt.

Die Vorbelastung wird mit Hilfe des LUFTREINHALTE- UND AKTIONSPLANS FÜR DEN BALLUNGSRAUM KASSEL (2006) und der Daten des landesweiten Immissionsnetzes bestimmt.

Zur Prüfung der ortsspezifischen Ausbreitungsbedingungen im geplanten Gewerbegebiet werden mit Hilfe des TA-Luft Modells AUSTAL2000⁷ die bevorzugten Ausbreitungspfade für Luftbeimengungen ermittelt.

⁵ **BRUSE, M. FLEER, H. (1998):** Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, Environmental Modelling & Software (13), S 272 – 384.

⁶ **ING.-BÜRO LOHMEYER/EICHORN J. (2006):** WinMISKAM – Handbuch. Karlsruhe/Mainz.

⁷ **ING.-BÜRO JANICKE (2002):** Austal2000 – Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Durnum.

5 Klimaökologische Funktionsabläufe

5.1 Allgemeine klimatische Bedingungen im Raum Kassel

Das Stadtgebiet von Kassel ist großräumig dem warmgemäßigten Regenklima der mittleren Breiten zuzuordnen. Mit überwiegend westlichen Winden werden das ganze Jahr über feuchte Luftmassen vom Atlantik herangeführt, die zu Niederschlägen führen.

Die Jahressumme des Niederschlags liegt in Kassel bei ca. 700 mm (Wetterstation Kassel 1961 – 1990)⁸, wobei der Monat Juni die größte Niederschlagshöhe (ca. 79 mm) aufweist. In diesem Monat kommt es durch hohe Einstrahlungsintensität und die daraus folgende Konvektion mit Wolkenbildung verstärkt zu Schauern und Gewittern.

Die Jahresmitteltemperatur beträgt im mehrjährigen Mittel ca. 8.5°C (1961 – 1990). Die mittleren Julitemperaturen erreichen Werte um 22.4°C, die mittleren Januartemperaturen –2.0°C.

Tage mit erhöhter Wärmebelastung treten in Kassel, abhängig von der Lagesituation, an ca. 15 Tagen (Bereich 'Langes Feld') – 25 Tagen (Stadtmitte) auf - siehe **Abbildung 11**.

Schwülebelastung, die mit einer erhöhten Feuchttemperatur verbunden ist ($\geq 18^\circ\text{C}$), kann an ca. 17 Tagen im Jahr erwartet werden. Zum Vergleich: im Raum Frankfurt a.M. beträgt die Anzahl schwüler Tage im Jahr 28.

Bioklimatisch ist der Raum Kassel als Zone mit gelegentlicher Wärmebelastung und gelegentlichem Kältereiz zu bewerten (**Abbildung 12**). Die bioklimatische Belastung ist in den Sommermonaten demnach deutlich geringer als bspw. in den Räumen Frankfurt und Darmstadt (vermehrte bzw. hohe Wärmebelastung). Mittelfristige Prognosen deuten jedoch darauf hin, dass die sommerliche Wärmebelastung im Zuge des globalen Klimawandels im Raum Kassel zunehmen wird⁹.

Die Strömungsverhältnisse werden im Raum Kassel vorwiegend von Westwinden bestimmt, die in Bodennähe allerdings durch die Randhöhen (Habichtswald) vermehrt zu südlichen bis südsüdwestlichen Richtungen abgelenkt werden (**Abbildung 13**).

⁸ Daten aus: HESS. MINISTERIUM F. UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1999): Luftreinhalteplan Kassel. 1. Fortschreibung. Wiesbaden.

⁹ HESS. MINISTERIUM FÜR UMWELT, LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2007): Klimaschutzkonzept Hessen 2012. Wiesbaden.

Im Planungsumfeld – repräsentiert durch die Daten der Wetterwarte Kassel – herrschen im Allgemeinen südliche bis südsüdwestliche Windrichtungen vor (ca. 38%). Als Sekundärmaximum werden nördliche Strömungsrichtungen gemessen (ca. 13%).

Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit schwankt in Abhängigkeit von der Flächennutzung zwischen ca. 2.0 m/s (Innenstadtbereich) und ca. 3.5 m/s (Kuppenlage ‚Langes Feld‘ (**Abbildung 11**)).

Bioklimatisch und lufthygienisch besonders relevant sind austauscharme Wetterlagen (ca. 7% der Jahresstunden), die im Kasseler Becken zu einer deutlichen Minderung des horizontalen und vertikalen Luftaustausches führen. Laut Untersuchungsergebnissen zum LUFTREINHALTEPLAN KASSEL (1999) sind in Kassel an ca. 6.7% der Tage im Jahr (= 24.4 Tage im Jahr) austauscharme Wetterlagen zu erwarten (**Abbildungen 14**). Damit verbunden ist u.a. eine verstärkte Akkumulation von Luftschadstoffen in Bodennähe.

Die Monate, in denen am häufigsten diese Wetterlagen auftreten, sind der September und Oktober. In diesem Zeitraum sind auch am häufigsten stabile Luftschichtungen (Inversionen) mit deutlich abgeschwächten Luftaustauschverhältnissen zu registrieren.

Besonders in den Sommermonaten können in windschwachen Strahlungsnächten¹⁰ (ca. 31% der Nächte zwischen Mai und September) thermisch induzierte regionale und lokale Windsysteme entstehen, die wesentliche Gunsteffekte (Kalt- und Frischluftzufuhr) erbringen können.

Hierbei lassen sich im Allgemeinen Flurwindeffekte (z.B. kleinräumige Luftaustauschbewegungen zwischen der Fuldaaue und der direkt angrenzenden Bebauung), Hangwinde (z.B. Kaltluftabfluss im Bereich Dönche) und Bergwinde (flächenhafter Luftaustausch zwischen Habichtswald und Kasseler Becken) unterscheiden.

Wie **Abbildung 14** dokumentiert, ist die mittlere Häufigkeit der windschwachen Strahlungsnächte (ca. 20% der Nächte im Jahr) in den Monaten Juli und August am größten. In diesem Zeitraum beträgt die mittlere Häufigkeit 37.7% bzw. 35.2%.

¹⁰ Eine windschwache Strahlungsnacht liegt vor, wenn die mittlere Windgeschwindigkeit bis 5 Kn (= 2.57 m/s) beträgt und gleichzeitig der Bedeckungsgrad des Himmels kleiner oder gleich 4/8 des Himmelgewölbes beträgt.

5.2 Ortsspezifisches Strömungsgeschehen und Ventilation

5.2.1 Ergebnisse vorliegender Untersuchungen

Kenntnisse über das ortsspezifische Strömungsgeschehen sind zur Beurteilung der bioklimatischen und lufthygienischen Situation notwendig, da neben den thermischen Verhältnissen vor allem die bodennahe Ventilation¹¹ die Auftretenshäufigkeit u.a. von bioklimatischer Belastung/Schwüle und erhöhten Immissionsbelastungen mitbestimmt. Wie **Abbildung 15** verdeutlicht, nimmt die vom Menschen wahrgenommene Temperatur (PET)¹² mit abnehmender Windgeschwindigkeit deutlich zu.

Nimmt die Windgeschwindigkeit an einem Sommertag bspw. von 2.0 auf 0.5 m/s ab, so empfindet man dies wie eine Temperaturzunahme um 3.8°C.

Wie Messergebnisse des DWD (1982) und des Büros TARAXACUM (1999) dokumentieren, wird das Strömungsgeschehen im Planungsraum und in dessen Umfeld durch

- die Leitlinienwirkung des Fuldatals,
- die sich über die Hänge und Täler des Habichtswaldes entwickelnden Lokal- und Regionalströmungen,
- die örtliche Flächennutzung und das Kleinrelief

geprägt.

¹¹ Unter dem Begriff **Ventilation** sind Vorgänge des Luftaustausches und der Frischluftzufuhr zu verstehen, die zum Abbau von bioklimatischen und lufthygienischen Belastungen beitragen. Dies geschieht auf Grund des Austausches oder der Durchmischung der mit negativen lokalen Eigenschaften behafteten Luftmassen sowohl durch solche, die auf dem Wege der Großzirkulation herangeführt, als auch durch solche, die über klimaökologische Ausgleichsräume (z.B. vegetationsbedeckte Freiräume) herangeführt werden oder diesen ihre Entstehung verdanken. Für den Grad der Ventilation sind die Windgeschwindigkeit und die Luftschichtung von Bedeutung. Mit einer ausreichenden weiträumigen Durchlüftung innerhalb der Bebauung ist erst bei Windgeschwindigkeiten über 3.0 m/s zu rechnen. Luftströmungen unter 3.0 m/s dringen zwar in die Bebauung ein, greifen dort je nach Bebauungsdichte auch bis zum Boden durch, können aber die mit lokalen Eigenschaften behaftete Luft nicht ausräumen. In diesem Falle ist deshalb von Belüftung zu sprechen.

Durchlüftung ist der völlige Austausch lokaler Luftmassen durch reinere Luftmassen der höheren Atmosphäre, zurückzuführen auf Luftströmungen höherer Geschwindigkeit, die bis zum Boden durchgreifen. In kürzester Zeit können auf diese Weise lokal belastete Luftmassen durch Frischluft ersetzt werden. Voraussetzung ist vorwiegend indifferente bis labile Luftschichtung. **Belüftung** ist die Durchmischung und horizontale Verlagerung lokal belasteter Luftmassen durch über klimaökologische Ausgleichsräume zuströmende Luftmassen geringerer Geschwindigkeit. Der völlige Austausch lokal belasteter Luft kann nicht oder nur über einen längeren Zeitraum hinweg vonstatten gehen. Die Wirksamkeit ist lokal begrenzt. Voraussetzung ist vorwiegend indifferente bis stabile Luftschichtung (z.B. Bodeninversionen und abgehobene Inversionen).

¹² **PET**: Die physiologisch äquivalente Temperatur vergleicht die aktuellen Bedingungen im Freien mit derjenigen Lufttemperatur, bei der in einem typischen Innenraum die Wärmebilanz eines Menschen bei gleichen Werten der Haut- und Kerntemperatur ausgeglichen ist wie bei den Bedingungen im Freien. Bei PET 20°C herrscht optimale Behaglichkeit. D.h. bei der Berechnung der PET wird das angetroffene Umgebungsklima in ein adäquates Raumklima transferiert.

Die Windverteilung an der Wetterwarte Kassel (**Abbildungen 13**) zeigt, dass die in der freien Atmosphäre vorherrschenden westlichen Winde in Bodennähe durch die Topographie aus ihrer Richtung abgelenkt werden.

Im Kasseler Becken überwiegen südliche bis südwestliche und nördliche Windrichtungen (Hauptwindrichtungen).

Mittlere Windgeschwindigkeiten von unter 3.0 m/s – wie sie typischerweise bei allen größeren Städten in Becken- und Tallagen auftreten - weisen auf die allgemein recht ungünstigen Ventilationsverhältnisse im Stadtgebiet von Kassel hin. Zusätzlichen Ventilationseffekten entlang von unbebauten Freizonen, die als Luftleit- und Ventilationsbahnen fungieren (Fuldaaue, Langes Feld), kommt daher besondere Bedeutung zu.

Bei austauscharmen Wetterlagen¹³ wird das Ventilationsgeschehen zudem durch lokal- und regional angelegte Luftströmungen bestimmt. Markanteste Erscheinung ist dabei der tagesperiodische Wechsel der Windrichtung, der vor allem an Tagen mit erhöhtem Strahlungseinfluss (ca. 20% der Tage im Jahr) zu beobachten ist und auch im Planungsumfeld südlich von Niederzwehren das bodennahe Ventilationsgeschehen mitbestimmt.

Ausgeprägte Lufttemperaturunterschiede zwischen Freiland (z.B. Fuldaaue, Langes Feld) und Bebauung (z.B. Niederzwehren, Südstadt) begünstigen im Verlauf windschwacher Strahlungswetterlagen die Entstehung lokaler Luftströmungen, die sich als messbare Windbewegungen über kühleren Freiräumen zu den Zentren der Überwärmung gerichtet entwickeln.

Die Intensität dieser Strömungen ist einerseits vom Temperaturunterschied Freiland – Bebauung (Druckausgleich zwischen höherem Luftdruck des kühleren Freilandes und niedrigerem Luftdruck der wärmeren Bebauung) und andererseits vom Relief (Gefälle) sowie der Oberflächenbeschaffenheit (Bodenrauigkeit) des Entstehungs- und Zuströmungsgebietes abhängig.

Wirken derartige kaltluftinduzierte Lokalströmungen mit mesoskaligen Regionalströmungen größerer Reichweite oder wetterlagenbedingten Grundströmungen zusammen, so kommt es zu einer Intensivierung des Luftaustausches im Bereich der Bebauung.

¹³ Eine austauscharme Wetterlage liegt vor, wenn:
- mind. 12 Std. am Tag mittlere Windgeschwindigkeiten unter 1.5 m/s registriert werden,
- eine Inversion vorliegt (DWD 1982).

Zur Beurteilung des Strömungsgeschehens im Umfeld des Planungsraumes 'Langes Feld' liegen Daten über die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung für den Zeitraum 12.1978 – 11.1979 während austauscharmer Wetterlagen (**Abbildungen 16 - 18**) vor.

Ergebnisse von Profilmessungen des Büros TARAXACUM (1999 – **Abbildung 19**) und mesoskaligen Kaltluftsimulationen (AMBIMET 1992 – **Abbildungen 20 und 21**) geben zusätzlich Aufschluss über die ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsraum und in dessen Umfeld.

Aus der Windverteilung der einzelnen Stationen im Stadtgebiet von Kassel wird der Einfluss des Reliefs auf das Strömungsgeschehen deutlich.

Am Tag und in der Nacht herrschen an der Höhenstation *Herkules* Winde aus westlichen und östlichen bis südöstlichen Richtungen vor, wobei mittlere Windgeschwindigkeiten bis 2.2 m/s aufgezeichnet werden.

An der *DWD Wetterstation*, ca. 290 m tiefer gelegen, ist eine reliefbedingte Drehung zu vermehrt südlichen bis südwestlichen und nördlichen Richtungssektoren zu erkennen. Vergleichbare Verhältnisse zeigen auch die Stationen *Warteküppel* (= Planungsraum) und *Bergshausen*. Auch hier überwiegen am Tag südliche bis südwestliche Winde mit Strömungsgeschwindigkeiten bis 2.0 m/s. Der Freiraum 'Langes Feld' fungiert dabei aufgrund seiner geringen Oberflächenrauigkeit als eine auf die Innenstadt zugerichtete Ventilationsbahn.

An der Station *Karlsaue* im Bereich der Südstadt herrschen am Tag ebenfalls südliche bis südwestliche und nordöstliche bis östliche Luftströmungen vor, mit denen Frischluft aus der Fuldaaue in die angrenzende Bebauung verfrachtet wird. Strömungsparallele Straßenzüge und Freiräume bilden dabei die bevorzugten Zugbahnen.

Im Hangeinschnitt *Dönche* bewirkt die Leitlinienwirkung des Reliefs eine vermehrte Windausrichtung zu nordwestlichen Sektoren.

Nach Sonnenuntergang ist im Planungsraum und entlang der Fulda gegenüber der *DWD Wetterstation* eine deutlich abweichende Windrichtungsverteilung zu erkennen. An den Stationen *Warteküppel* und *Bergshausen* treten Winde aus nördlichen Richtungssektoren zugunsten südlicher Windrichtungen zurück. Dies deutet darauf hin, dass sich bei austauscharmen Wetterlagen entlang der Fulda ein stadteinwärts gerichtetes Regional-/Lokalwindssystem entwickelt. Ein wichtiger Faktor ist dabei die rasche Bildung von bodennaher Kaltluft entlang der Fuldaaue und der angrenzenden Randhöhen während der ersten Nachthälfte.

Die Kaltluft neigt allerdings durch die Kammerung des Geländes (u.a. Damm der A 49, Eisenbahntrasse südlich der Giesewiesen) in dem flachen Gelände und an Hindernissen vermehrt zu Stagnation¹⁴, wenn sie nicht durch übergeordnete regionale oder überregionale Winde zusätzliche Bewegungsimpulse (vgl. **Abbildung 19**) erfährt.

Der Planungsraum fungiert mit seinen Freiflächen zum einen aktiv als siedlungsnahes Kaltluftentstehungsgebiet und zum anderen passiv als Kaltluftleitbahn. Die Bebauung entlang der Denkhäuser Straße (Kraftwerk und Gewerbebauten) sowie die Autobahntrasse A 49 bilden jedoch bereits nachhaltige Strömungshindernisse.

Lokale Kaltluftbewegungen stellen sich auch in der westlich angrenzenden Hangzone entlang des Parks Schönfeld ein. Der Hangeinschnitt fungiert als Kaltluftsammel- und Kaltluftentstehungsgebiet, über welchen sich gerichtete Hangabwinde entwickeln, die über die Grünanlage östlich der Frankfurter Straße bis in die Karlsaue Wirkung zeigen.

Die Ergebnisse mesoskaliger Modellrechnungen (**Abbildungen 20** und **21**) dokumentieren die Funktion des Planungsraumes 'Langes Feld' als Ventilationsbahn, über welcher regional angelegte Ausgleichsströmungen zwischen südlichem bis südwestlichem Freiraumgefüge und der städtischen Bebauung im Fuldaatal bodennah durchgreifen können. Dies führt im direkten Planungsumfeld zu einer Intensivierung der Belüftung bzw. Durchlüftung.

Abbildung 22 zeigt, dass die lokalen bodennahen Kaltluftbewegungen über den Planungsraum (Schnitt A – B) hinweg für die Versorgung der Kasseler Innenstadt mit Kaltluft jedoch von eher geringer Bedeutung sind.

Den größten Einzelbetrag (Kaltluftvolumenstrom) liefert nach Berechnungen von *AMBIMET* das Fahrenbachtal südlich von Lohfelden. Auch Habichtswald und Söhre-Wald tragen wesentlich zur Kaltluftversorgung der Innenstadt bei.

¹⁴ Während austauscharmer Wetterlagen beträgt der Anteil an Calmen an der Station *Karlsaue* 6.2% der Stunden. An der Station *Bergshausen*, ebenfalls an der Fulda gelegen, beträgt die Häufigkeit von Calmen nur 0.7% (DWD 1982).

5.2.2 Ergebnisse vertiefender Untersuchungen zum ortsspezifischen Strömungsgeschehen

Zur vertiefenden Untersuchung der strömungsdynamischen Prozesse im Planungsraum wurden während zwei windschwachen Strahlungsnächten (13.-14.09.2007 und 23.-24.09.2007 – **Abbildung 23**) ortsspezifische Windmessungen durchgeführt. Während sich die Messungen am 13.09.2007 auf die Ausbreitung von Rauchschwaden beschränkten, wurde am 23.-24.09.2007 eine messtechnisch umfangreiche Messkampagne durchgeführt. Neben Fesselballonaufstiegen mit begleitenden Rauchschwadenexperimenten wurden auch Tracergasanalysen durchgeführt (**Abbildung 24**). Die Ergebnisse dokumentieren beispielhaft die in diesem Bereich sich entwickelnden Kaltluftbewegungen und deren Reichweite.

Begleitend zu den mobilen Messungen wurden an zwei stationären Standorten (Dennhäuser Straße und Am Sportzentrum – **Abbildungen 25** und **26**) die Lufttemperatur (3 m ü.G.), Windrichtung und Windgeschwindigkeit (5 m ü.G.) aufgezeichnet.

5.2.2.1 Rauchschwadenexperimente am 13.09.2007

Am 13.09.2007 wurden im Bereich ,Langes Feld' an mehreren ausgewählten Standorten Rauchschwadenexperimente durchgeführt, um bodennächste Kaltluftabflüsse in den Hangzonen zu erfassen.

Mit der Zündung von Rauchtabletten ist es möglich, nicht nur das Abdriften von Luftmassen, sondern auch Staueffekte zu beobachten. Die gleichzeitige Erfassung der bodennahen Windgeschwindigkeit erfolgte mit einem Hitzdrahtanemometer (PCE-009).

Wie die Ergebnisse stationärer Messungen zeigen (**Abbildung 27**), stellen sich tagsüber bei recht niedrigen Septembertemperaturen (max. Temperatur: 16.1°C) nur recht geringe räumliche Temperaturdifferenzen ein. Die tagsüber vorherrschende leichte Bewölkung löst sich am Abend auf, so dass es in der ersten Nachthälfte wolkenlos ist.

Der Wind ist am Tag nur schwach (1.0 – 2.0 m/s) und kommt aus vorwiegend nördlichen Richtungen.

Am Abend flaut der Wind weiter ab. Am Stationsstandort *Dennhäuser Straße* herrschen in den Nachtstunden nordöstliche Luftströmungen vor.

Bodennahe Kaltluftabflüsse aus dem Bereich des ,Langen Feldes' werden in der Messhöhe von 5 m ü.G. nicht registriert.

Am Sportzentrum werden ebenfalls vorwiegend extreme Schwachwinde aus nördlichen Richtungssektoren gemessen. Zeitweise zeigen sich allerdings auch Einflüsse westlicher Luftströmungen, die auf Kaltluftzufuhr über den Park Schönfeld hindeuten. Ein deutlicher Einfluss von Kaltluftbewegungen entlang der Fulda (Südwind) kann nicht beobachtet werden.

In der zweiten Nachthälfte zieht Bewölkung auf und der Wind dreht großräumig zu vermehrt südlichen bis südwestlichen Richtungen.

Zu Beginn der Rauchschwadenexperimente um 19:30 Uhr werden im Hangeinschnitt im Gewann „Beim alten Teich“ keine bodennahen Kaltluftabflüsse beobachtet. Der großräumig angelegte Wind aus nördlichen Richtungen greift bodennah durch. Im Kuppenbereich des ,Langen Feldes' erreicht diese Strömung gegen 20:00 Uhr Geschwindigkeiten bis ca. 2.2 m/s.

Im Eselsgraben ist gegen 20:30 Uhr eine seichte Kaltluftströmung in Richtung Autobahnunterführung zu registrieren. Sie erreicht mittlere Windgeschwindigkeiten bis 0.6 m/s und gelangt durch die Unterführung nach Niederzwehren. Durch die windgeschützte Lage kann der Höhenwind nicht derart bodennah durchgreifen wie südwestlich des Kraftwerks.

Auch an der Ecke Dittershäuser Straße und Eselsgraben ist gegen 20:45 Uhr der pulsierende Einfluss lokaler Kaltluftbewegungen zu beobachten. Die nördliche Höhenströmung greift zwar zeitweise bodennah durch, die Rauchfahne schwenkt jedoch immer wieder in Richtung Grünflächen entlang des Eselsgrabens.

Im Nahbereich der Denhäuser Straße können nach 21:00 Uhr keine lokalen Kaltluftabflüsse über das ,Lange Feld' gemessen werden. Hier bestimmt der Einfluss des gegenläufigen nördlichen Höhenwindes die örtlichen Belüftungsverhältnisse.

Die Messungen zeigen, dass sich bei gegenläufigem Höhenwind im Bereich der nordöstlichen Hangzone des ,Langen Feldes' keine kräftigen Hangabwinde in Richtung Fuldaue entwickeln können.

Der Höhenwind greift immer wieder bodennah durch und durchsetzt die örtlich gebildete Kaltluft mit wärmerer Luft aus höheren Luftschichten. Die Bildung laminarer Kaltluftbewegungen wird so unterbunden. Nur entlang des tiefer eingeschnittenen Eselsgrabens kann sich bei derartigen Wetterlagen ein wirksamer gerichteter Kaltluftstrom entwickeln. Die hieraus resultierenden klimaökologischen Positiveffekte für die Bebauung von Niederzwehren sind durch die querende Autobahntrasse der A 49 jedoch gering.

Es kann somit festgehalten werden, dass sich bei gegenläufigem Höhenwind im Bereich der nordöstlichen Hangzone des 'Langen Feldes' keine kräftigen Hangabwinde in Richtung Fuldaaue entwickeln können.

5.2.2.2 Fesselballonaufstiege am 23.-24.09.2007

Aus der Verteilung des Luftdrucks resultiert die Druckgradientströmung, der geostrophische Wind. Diese ungestörte Strömung ist erst in Höhen von 1000 bis 1500 m über Grund festzustellen. Die zwischen dieser Höhe und der Bodenoberfläche liegende Schicht wird planetarische Grenzschicht genannt, deren vertikale Erstreckung im Wesentlichen von der Bodenrauigkeit, der thermischen Schichtung und der Windgeschwindigkeit abhängt.

Stabile Luftschichtung, geringe Windgeschwindigkeit und geringe Durchmischung können den Einfluss der Flächennutzung auf wenige Dekameter der unteren Atmosphäre beschränken. Innerhalb dieser wenig mächtigen Grenzschicht, die keinen oder nur einen begrenzten Luftaustausch des bodennächsten Luft-raumes mit der höheren Atmosphäre zulässt, können lokale oder regionale Ausgleichsströmungen entstehen. Voraussetzung ist hierfür der Aufbau stabiler Luftschichtung.

Im Mittel nimmt die Lufttemperatur in der Atmosphäre mit der Höhe um ca. $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (geometrische Zustandskurve) bzw. um 1.0°C (adiabatische Zustandskurve) ab. Dieser Zustand lässt Austauschvorgänge und somit eine Durchmischung von Luftverunreinigungen zu. In besonderen Fällen kann jedoch die Lufttemperatur mit der Höhe gleich bleiben (Isothermie) oder zunehmen (Inversion), es stellt sich stabile Schichtung ein. Entsprechend dem Grad der Abweichung von der mittleren Temperaturschichtung (geometrische Zustandskurve) werden Austauschvorgänge abgeschwächt oder unterbunden.

Emissionen breiten sich dann bei Bodeninversionen (Inversion beginnt ab der Bodenoberfläche) in einer laminaren Strömung unterhalb der Inversionsobergrenze, bei abgehobenen Inversionen (Inversion beginnt erst in einer bestimmten Höhe über der Bodenoberfläche) unterhalb der Inversionsuntergrenze mit der dort vorherrschenden Luftströmung aus.

Der am häufigsten vorkommende Typ der dem Boden aufliegenden Strahlungs-inversion (Bodeninversion) entsteht bei schwachgradientigen (schwachwindig) Strahlungswetterlagen, sobald sich die bodennahe Luft nach Sonnenuntergang, aufgrund der Ausstrahlung der Erdoberfläche abkühlt. Über geneigtem Gelände fließt dabei die relativ schwere bodennahe Kaltluft dem Gefälle folgend ab, wobei lokal begrenzte Strömungen entstehen, wie z.B. Hangab- und Talabwinde.

Zur Erfassung der vertikalen Mächtigkeit regionaler und lokaler Luftströmungen sowie zur Ermittlung der Intensität und Mächtigkeit nächtlicher Bodeninversionen wurden am 23.-24.09.2007 Fesselballonaufstiege (**Abbildung 29**) durchgeführt. Hierbei wurden Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung (Messsonde und Empfangsgerät der Fa. Dr. Graw) ermittelt. Die Fesselballonaufstiege wurden aus Gründen der Flugsicherung auf max. 120 m ü.G. begrenzt.

Während einer vorherrschenden Hochdruckwetterlage mit südlichem Höhenwind ist es in den Abend- und Nachstunden windschwach und wolkenlos, so dass für die bodennahe Kaltluftbildung günstige Voraussetzungen bestehen.

Wie die Tagesgänge von Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit an unterschiedlichen Messstandorten im Kassler Stadtgebiet zeigen (**Abbildung 30**), steigt die Lufttemperatur am Tag bis auf ca. 24.2°C an, wobei sich zwischen den einzelnen Stationsstandorten jedoch nur geringe thermische Differenzierungen (ΔT ca. 1.5°C) einstellen.

Die Messdaten zum Windfeld zeigen, dass am Tag an allen Standorten südsüdwestliche bis südsüdöstliche Luftströmungen vorherrschen, die in freien Lagen Geschwindigkeiten bis ca. 2.5 m/s erreichen.

Gegen 17:00 Uhr flaut der Wind ab und im Fuldataal nordöstlich des Planungsraums ,Langes Feld' kommt es vermehrt zu Stagnationserscheinungen (Windstille). Nur zeitweise können im Bereich der Dennhäuser Straße schwache südliche Luftströmungen aufgezeichnet werden, die auf lokale Kaltluftbewegungen entlang der Fuldaaue zurückzuführen sind.

Am Sportzentrum nördlich der Autobahn A 49 ergeben sich zusätzliche Ventilationsseffekte über Kaltluftabflüsse entlang des Park Schönfeld (= westliche Winde), die zu intensiver nächtlicher Abkühlung beitragen.

Den Einfluss der Kaltluftabflüsse über den Park Schönfeld am Messstandort Am Sportzentrum belegt auch **Abbildung 31**, die vor allem in der zweiten Nachthälfte eine zunehmende Häufigkeit nordwestlicher Windrichtungen anzeigt.

Abbildung 32 - Standort *Hang-NE* [1]:

Der Fesselballonaufstieg am Standort *Hang-NE* beschreibt das Strömungsgeschehen im mittleren Teilbereich des Hangeinschnittes „Beim alten Teich“ südwestlich des Kraftwerks.

Gegen 21:45 Uhr wird im Bereich der vorwiegend ackerbaulich genutzten Hangzone bis in ca. 5 m ü.G. ein hangabwärts gerichteter autochthoner Kaltluftabfluss beobachtet, der mittlere Windgeschwindigkeiten um 0.6 m/s erreicht. Oberhalb von 5 m ü.G. dreht der Wind vermehrt zu südlichen Richtungen, wobei die mittlere Windgeschwindigkeit zunimmt (10 m ü.G. = 1.3 m/s, 20 m ü.G. = 2.0 m/s). Hier zeigt sich bereits der Einfluss des vorherrschenden Höhenwindes.

Zwischen 20 m ü.G. und 120 m ü.G. ist dreht der Wind zunehmend auf südwestliche Richtungen. An der Messoberggrenze beträgt die mittlere Windgeschwindigkeit 4.3 m/s.

Der hangspezifische Kaltluftabfluss bzw. die bodennahe Kaltluftbildung macht sich auch deutlich im vertikalen Temperaturanstieg bemerkbar. Infolge ungehinderter Ausstrahlung (Bedeckungsgrad 0/8) kühlen die bodennächsten Luftpolster intensiv ab, so dass sich schon kurz nach Sonnenuntergang eine Bodeninversion ausbilden kann. Zwischen 5 m ü.G. und 10 m ü.G. steigt die Lufttemperatur von 13.0°C auf 14.2°C an. Zwischen 10 m ü.G. und 50 m ü.G. bleibt die weitere Temperaturzunahme auf ca. 1.0°C begrenzt. Durch den Einfluss des Höhenwindes wird die bodennahe Kaltluft vermehrt mit wärmeren Luftmassen höherer Luftschichten durchmischt.

Oberhalb von 50 m ü.G. stellt sich nahezu Isothermie ein.

Gegen 23:30 Uhr herrschen nahezu vergleichbare Verhältnisse vor. Der lokale Kaltluftabfluss entlang des Hangeinschnittes bleibt auf ca. 5 m Mächtigkeit beschränkt. Der thermische Abkühlungseffekte der lokalen Kaltluft reicht jedoch deutlich bis in ca. 30 m Höhe ü.G. Dies bedeutet, dass neben den lokalen bodennächsten Hangabwinden auch überlagernde regionale und überregionale Luftströmungen die örtlich sich bildende Kaltluft in Richtung Fuldaue verfrachten.

Abbildung 33 - Standort *Hang-E* [2]:

Beim Fesselballonaufstieg am Standort *Hang-E* oberhalb des Wohngebietes Am Sandgraben ist gegen 22:15 Uhr zwischen lokaler Kaltluftbewegung und übergeordnetem Höhenwind anhand der Windfeldaufzeichnungen keine Differenzierung zu erkennen. Der südliche bis südwestliche Höhenwind greift immer wieder bodennah durch, so dass sich kein steter laminarer Kaltluftabfluss in Richtung Fuldaue einstellen kann.

Der vertikale Verlauf der Lufttemperaturkurve dokumentiert jedoch die Kaltluftbildung des Freiraums. Zwischen 5 und 17 m ü.G. ist ein deutlicher Temperaturprung von 13.0°C auf ca. 14.3°C zu erkennen, der die lokale Kaltluftmächtigkeit dokumentiert.

Oberhalb von 17 m ü.G. ergeben sich nur noch verhältnismäßig geringe Lufttemperaturschwankungen (→ nahezu Isothermie).

Abbildung 34 - Standort *Dennhäuser Straße* [3]:

An der *Dennhäuser Straße* bestimmen gegen 22:50 Uhr bis ca. 20 m ü.G. schwache Kaltluftbewegungen entlang der Fuldaaue das bodennahe Luftaustauschgeschehen. In dieser Luftschicht herrschen südöstliche bis südliche Windrichtungen vor. Die mittlere Windgeschwindigkeit schwankt zwischen 0.5 und 1.1 m/s. Darüber bestimmt der südliche bis südwestliche Höhenwind das örtliche Strömungsgeschehen.

Ein bodennaher Kaltluftzustrom aus dem Bereich 'Langes Feld' (südwestliche Windrichtung) wird nicht registriert.

Anhand des vertikalen Temperaturprofils wird deutlich, dass der thermische Einfluss der Kaltluft im Bereich des Fuldatales bis in ca. 40 m Höhe ü.G. reicht. In dieser Luftschicht stellt sich eine ausgeprägte Bodeninversion ein, wobei die Lufttemperatur zwischen 5 m ü.G. und 40 m ü.G. um ca. 1.6°C zunimmt. Oberhalb von 40 m ü.G. ergeben sich bis zur Mesobergrenze (120 m ü.G.) keine auffallenden Temperaturschwankungen mehr.

Abbildung 35 - Standort *Fuldaaue* [4]:

Der Fesselballonaufstieg am Standort *Fuldaaue* beschreibt das Strömungsgeschehen im Fuldatale südlich der Autobahn A 49.

Bei den Messungen gegen 00:20 Uhr bestimmen bis in ca. 30 m ü.G. extrem schwache südliche Kaltluftbewegungen (0.3 – 1.0 m/s) entlang des Fuldatales das örtliche Strömungsgeschehen. Die Windruhe führt über den angrenzenden Wiesen und Ackerflächen zu bodennaher Nebelbildung.

Oberhalb von 30 m ü.G. nimmt die Windgeschwindigkeit parallel zu einem leichten Windrichtungswechsel zu vermehrt südwestlichen Sektoren sprunghaft zu. Dies kennzeichnet den Einfluss der großräumiger angelegten Höhenströmung.

Betrachtet man den vertikalen Temperaturverlauf, so ist bis 40 m ü.G. ein relativ gleichmäßiger Temperaturanstieg von 9.5°C (5 m ü.G.) auf 12.2°C (40 m ü.G.) zu erkennen. Oberhalb von 40 m ü.G. ist kein weiterer auffallender Temperaturanstieg zu verzeichnen. Dies lässt darauf schließen, dass die Kaltluftschicht entlang der Fulda eine vertikale Mächtigkeit von ca. 40 m besitzt.

Abbildung 36 - Standort *Eselsgraben* [5]

Im *Eselsgraben* südlich der Autobahnanschlussstelle Kassel-Niederzwehren hat sich gegen 01:15 Uhr eine ausgeprägte Bodeninversion gebildet, die zwischen 5 m ü.G. und 30 m ü.G. einen positiven Temperaturgradienten von 3.1°C aufweist. Die vertikale Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung verdeutlicht, dass sich entlang des *Eselsgrabens* aus der über die Hangzonen zuströmenden Kaltluft ein ca. 15 m mächtiger gerichteter Kaltluftstrom entwickelt.

Abbildung 37 - Standort *Sportplatz* [6]:

Am Standort *Sportplatz* nördlich der Autobahnunterführung A 49 zeigt sich die Hinderniswirkung der Autobahntrasse. Nur auf Höhe des Tunnelmundes ist die Zufuhr bodennaher Kaltluft aus dem Bereich *Eselsgraben* zu registrieren, die bis in 5 m ü.G. eine leichte düsenartige Beschleunigung erfährt.

Zwischen 5 m ü.G. und 20 m ü.G. herrscht bei südwestlicher Anströmung nahezu Windstille vor. Darüber dominiert der Einfluss der großräumiger angelegten südwestlichen Höhenströmung.

Die Vertikalsondierungen belegen, dass es über den Wiesen und Ackerflächen zu Kaltluftbildung kommt. Im Kuppenbereich bleibt die vertikale Mächtigkeit durch den Kaltluftabfluss und die intensivere Ventilation allerdings auf wenige Meter (unter 5 m) begrenzt.

In der NE-exponierten Hangzone zeigen sich im Hangeinschnitt des Gewanns „Beim alten Teich“ messbare gerichtete Kaltluftströmungen. Die Kaltluftdynamik kann anhand der Messungen bis in ca. 5 m ü.G. gemessen werden. Der thermische Abkühlungseffekt der bodennahen Kaltluft bis ca. 30 m ü.G.

Im *Eselsgraben* (im nordwestlichen Teilbereich des Planungsraums) bildet sich aus der örtlich entstehenden Kaltluft und der zuströmenden Hangkaltluft ebenfalls ein prägnanter gerichteter Kaltluftstrom (vertikale Mächtigkeit ca. 15 m), dessen klimaökologische Ausgleichswirkung auf die Bebauung von Niederzwehren durch die querende Trasse der A 49 jedoch stark minimiert wird.

Entlang der Fulda entwickelt sich eine auf die Bebauung von Kassel zugerichtete Lokalströmung, die am 23.-24.09.2007 vertikale Mächtigkeiten von ca. 40 m erreicht. Aufgrund des geringen Gefälles neigt die Kaltluft im Bereich dicht gehölzüberstellter Flächen und am Autobahndamm der A 49 vermehrt zu Stagnation. Im bodennächsten Luftraum (unter 10 m ü.G.) bildet sich im Laufe der Nacht zwischen Neue Mühle und A 49 ein „Kaltluftsee“ aus. Nur bei gleichzeitig bodennah durchgreifenden regional bzw. überregional angelegten Höhenwinden, die zusätzliche Bewegungsimpulse auf die lokale bodennahe Kaltluft ausüben, kann die Kaltluft der Fuldaaue wirksam in die Bebauung verfrachtet werden.

Die Bewegungsimpulse über den Kaltluftabfluss aus dem Freiraum ,Langes Feld' sind zu gering.

5.2.2.3 Tracergas-Analysen am 23.-24.09.2007

Zum Nachweis des Einflusses bodennaher Kaltluftabflüsse über die Hangzone des ,Langen Feldes' auf die Ventilationsverhältnisse im Bereich der Fuldaaue wurden neben Fesselballonsondierungen zusätzlich Tracergas-Analysen durchgeführt.

Bei Inversionswetterlagen mit stabiler Schichtung der Atmosphäre (Temperaturzunahme mit der Höhe) kommt lokalen Kaltluftabflüssen bzw. Kaltluftbewegungen hohe klimaökologische Bedeutung zu, da die zugeführte Kaltluft/Frischluft innerhalb der Bebauung für einen rascheren Abbau bioklimatischer und lufthygienischer Belastungen sorgen kann.

Bei Tracergas-Analysen wird eine definierte Menge eines Spurengases (=Tracergas) freigesetzt und die resultierenden Immissionskonzentrationen an verschiedenen Standorten im Untersuchungsgebiet (**Abbildung 38**) gemessen.

Als Tracergas wird Schwefelhexafluorid (SF_6) verwendet. Aufgrund seiner chemischen Eigenschaften reagiert SF_6 kaum mit anderen Stoffen und unterliegt durch seine geringe Wasserlöslichkeit auch nicht der nassen Deposition. Zur Kompensation der größeren Dichte von SF_6 wird es mit Luft so stark verdünnt, dass das emittierte Gasgemisch keinen bzw. nur noch einen geringen Dichteunterschied zur Umgebungsluft aufweist.

Die Probenahme erfolgt über automatisch gesteuerte Pumpen (**Abbildung 24**), die zeitabhängig Luftproben in gasdichte Beutel pumpen. Nach Abschluss der Messungen wird die Luftprobe gaschromatographisch auf ihre SF_6 -Konzentration hin analysiert.

Die Messungen liefern als Ergebnis die Verteilung der SF_6 -Konzentrationen bei einer vorgegebenen konstanten Emissionsrate und ermöglichen so die räumliche Abgrenzung von kaltluftbeeinflussten Gebieten.

Beim Tracergas-Experiment am 23.-24.09.2007 herrscht während der Durchführung (23:45 Uhr bis 02:15 Uhr) am Gasauslasspunkt (2.5 m ü.G.) ein seichter Hangabwind in nordöstliche Richtung vor.

Im Zuge des Tracergas-Experiments werden am Auslasspunkt zwischen 23:45 Uhr und 02:15 Uhr 2.5 l/min SF₆-Gas emittiert. Die Probenahme erfolgt ab 00:15 Uhr in Halbstundenintervallen.

Um den räumlichen Wirkungsbereich der bodennahen Kaltluft zu bestimmen, werden die Tracergaskonzentration während des Ausbreitungsexperimentes zwischen ,Langem Feld' und Fuldaaue entlang eines SW-NE-Profiles bestimmt.

In **Abbildung 39** ist das Ergebnis dieses Versuches in Form von Säulendiagrammen dargestellt. Die Säulen repräsentieren die SF₆-Konzentration in Prozent relativ zum Konzentrationsmaximum (3.7 E-07 Vol.).

Die Untersuchung dokumentiert, dass die über den Hangeinschnitt entlang der L 1192 abfließende bodennahe Kaltluft bei der vorherrschenden Südströmung bis in die Fuldaaue nordöstlich der Dennhäuser Straße nachweisbar ist. Nördlich der Autobahntrasse A 49 wurden im Messzeitraum allerdings keine nachweisbaren SF₆-Konzentrationen gemessen.

Die höchsten Konzentrationswerte werden im Laufe der Messungen am **Standort 1**, ca. 400 m unterhalb des Auslasspunktes registriert. Je nach vorherrschender Windgeschwindigkeit und Windrichtung schwanken dort die SF₆-Werte während der Zeitspanne des Gasauslasses zwischen 4.4 E-08 [Vol.] und 3.7 E-08 [Vol.].

Bereits deutlich geringer sind die SF₆-Konzentrationen am **Standort 2** unmittelbar oberhalb des Kraftwerks. Dies deutet darauf hin, dass sich die zuströmende Kaltluft in diesem Teilbereich bereits flächenhaft weiter ausbreitet. Die SF₆-Konzentrationen sind gegenüber dem Standort 1 im Mittel um ca. 80% geringer.

Am **Standort 3** (Dennhäuser Straße) ist ca. 1 Stunde nach Auslassbeginn der bodennahe Einfluss von Hangkaltluft aus dem Bereich ,Langes Feld' nachweisbar. Die markante Konzentrationsminderung gegenüber den Standorten 1 und 2 deutet darauf hin, dass ein Großteil der Hangkaltluft bereits südlich der Dennhäuser Straße in die Kaltluft der Fuldaaue einbezogen und nach Norden verfrachtet wird. Dies wird auch durch den Konzentrationsnachweis unmittelbar nordwestlich der Autobahnunterführung (**Standort 6**) bestätigt. Der Konzentrationsmittelwert erreicht hier jedoch nur noch 5% des Wertes vom Standort 2. Die Autobahn bildet demnach ein markantes Strömungshindernis für die bodennahe Kaltluft.

Am **Messstandort 4** werden vergleichbar geringe Konzentrationswerte registriert wie am Standort 6. Dies weist darauf hin, dass sich die Hangkaltluft im Fuldataal diffus verteilt. Eine anhaltende Anreicherung von SF₆, die auf örtliche Stagnation hindeutet, wird nicht registriert.

Nördlich der Autobahntrasse A 49 (**Standort 5**) kann während des Messzeitraums kein SF₆ nachgewiesen werden. Dies deutet darauf hin, dass bei der vorherrschenden Wetterlage die bodennah abfließende Kaltluft aus dem Bereich ,Langes Feld' keinen nachhaltigen strömungsdynamischen Einfluss auf die klimatische Situation nördlich der A 49 hat.

5.3 Thermische Situation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen

5.3.1 Ergebnisse vorliegender Untersuchungen

Für den Planungsraum ,Langes Feld' liegen bereits Untersuchungen zu den thermischen Umgebungsbedingungen vor. Neben Ergebnissen mesoskaliger Modellrechnungen zur flächenhaften Lufttemperaturverteilung (Berechnung durch AMBIMET) kann auf IR-Thermalbildaufnahmen von 1990 (erfasst durch das Büro SPACETEC) zurückgegriffen werden.

5.3.1.1 IR-Thermalbildaufnahmen

Das Verhalten der Lufttemperatur in Abhängigkeit von Relief, Flächennutzung und Strömungsgeschehen ist ein Indiz für die Funktion des horizontalen und vertikalen Luftaustausches.

An hochdruckbeeinflussten Strahlungstagen (im langjährigen Mittel ca. 20% der Tage im Jahr) ergeben sich im Untersuchungsraum lokalklimatische Differenzierungen. Bereits vor Sonnenuntergang setzt die Abkühlung ein und ist allgemein in der ersten Nachthälfte am stärksten. Die thermische Situation wird dabei vermehrt durch die Lage (z.B. Tallage, Hanglage), die Flächennutzung und durch die innerhalb der Bebauung graduell unterschiedlich wirksamen lokal angelegten Kaltluftbewegungen der Täler und Hänge beeinflusst.

Wie aus den Daten der Thermalbildaufnahmen von 1990 (ZWECKVERBAND RAUM KASSEL 1990) zu entnehmen ist, kühlen die Oberflächen während der Nachtstunden aufgrund fortdauernder Ausstrahlung und fehlender Einstrahlung zunehmend ab und demzufolge auch die darüber liegenden Luftschichten.

Intensive Abkühlung erfolgt im Bereich von Ackerflächen und Wiesen, während innerhalb der Bebauung die hohe Wärmekapazität überbauter Flächen und die Horizontabschirmung die Abkühlung auffallend reduziert bzw. zeitlich stark verzögert.

Hierbei ist anzumerken, dass die stärkste Abkühlung meist zu allen Jahreszeiten in den gleichen Lagen auftritt.

Zur Verdeutlichung der klimaökologischen Funktionsabläufe werden nachfolgend Ausschnitte aus der Thermalkartierung Kassel von 1990 dargestellt (**Abbildungen 40 – 42**, Tag-, Abend- und Morgenbefliegung). Sie vermitteln einen Eindruck vom thermischen Verhalten der unterschiedlichen Flächennutzungsstrukturen im Planungsumfeld.

Bei der IR-Thermalbefliegung wird flächenhaft die Oberflächenstrahlungstemperatur aufgenommen. Dabei wird die Temperatur nicht direkt, sondern über die von ihr ausgehende langwellige Strahlung gemessen. Die Temperatur der einzelnen Farbflächen der Thermalbilder ist damit nicht mit der Lufttemperatur gleichzusetzen.

Die Interpretation der IR-Thermalbilder erlaubt es, bestimmten Raumeinheiten (z.B. Gewerbegebieten, Wohngebieten, Vegetationsflächen) ein thermisches Verhalten zuzuordnen, um Aussagen über deren Klimafunktion zu treffen. Ein Vorteil dieser Fernerkundungsmethode ist die flächenhafte Darstellung des thermischen Gesamtgefüges eines Raumes.

Zur Erklärung des thermischen Verhaltens der Oberflächenelemente (z.B. unbewachsener Boden, befestigte Flächen) sind folgende Faktoren von Bedeutung:

- Höhe, Dichte und Zusammensetzung der Pflanzendecke oder Gebäude,
- Strahlungshaushalt (je nach Tages- und Jahreszeit) und Lufttemperatur,
- Windverhältnisse,
- Wärmehaushalt des Bodens,
- Wasserhaushalt des Bodens.

Im Allgemeinen sind Temperaturanomalien (vom Mittel abweichendes Temperaturverhalten) an bestimmte Flächennutzungsstrukturen gebunden, die mit ihrem spezifischen thermischen Verhalten den Wärmegehalt der unteren Luftmassen ändern. Eine entscheidende Bedeutung kommt auch der Größe einer Fläche mit einem ihr eigenen Oberflächentemperaturverhalten zu. Ausgedehnte Areale mit hohen Oberflächentemperaturen besitzen einen entsprechend stärkeren Einfluss auf das Lokalklima als punkthafte „Wärmequellen“.

Bei der Tagesaufnahme (**Abbildung 40**) zeigen sich im Planungsraum ,Langes Feld' recht unterschiedliche Oberflächenstrahlungstemperaturen. Über Wiesen und bewachsenen Ackerflächen (u.a. Zuckerrüben) ist die Aufheizung am Tag relativ gering. Die Oberflächenstrahlungstemperaturen schwanken zwischen ca. 16.3 und 25.0°C. Wärmer stellen sich gehölzüberstellte Flächen und abgeerntete Felder dar (bis über 29.0°C).

Insgesamt hebt sich der Planungsraum thermisch deutlich von der umgebenden wärmeren Bebauung ab (Niederzwehren, Rengershausen, Fuldabrück, Bergshausen)

Niedrige Oberflächenstrahlungstemperaturen werden über den Wasserflächen der Fulda (blaue Farbtöne) gemessen. Durch die thermische Trägheit des Wasserkörpers bleibt die Oberflächenstrahlungstemperatur auch bei intensiver Sonneneinstrahlung gegenüber befestigten Oberflächen relativ niedrig. So kann Wasser 3- bis 4mal soviel Wärme aufnehmen wie das gleiche Volumen Erdbo-den, bis seine Temperatur um 1 °C ansteigt (HÄCKEL 1993).

Die Kraftwerksflächen und die Gewerbeflächen entlang der Dennhäuser Straße treten als Wärmeband zwischen ,Langem Feld' und der Fuldaaue hervor. Die befestigten Oberflächen heizen sich am Tag intensiv auf (bis über 30.0°C).

Als deutliche Wärmeinseln treten in Niederzwehren das Gewerbegebiet an der Mendelssohn-Bartholdy-Straße und das Gelände im Bereich der Verwaltungsfachhochschule an der Frankfurter Straße hervor. Hier heizen sich vor allem die großflächig versiegelten Stellflächen intensiv auf.

Nach Sonnenuntergang (**Abbildungen 41** und **42**) setzt infolge der freien Ausstrahlung über Rasen- und Wiesenflächen rasche Abkühlung ein.

Im Planungsgebiet und in dessen Umfeld werden während der Abendbefliegung über Wiesen- und Ackerflächen Oberflächenstrahlungstemperaturen zwischen ca. 10.5 und 16.1°C gemessen. Sie heben sich als Kaltluftentstehungsgebiete deutlich von den asphaltierten Straßenzügen (z.B. Autobahntrassen A 44 und A 49) ab, die noch Oberflächenstrahlungstemperaturen von über 16.1°C aufweisen.

Die Oberflächentemperatur wird nach Sonnenuntergang dadurch bestimmt, wieviel Tageswärme im Boden oder im Pflanzenbestand gespeichert ist und wie schnell sie an die Oberfläche geleitet wird, um die ausgestrahlte Energie zu ersetzen. Während beispielsweise in einer Straßendecke die in tieferen Schichten gespeicherte Wärme rasch an die Oberfläche nachgeleitet wird, wirkt ein Wiesenteppich oder ein Zuckerrübenfeld isolierend.

Die stark ausstrahlenden Grashalme bzw. Blätter kühlen die darüber lagernde Luft besonders rasch ab, so dass auf solchen Flächen nachts deutlich niedrigere Temperaturen erreicht werden. Sie stellen also eine günstige Nutzungsform für Flächen mit der Klimafunktion „Kaltluftbildung“ dar. Thermisch günstig sind auch locker bepflanzte Streuobstwiesen zu bewerten.

Relativ warm bilden sich stellenweise gehölzüberstellte Flächen und Waldgebiete ab. So werden beispielsweise im Bereich des Hangwaldes zwischen Planungsraum ‚Langes Feld‘ und Fulda/L 3124 trotz großer Vegetationsflächenanteile während der Abendaufnahme noch Oberflächenstrahlungstemperaturen von über 14.0°C gemessen. Tagsüber ergibt sich im Bestand größerer Gehölzflächen infolge Absorption der Sonnenstrahlung im oberen Kronenraum der Bäume und Sträucher sowie auf Grund der Beschattung des Stammraumes ein vertikaler Temperaturentwurf. Die aktive Austauschfläche liegt im Kronenraum, der Stammraum ist kühler und feuchter als die Umgebung. Nach Sonnenuntergang sinkt die im Kronendach produzierte Kaltluft in den Stammraum ab, wodurch wärmere Luft aus höheren Luftschichten nachströmt. Während im Stammraum recht niedrige Temperaturen ermittelt werden können, bleibt der bei den Thermalbildaufnahmen abgetastete Kronenraum vergleichsweise warm. Die Qualität der thermischen Ausgleichswirkung von gehölzüberstellten Flächen wird daher durch die Aufnahmen der Nachtbefliegungen nur bedingt wiedergegeben.

Das hohe Wärmespeichervermögen des Wassers bewirkt, dass sich die Wasserflächen entlang der Fulda in den Nachtstunden als auffallend warm abbilden.

Die Ergebnisse der Morgenbefliegung verdeutlichen nochmals die thermische Gunstwirkung des Planungsraumes. Die Acker- und Wiesenflächen heben sich von den asphaltierten Straßenzügen und den überbauten Siedlungsflächen durch ca. 5.0 – 6.0°C niedrigere Oberflächenstrahlungstemperaturen ab.

Als Folge großflächiger Temperaturgegensätze zwischen kühlen Vegetationsflächen und warmer Bebauung können sich in extrem windschwachen Strahlungsnächten flurwindartige Ausgleichsströmungen entwickeln, wobei Freizonen mit niedriger Oberflächenrauigkeit (z.B. das Planungsgebiet) bevorzugte Strömungsleitbahnen darstellen.

Die zusammenfassende Klimatopkarte (**Abbildung 43**) verdeutlicht nochmals die thermische Gunstwirkung vegetationsbedeckter Oberflächen im Planungsraum. Acker- und Wiesenflächen zeichnen sich durch rasche abendliche Abkühlung und niedrige Oberflächentemperaturen (→ Kaltluftentstehung) aus.

Asphaltierte Flächen und dicht bebaute Siedlungsflächen bilden sich als „Wärmebänder“ bzw. „Wärmeinseln“ ab.

Über den überwärmten Flächen kommt es vermehrt zu turbulenter Durchmischung zuströmender bodennaher Kaltluft mit der örtlich lagernden Warmluft, wodurch die Intensität der kaltluftinduzierten Lokalströmungen deutlich geschwächt wird. Vor allem in den Einströmungsbereichen bebauungsinterner Strömungskorridore ist daher die Ausbildung einer großflächigen Wärmeinsel möglichst zu vermeiden.

5.3.1.2 Mesoskalige Berechnungen – flächenhafte Lufttemperaturverteilung

Im Rahmen von Kaltluftsimulationen mit dem Mesoskalenmodell FITNAH wurde vom Büro AMBIMET die flächenhafte Lufttemperaturverteilung im Kasseler Stadtgebiet ermittelt (**Abbildungen 44** und **45**).

Nach 2-stündiger Kaltluftbildung heben sich der Innenstadtbereich von Kassel sowie die Fulda auffallend von ihrer Umgebung ab. Hier werden in 5 m ü.G. um ca. 0.5 bis 2.5°C höhere Lufttemperaturen simuliert wie über dem Planungsraum ‚Langes Feld‘. Niedrigste Lufttemperaturen werden im Bereich des Habichtswaldes berechnet. Hier stellen sich gegenüber der Kasseler Innenstadt um ca. 4 bis 5°C niedrigere Werte ein.

Nach 6-stündiger Kaltluftbildung tritt der Planungsraum grafisch deutlicher als siedlungsnaher Kaltluftproduktionsfläche hervor. Die Lufttemperaturunterschiede zwischen Freiraum und der Bebauung von Niederzwehren bleiben mit ca. 0.5 bis 1.0°C jedoch gering. Dies kann damit erklärt werden, dass in höheren Geländelagen immer wieder die wärmere Höhenströmung durchgreift und die bodennahe Kaltluftschicht mit wärmerer Luft durchsetzt.

5.3.2 Vertiefende Untersuchungen - Verteilung der Lufttemperatur nach Messfahrten am 23.- 24.09.2007

Zur vertiefenden Analyse der thermischen Differenzierung zwischen dem Planungsraum ,Langes Feld' und der benachbarten Bebauung wird nachfolgend die flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur anhand der Ergebnisse von Lufttemperaturmessfahrten dargestellt und diskutiert.

Voraussetzung für die Ermittlung der flächenhaften Verteilung des städtischen Lufttemperaturfeldes ist eine geeignete Auswahl von Messstrecken zu einem möglichst dichten Netz. Dabei wird auf folgende Grundforderungen geachtet:

- mit Hilfe der Messstrecken müssen unterschiedliche Bebauungs- und Flächennutzungsstrukturen erfasst werden, um bei der Auswertung mögliche Ursachen des jeweiligen Temperaturverhaltens zu ermitteln,
- die Dauer der Messfahrt sollte zwei Stunden nicht überschreiten,
- im Interesse einer kontrollierbaren Auswertung sind die Messfahrtstrecken so zu planen, dass bestimmte Punkte (Stationsstandorte, "Schleifpunkte") in zeitlichem Abstand mehrfach angefahren werden. So ist ein unmittelbarer Einblick in die während der Messfahrdauer erfolgten Temperaturänderungen möglich.

Für die Messfahrten wurde ein Messfahrzeug mit einem elektrisch ventilierten Psychrometer (THERM 2286-2, Fa. Ahlborn) ausgestattet. Das rasch auf Temperaturänderungen reagierende NTC-Widerstandsthermometer besitzt eine Auflösung von 0.01 °C. Die Messhöhe betrug 1.8 m ü.G.

Die notwendige Zeitkorrektur (Reduktion der Temperaturdaten auf einen bestimmten Zeitpunkt, z.B. 20:30 Uhr) der erfassten Daten erfolgte mit Hilfe der Stationsdaten und den Schleifpunkten.

Eine Analyse der Temperaturverteilung erfolgt vorwiegend nach Sonnenuntergang, da sich im Verlauf der nächtlichen Abkühlungsphase die durch unterschiedliche Flächennutzung bzw. Oberflächenmaterialien (vegetationsbedeckte Oberflächen bzw. Baukörper) bedingten thermischen Unterschiede am deutlichsten ausbilden. Abhängig von der Flächennutzung, der Lagebeziehung zu klimaökologisch wirksamen Ausgleichsräumen und dem Geländerelev bilden sich nach Sonnenuntergang wärmere und kühlere Bereiche. Hierbei ist sowohl die kleinräumige als auch die großräumigere (regionaler Maßstab) Kaltluftentstehung und Kaltluftbewegung von wesentlicher Bedeutung.

Bereits vor Sonnenuntergang beginnen sich die Bodenoberfläche sowie die darauf befindlichen Materialien und damit auch die darüber liegenden Luftschichten abzukühlen. Wie die IR-Thermalbildaufnahmen zeigen, ist über Vegetationsflächen (z.B. Wiesen, Ackerflächen) diese Abkühlung besonders intensiv. In ebenem Gelände stagniert die so gebildete Kaltluft größtenteils am Ort ihrer Entstehung, wenn sie nicht durch eine Luftströmung höherer Geschwindigkeit ausgeräumt werden kann. In geneigtem Gelände (ab ca. 2°) setzt sich die Kaltluft aufgrund ihres höheren spezifischen Gewichtes dem Gefälle folgend in Bewegung und strömt zu den tiefer liegenden Geländeteilen. Auf diese Weise können sich an Hängen z.T. breit angelegte Hangabwinde entwickeln. Die meist schubartig abfließende Kaltluft wird ständig durch nachströmende wärmere Luft aus höheren Luftschichten ersetzt, was zur Folge hat, dass die mittleren und oberen Hanglagen intensiv ventiliert werden und wärmer bleiben als die tiefer liegenden Bereiche. In Hangeinschnitten bzw. Mulden (z.B. in südwestlicher Verlängerung des Kraftwerks) strömt die Luft vermehrt zusammen. Durch das hohe Kaltluftangebot kommt es zu intensiver Abkühlung der bodennahen Luftschichten.

Die flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur wird dabei zum Indiz für diese Erscheinungen und für die klimaökologische Leistungsfähigkeit der Freiflächen und Freiräume.

Während der vorliegenden Messfahrten wurden Temperaturunterschiede bis ca. 6.5°C gemessen.

Wie die Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes dokumentieren (**Abbildung 30**), ist es während der Messfahrten windschwach, so dass sich ein räumlich differenziertes Bild zur Lufttemperaturverteilung einstellt.

Die Isothermenkarten (**Abbildungen 46** und **47**) zeigen die flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur, wobei die jeweilige Isotherme (Linie gleicher Lufttemperatur) den Übergang zu einem anderen Temperaturwert markiert. Im vorliegenden Fall umfassen die Farbflächen zwischen zwei Isothermen jeweils einen Temperaturbereich von 0.5°C.

Da die Einstrahlung bei Tag im Freiland und innerhalb der Bebauung gleichermaßen wirksam ist und die am Tag meist stärkere Windbewegung intensiveren vertikalen und horizontalen Luftaustausch zur Folge hat, sind die Temperaturunterschiede zwischen Bebauung und Freiland im allgemeinen geringer als während der nächtlichen Ausstrahlungsphase. Zur Zeit der nächtlichen Ausstrahlung treten die landschafts- und siedlungsspezifischen thermischen Unterschiede, wie bereits erwähnt, ausgeprägt hervor.

Kurz nach Sonnenuntergang deutet sich bereits die typische Verteilung der nächtlichen Lufttemperaturen an, wie sie in **Abbildung 46** dargestellt wird.

Auf der **Isothermenkarte von 20.30 Uhr** lassen sich deutlich die lage- und flächennutzungsspezifischen thermischen Unterschiede im südlichen Stadtgebiet von Kassel erkennen.

Die maximale Temperaturdifferenz beträgt 6.3°C. Die niedrigsten Lufttemperaturen (unter 10.5°C) werden im Eselsgraben südlich der Autobahnanschlussstelle Kassel-Niederzwehren gemessen, wo sich die von den angrenzenden Hangzonen zuströmende und örtlich gebildete Kaltluft sammelt.

Vergleichsweise niedrige Lufttemperaturen stellen sich auch in der Fuldaaue (12.0 – 13.5°C) sowie im Bereich des Neubaugebietes am Goldbach in Niederzwehren (13.0 – 14.0°C) ein. Sie stellen ebenfalls Kaltluftammelgebiete dar.

Die Hochfläche des ,Langen Feldes' stellt sich insgesamt wärmer dar als die tieferen Lagen, was sowohl auf die Möglichkeit des Kaltluftabflusses als auch auf die bessere Ventilation der Freiflächen zurückzuführen ist. Die intensivere Ventilation der Hochflächen während windschwacher Strahlungswetterlagen hängt mit dem verstärkten Einwirken der wärmeren Höhenluft zusammen, die in den bodennächsten Luftschichten für einen kontinuierlichen Luftmassenwechsel sorgt. Der Zustrom von Luftmassen der höheren Atmosphäre findet in den Tief- bzw. Tallagen aufgrund der nach Sonnenuntergang zunehmend stabilen Luftschichtung in deutlich geringerem Umfang statt.

Die Hangzonen des ,Langen Feldes' bilden Kaltluftabflussflächen, wobei Hang Einschnitte (z.B. südwestlich des Kraftwerks) verstärkte Leitlinienfunktion haben.

Das Ortszentrum von Niederzwehren sowie das Gewerbegebiet im Bereich der Mendelssohn-Barthóldy-Straße heben sich als wärmere Bereiche ("Wärmeinseln") gegenüber ihrem Umfeld heraus. Hier stellen sich gegen 20:30 Uhr Lufttemperaturen bis 16.3°C bzw. bis 15.8°C ein.

Die genannten Wärmeinseln werden durch die kühleren Grünflächen entlang des Eselsgrabens getrennt.

Die vergleichbaren Lufttemperaturen zwischen den Hochflächen des Freiraums ,Langes Feld' und dem Ortszentrum von Niederzwehren dürfen bei der bioklimatischen Bewertung allerdings nicht gleichgesetzt werden, da das Wärmeempfinden des Menschen nicht nur über die Lufttemperatur, sondern maßgeblich auch über die Strahlungstemperaturen der Oberflächen und die Windgeschwindigkeit gesteuert wird.

Wie die Thermalbildaufnahmen zeigen, stellen sich zwischen den Ackerflächen des ‚Langes Feldes‘ und den Straßenzügen im Ortszentrum von Niederzwehren bei den Oberflächenstrahlungstemperaturen Unterschiede bis ca. 6°C ein. Legt man diese Werte sowie die Lufttemperaturverteilung und die ortsspezifische Windgeschwindigkeit (1.5 m/s auf der Hochfläche, 0.8 m/s im Ortszentrum) der Berechnung der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET, s. Kap. 5.2.1) zugrunde, so zeigt die PET in Niederzwehren einen um ca. 3°C höheren Wert. Die klimaökologische Gunstwirkung von Freiflächen - auch in wärmeren Hochlagen - wird deutlich.

Im Bereich der Südstadt kennzeichnen die verhältnismäßig niedrigen Lufttemperaturen entlang des Parks Schönfeld eine stadtklimatisch wirksame Kaltluftabflussrinne.

Abbildung 47 gibt die thermische Situation gegen 23:00 Uhr wieder.

Zwischen erster und zweiter Messfahrt ist die Lufttemperatur im Zuge der nächtlichen Abkühlung im Ortszentrum von Niederzwehren um ca. 3.0°C und in den kühleren Freiräumen (z.B. Fuldaaue) um ca. 2.0 – 3.0 °C zurückgegangen.

Die maximalen Temperaturunterschiede zwischen kühlfsten und wärmsten Bereichen liegen bei ca. 4.8°C.

Niedrige Lufttemperaturen werden wiederum entlang des Eselsbachs, im Bereich der Fuldaaue sowie entlang des Goldbachs und des Parks Schönfeld registriert. Sie bilden Kaltluftleitbahnen, die bis in bebaute Gebiete vordringen.

Das ‚Lange Feld‘ zeigt sich im Bereich der Kuppe relativ warm. Hier werden ähnlich hohe Lufttemperaturen gemessen wie im Ortszentrum von Niederzwehren. Dies weist darauf hin, dass die örtlich gebildete Kaltluft nicht zu Stagnation neigt, sondern sich hangabwärts in Richtung Fulda bzw. Eselsgraben in Bewegung setzt bzw. von kräftigeren regionalen und überregionalen Luftströmungen verfrachtet und durchmischt wird.

6 Zusammenfassende Darstellung der klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsraum und in dessen Umfeld

Wie sich aus den Darstellungen vorliegender Messdaten entnehmen lässt, bildet sich im Kasseler Becken durch die topographische Gliederung (Tal- und Hangzonen, Hangeinschnitte) des Geländes und die Flächennutzung (Bebauung, Ackerflächen, Wiesen etc.) ein ortsspezifisches Lokalklima aus. Dies dokumentiert sich einerseits anhand der thermischen Umgebungsbedingungen und andererseits im Strömungsgeschehen des Raumes, das bei klimarelevanten Strahlungswetterlagen nach Sonnenuntergang sowohl durch überregionale Winde als auch durch regionale und lokale Kaltluftbewegungen bestimmt wird.

Anhand des thermischen Verhaltens unterschiedlicher Flächennutzungsstrukturen während durch Hochdruck beeinflusster Wetterlagen werden die Auswirkungen lokaler Faktoren auf das Klima deutlich erkennbar (siehe Kap. 5.3). Schwache Windbewegung und länger anhaltende Einstrahlung am Tag führen zu intensiver Erwärmung, ungehinderte Ausstrahlung bei Nacht hingegen zu intensiver Abkühlung der unteren Luftschichten.

Bei diesen Wetterlagen bilden sich durch unterschiedliche Exposition, Geländeform und Oberflächenart wärmere und kühlere Bereiche aus.

Nach Sonnenuntergang, im Laufe der Abkühlungsphase, stellen sich durch die Kaltluftentstehung und Kaltluftbewegung induzierte lokale Erscheinungen ein (z.B. Hangabwinde, Kaltluftstagnation), die bei Strahlungswetterlagen in meist gleicher Weise auftreten und die Intensität der Be- und Durchlüftung in der Bebauung wesentlich bestimmen.

Besonders im Sommer und in den Übergangsjahreszeiten beeinflussen lokale Luftströmungen, deren Existenz auf die Kaltluftproduktion der Freiräume (z.B. 'Langes Feld') und die Kaltluftbewegung entlang der Fulda und angrenzender vegetationsbedeckter Hangzonen/Hangeinschnitte zurückzuführen ist, in hohem Maße das Ventilationsgeschehen im Süden von Kassel. Da diese lokalen Luftzirkulationen nur begrenzte horizontale und vertikale Reichweite entwickeln, in ihrer Summenwirkung aber das Ventilationsgeschehen bei windschwachen, austauscharmen Wetterlagen wesentlich bestimmen, ist dem Erhalt ihrer Entstehungsgebiete und bevorzugten Zugbahnen besondere Beachtung zu schenken.

Der treibende Faktor dieser Luftströmungen ist, wie bereits erwähnt, die nächtliche Kaltluftentstehung und Kaltluftbewegung. Voraussetzung für die Kaltluftentstehung ist ein bestimmtes Potenzial vegetationsbedeckter Freiflächen. Über vegetationsbedeckten Freiräumen kommt es zu intensiver Kaltluftproduktion.

Die Kaltluftbewegung und die sich daraus entwickelnden Lokalströmungen beschränken sich weitgehend auf den bodennäheren Luftraum. Nur wenn gleichgerichtete überregionale bzw. regionale Luftströmungen für zusätzliche Bewegungsimpulse sorgen, können beispielsweise Dämme, Gehölzgruppen und größere Gebäudekörper über- und umströmt werden. Ansonsten werden sie oft zum unüberwindbaren Hindernis.

Um die klimaökologischen Auswirkungen des geplanten Gewerbestandorts ,Langes Feld' vertiefend beurteilen zu können, muss der Stellenwert des Raumes im komplexen lokalen Klimageschehen bekannt sein. Hierbei muss unterschieden werden zwischen Ausgleichsräumen (Freiräume), die klimaökologisch positiv wirken, d.h. klimaökologische Leistungen in Form eines Abbaus bioklimatischer und lufthygienischer Belastungen erbringen und Wirkungsräumen (Bebauung), in welchen durch diese Leistungen bioklimatische und lufthygienische Negativercheinungen abgebaut oder vermieden werden.

- **Definition „klimaökologischer Wirkungsraum“**

Ein klimaökologischer Wirkungsraum ist ein bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum, dem ein oder mehrere Ausgleichsräume zugeordnet sind und in welchem die in den Ausgleichsräumen erzeugten klimaökologischen Leistungen zum Abbau von klimahygienischen und lufthygienischen Belastungen führen.

- **Definition „klimaökologischer Ausgleichsraum“**

Ein klimaökologischer Ausgleichsraum ist ein Freiraum, der einem benachbarten, zur Belastung neigenden Raum (Bebauung) zugeordnet ist, um in diesem Raum klimahygienische und lufthygienische Belastungen aufgrund seiner Lagebeziehung und der zwischen beiden Räumen stattfindenden Luftaustauschprozesse abzubauen oder nicht aufkommen zu lassen.

Klimaökologische Ausgleichs- und Wirkungsräume stehen über das Luftaustauschgeschehen funktional in Beziehung, wobei vor allem auch lokal begrenzte, bodennah ablaufende Wirkungsmechanismen von Bedeutung sind.

Die klimaökologische Wirkung der Ausgleichsräume besteht zum einen in ihrem Beitrag zur Intensivierung der Ventilation und zum anderen in der Verbesserung der Luftqualität sowohl in thermischer als auch in lufthygienischer Hinsicht, wobei die Ausgleichsräume sowohl passiv als auch aktiv wirken.

- **aktive Wirkung**

Die aktive Wirkung liegt in der Kaltluftproduktion der Freiflächen. Aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen vegetationsbedecktem Freiraum und der angrenzenden Bebauung sowie der daraus resultierenden Luftdruckunterschiede entstehen Luftaustauschbewegungen, die in Form kleinräumiger Luftbewegungen, bei ausgedehnteren Freiräumen in Form von deutlich messbaren Lokalströmungen, besonders bei windschwachen Wetterlagen das Ventilationsgeschehen wesentlich mitbestimmen.

- **passive Wirkung**

Die passive Wirkung besteht darin, dass die im weiteren Umland entstehende Frischluft auch bei Schwachwindsituationen, durch den Bewegungsimpuls des großräumigen bzw. regionalen Windes unterstützt, über diese siedlungsnahen Freiräume im bodennäheren Luftraum weitgehend ungehindert in die Bebauung gelangen kann.

Wie **Abbildung 48** (Klimafunktionskarte) dokumentiert, ist das vorgesehene Planungsgebiet (siehe **Abbildung 6**) Bestandteil des Freiraumgefüges zwischen der Autobahntrasse A 49 und der Fuldaaue.

Die vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen funktionieren als klimaökologische Ausgleichsräume, die sich aufgrund ihrer Ausdehnung, Lage und klimaökologischen Aktivwirkung (Kalt- und Frischluftproduktion) vorwiegend in der Fuldaaue östlich der Dennhäuser Straße und in Kassel-Niederzwehren (Wirkungsraum) positiv auswirken. Die Trasse der A 49 bewirkt bei den Austauschbeziehungen Freiland – Bebauung jedoch bereits wesentlich Störungseffekte. Neben der Hinderniswirkung ist hierbei auch der Eintrag von Kfz-bedingten Luftschadstoffen in die bodennahen Kaltluftschichten zu nennen, so dass nur bedingt von Frischluftzufuhr gesprochen werden kann.

In Richtung Rengershausen wird das Planungsgebiet durch die Trasse der A 44 vom südlichen Freiraum getrennt.

Das Planungsgebiet und dessen Umfeld (untere und mittlere Hangzonen) zeigt sich an bioklimatisch besonders relevanten Strahlungstagen tagsüber intensiv ventiliert. Während im bebauten Stadtgebiet von Kassel im langjährigen Mittel mittlere Windgeschwindigkeiten unter 2.5 m/s zu erwarten sind, stellen sich im Planungsraum 'Langes Feld' mittlere Windgeschwindigkeiten von über 3.2 m/s ein (**Abbildung 11**). Dabei dominieren reliefbedingt Winde aus südwestlichen bis südöstlichen und nördlichen Richtungssektoren.

Bei windschwachen Wetterlagen kommt auf die Bebauung zugerichteten Luftleitbahnen, die sich durch eine geringe Oberflächenrauigkeit auszeichnen, besondere Bedeutung zu.

Hier kann der großwetterlagenbedingte Höhenwind bodennah durchgreifen und somit auch in der angrenzenden Bebauung bioklimatisch und lufthygienisch bedeutsame Ventilationseffekte bewirken.

Nach Sonnenuntergang setzen im Planungsgebiet vermehrt schwache Winde aus südlichen bis südwestlichen Richtungssektoren ein.

Über den Wiesen und Ackerflächen kommt es zu Kaltluftbildung. Im Kuppenbereich bleibt die vertikale Mächtigkeit durch den Kaltluftabfluss und die intensivere Ventilation auf wenige Meter (unter 5 m) begrenzt.

In der NE-exponierten Hangzone entwickeln sich besonders im Hangeinschnitt des Gewanns „Beim alten Teich“ messbare gerichtete Kaltluftströmungen. Während einer windschwachen Strahlungsnacht beträgt die vertikale Mächtigkeit des Kaltluftabflusses ca. 5 m. Der thermische Abkühlungseffekt der bodennahen Kaltluft reicht allerdings bis ca. 30 m ü.G.

Im Eselsgraben (im nordwestlichen Teilbereich des Planungsraums) bildet sich aus der örtlich entstehenden Kaltluft und der zuströmenden Hangkaltluft ebenfalls ein prägnanter gerichteter Kaltluftstrom (vertikale Mächtigkeit ca. 15 m), dessen klimaökologische Ausgleichswirkung auf die Bebauung von Niederzwehren durch die querende Trasse der A 49 jedoch stark minimiert wird.

Auch zwischen Warteküppel und Dennhäuser Straße mindert die Trasse der A49 nachhaltig die Qualität und Quantität der klimaökologischen Ausgleichsleistung des Freiraums ‚Langes Feld‘.

Entlang der Fulda entwickelt sich eine auf die Bebauung von Kassel zugerichtete Lokalströmung, die am 23.-24.09.2007 vertikale Mächtigkeiten von ca. 40 m erreicht. Aufgrund des geringen Gefälles neigt die Kaltluft im Bereich dicht gehölzüberstellter Flächen und am Autobahndamm der A 49 vermehrt zu Stagnation. Im bodennächsten Luftraum (unter 10 m ü.G.) bildet sich im Laufe der Nacht zwischen Neue Mühle und A 49 ein „Kaltluftsee“ aus. Nur bei gleichzeitig bodennah durchgreifenden regional bzw. überregional angelegten Höhenwinden, die zusätzliche Bewegungsimpulse auf die lokale bodennahe Kaltluft ausüben, kann die Kaltluft der Fuldaue wirksam in die Bebauung verfrachtet werden. Die Bewegungsimpulse über den Kaltluftabfluss aus dem Freiraum ‚Langes Feld‘ sind zu gering.

Nördlich der Autobahn A 49 bilden die Grünflächen entlang des Eselsgrabens und der Park Schönfeld ein wesentliches klimaökologisches Ausgleichspotenzial.

Die vom Büro TARAXACUM anhand von Relief, Flächennutzung, IR-Thermalaufnahmen und punktuellen Messungen erstellte Klimafunktionskarte kann mit Hilfe der vertiefenden Messungen bestätigt werden.

Auch die Klimabewertungskarte (**Abbildung 49**), die die Qualität der klimaökologischen Ausgleichsleistung beschreibt, wird durch die vertiefenden Messungen weitgehend bestätigt.

7 Einfluss des potenziellen Gewerbestandortes ,Langes Feld' auf das ortsspezifische Strömungsgeschehen und die thermischen Umgebungsbedingungen – numerische Modellrechnungen

7.1 Modellrechnungen zu den lokalen Kaltluftbewegungen

Wie die Analyse der klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsraum ,Langes Feld' im Süden von Kassel gezeigt hat, bildet sich vor allem bei austauscharmen Strahlungswetterlagen über den Freiräumen ,Langes Feld' und Fuldaaue ein lokales kaltluftinduziertes Strömungssystem aus.

Zur Entwicklung einer klimarelevanten Kaltluftströmung entlang von Hangzonen ist neben der Flächennutzung (→ steuert die Kaltluftproduktionsrate) die Größe der Kaltluftproduktionsfläche und die Hangneigung ($> 2 - 3^\circ$) von Bedeutung.

Probleme mit Kaltluftsystemen sind dann zu erwarten, wenn in klimaökologisch relevanten Kaltluftentstehungsgebieten (hier: ,Langes Feld') dergestalt gebaut wird, dass wesentliche Kaltluftproduktionsflächen vernichtet werden. Die örtliche Kaltluftströmung kann dadurch derart geschwächt werden, dass die klimaökologische Ausgleichsleistung nachhaltig minimiert wird. Wie die mobilen Messungen gezeigt haben, unterstützt das ,Lange Feld' im Wesentlichen die klimaökologischen Ausgleichsleistungen der Fuldaaue für das südliche Stadtgebiet von Kassel.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erfolgt daher mit Hilfe von numerischen Modellrechnungen eine Kaltluftsimulation für den derzeitigen Zustand und den Plan-Zustand (Gewerbestandort ,Langes Feld'), um die klimaökologischen Auswirkungen eines potenziellen Gewerbegebietes aufzuzeigen. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt im Vergleich zur derzeitigen Situation.

Abbildung 50 zeigt das betrachtete Rechengebiet (ca. 7.7 x 6.9 km). Bei den Berechnungen wird auch der Einfluss der umliegenden Geländeerhebungen berücksichtigt.

Im derzeitigen Zustand ist das Plangebiet nicht bebaut und überwiegend landwirtschaftlich genutzt.

Für den Plan-Zustand wird der vorgelegte Städtebauliche Rahmenplan (**Abbildung 6**) zugrunde gelegt. Für die Baukörper wird eine Höhe von 10 m vorgegeben (vgl. **Abbildungen 7** und **8**).

Die Auswirkungen der geplanten Nutzungsänderungen auf die Kaltluftströmungen verdeutlichen Kaltluftsimulationen für den Ist-Zustand und den Plan-Zustand mit dem Kaltluftmodell KALM.

Das Modell verwendet die sogenannten Flachwassergleichungen, eine vereinfachte (vertikal integrierte) Form der Grundgleichungen der Strömungsmechanik. Die Bezeichnung „Flachwassergleichungen“ hat sich eingebürgert; die Gleichungen eignen sich jedoch genauso zur Beschreibung der Strömung jedes relativ zur Umgebung schweren Fluids, z.B. von Wasser oder von kalter Luft. Eine solche Strömung hat folgende Charakteristika:

- Abfluss über geneigtem Gelände entsprechend der Hangneigung
- Weiterbewegen der „Kaltluftfront“ auch über ebenem Gelände
- Auffüllen von Becken (Kaltluftseen)
- Einfluss der Schichtdicke auf Strömungsrichtung und -geschwindigkeit (Druckgradienten)

Angetrieben wird die Strömung durch die auftriebskorrigierte Erdbeschleunigung. Innerhalb der Flachwassergleichungen werden folgende Einflüsse auf die Strömung berücksichtigt:

- Advektion (Transport der Kaltluft mit der Strömung),
- Reibung zwischen Erdoberfläche und Luft. Diese Reibung variiert mit der Landnutzung (Freiland: niedrige Reibung, Siedlung: hohe Reibung)
- Beschleunigung oder Abbremsen der Strömung durch Änderung der Geländehöhe und/oder der Kaltluftschichtdicke,
- von der Landnutzung abhängige Nullpunktverschiebung des Geländeniveaus zusätzlich zur topographischen Geländehöhe,
- von der Landnutzung abhängige Kaltluftproduktion.

Das Lösungsverfahren ist ein Differenzenverfahren mit variabler Gitterpunktzahl und Gitterweite, d.h. Topographie und Landnutzung müssen an den einzelnen Gitterpunkten digitalisiert vorliegen; es wird ein versetztes Gitter verwendet. Um großskalige Einflüsse (z.B. Flusstäler) bei gleichzeitiger hoher Auflösung im interessierenden Gebiet zu berücksichtigen, wird das Modell auf einem geschachtelten Gitter („Nesting“) betrieben werden.

Vorausgesetzt wird die für Kaltluftabflüsse optimale Situation, d.h. eine klare und windstille Nacht. Das Modell berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung, ausgehend vom Ruhezustand (keine Strömung) bei gegebener zeitlich konstanter Kaltluftproduktionsrate. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert. Es werden acht Landnutzungs-klassen berücksichtigt: dichte Bebauung, lockere Bebauung, gewerbliche Nutzungen, Wald, Freiland, Wasser, Gleisanlagen und Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze).

Berechnet wird die Dicke der Kaltluftschicht sowie die beiden horizontalen Geschwindigkeitskomponenten (West-Ost und Süd-Nord), gemittelt über die Dicke der Kaltluftschicht. Aus diesen Größen kann dann auch der Kaltluftvolumenstrom berechnet werden.

Das betrachtete Gebiet umfasst eine Fläche von ca. 47 km². Die digitalen Geländedaten für den Nahbereich des Planungsraumes (30 km²) wurden mit einer Rasterweite von 20 m vom HESSISCHEN LANDESAMT FÜR BODENMANAGEMENT UND GEOINFORMATION zur Verfügung gestellt. Die Informationen der Landnutzung sind vorliegenden Luftbildern und Lageplänen entnommen.

Damit die Einflüsse randlicher Höhenlagen auf die Kaltluftströmungen berücksichtigt werden, wurden für die Kaltluftberechnungen das Relief und die Landnutzung in ein Rechengitter überführt, das in alle Himmelsrichtungen, basierend auf größeren Daten (50 m – Raster) des GlobDEM50 (MetSoft, 2004), ergänzt wurde.

Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen beinhalten die Richtung und die Geschwindigkeit des Kaltluftstroms, die Mächtigkeit der Kaltluft und die daraus resultierende Kaltluftvolumenstromdichte. Die Kaltluftvolumenstromdichte beschreibt die Kaltluftmenge in m³, die pro Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Oberkante der Schichtdicke, die senkrecht zur Strömung steht, fließt. Falls die Volumenstromdichte über einen Querschnitt konstant ist, lässt sich der Volumenstrom direkt und einfach als Volumenstromdichte mal Länge der Grundlinie dieser Fläche berechnen.

7.1.2 Ergebnisse der Kaltluftsimulationen, Ist-Zustand

Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen (es wird jeweils der relevante Gebietsausschnitt dargestellt) sind in **Abbildung 51** für den Ist-Zustand mit der Geschwindigkeit und Richtung der Kaltluftströmung in der Anfangsphase der Kaltluftbildung dargestellt.

In dieser Kaltluftbildungsphase stellen sich entlang der Fuldaaue südliche Kaltluftbewegungen mit Geschwindigkeiten von ca. 1 m/s ein.

Großräumig wird auch über das südliche und westliche Freiraumgefüge Kaltluft herantransportiert.

Im Planungsraum 'Langes Feld' zeigt sich ein allseitiges Abfließen von Kaltluft.

In Richtung Eselsgraben erreichen die Strömungsgeschwindigkeiten am Rande des Planungsgebietes ca. 0.7 m/s. Bei den Kaltluftbewegungen in Richtung Norden (Gewann „Beim alten Teich“) werden Geschwindigkeiten bis ca. 0.5 m/s simuliert. Auf der Hochfläche (zentraler Teilbereich des Planungsgebietes) sind aufgrund des geringen Gefälles nur kaltluftinduzierte Windgeschwindigkeiten von ca. 0.3 m/s zu erwarten.

Auch im Bereich der Fuldaaue treten nur geringen Strömungsgeschwindigkeiten (um 0.5 m/s) auf, was auf eine Tendenz zu Kaltluftstagnation hinweist.

Abbildung 52 zeigt für den derzeitigen Zustand die Kaltluftvolumenstromdichte und die Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung.

Im Fuldataal und in Oberzwehren/Niederzwehren bilden sich bereits größere Kaltluftmächtigkeiten durch zuströmende Hangabwinde (Söhre-Wald/Fuldataal bzw. Hangzone östlich der Linie Baunsberg/Brasselsberg) aus. Die Kaltluftmächtigkeit erreicht hier bei vorherrschender Windstille bereits in der Anfangsphase der Kaltluftbildung ca. 20 bis 30 m, wobei in Niederzwehren Kaltluftvolumenstromdichten von ca. 15 – 20 m³/(m s) und im Fuldataal 10 – 15 m³/(m s) berechnet werden. Auch im Eselsgraben ergeben sich mit 10 – 15 m³/(m s) vergleichbare Kaltluftvolumenstromdichten, wobei die Kaltluftmächtigkeit am Recyclinghof ca. 20 m beträgt.

Am Hangeinschnitt „Beim alten Teich“, südwestlich des Kraftwerks, werden Kaltluftmächtigkeiten von ca. 5 – 10 m simuliert.

Im vorgesehenen Planungsgebiet (orange Umgrenzung) werden im Kuppenbereich Kaltluftmächtigkeiten von ca. 1 – 2 m simuliert. Etwas größer ist die Mächtigkeit im Südosten des Planungsgebietes. Hier stellen sich in der Anfangsphase der Kaltluftbildung bereits vertikale Mächtigkeiten von 10 m ein.

Die Kaltluftvolumenstromdichte ist im Kuppenbereich in der Anfangsphase der Kaltluftbildung auf ca. $1 - 2 \text{ m}^3/(\text{m s})$ begrenzt.

Die Ergebnisse der Kaltluftsimulation stimmen mit den Ergebnissen der orientierenden Messungen recht gut überein.

In **Abbildung 53** ist für den Ist-Zustand die Kaltluftströmungsgeschwindigkeit bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen (kurz vor Sonnenaufgang) aufgezeigt.

Innerhalb der Bebauung von Niederzwehren, wo die kaltluftbedingte Belüftung im Wesentlichen von südwestlichen Kaltluftströmungen aus der Hangzone östlich der Linie Baunsberg/Brasselsberg beeinflusst wird, reicht bei ausgeprägter Kaltluftbildung die Kaltluft bis in eine Höhe von ca. 40 – 60 m, da die Kaltluft über der Bebauung angehoben wird. Bei mittleren Strömungsgeschwindigkeiten ergeben sich Kaltluftvolumenstromdichten von ca. $35 - 45 \text{ m}^3/(\text{m s})$ – siehe **Abbildung 54**.

Im Fuldataal östlich des Planungsgebietes werden Kaltluftmächtigkeiten bis ca. 80 m erwartet. Die Kaltluftvolumenstromdichte beträgt dabei ca. $35 - 40 \text{ m}^3/(\text{m s})$. Auffallend sind die geringen Strömungsgeschwindigkeiten (unter 0.5 m/s). Infolge des geringen Geländegefälles neigt die Kaltluft in der Fuldaaue vor allem an Dämmen und dichten Gehölzstrukturen zu Stagnation. Die von der Talkaltluft ausgehenden Ventilationseffekte für die angrenzende Bebauung (z.B. Südstadt) sind daher recht gering.

Das Planungsgebiet 'Langes Feld' wird zum einen von der aus dem südlichen Freiraumgefüge zuströmenden Kaltluft belüftet, zum anderen bilden die Freiflächen selbst ein Kaltluftentstehungsgebiet. Hier werden Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 1.0 – 1.2 m/s wirksam. Die Kaltluftvolumenstromdichte beträgt ca. $20 - 30 \text{ m}^3/(\text{m s})$.

Zwischen Warteküppel und Neue Mühle hebt sich der Hangeinschnitt „Beim alten Teich“ deutlich als Kaltluftammel- und Kaltluftabflussbereich von seiner Umgebung ab. Hier überlagern sich zudem die hangspezifische Kaltluft und die Talkaltluft entlang der Fuldaaue.

Die Kaltluftsimulationen stimmen somit weitgehend mit den Erkenntnissen bereits vorliegender Kaltluftsimulationen überein (Kap. 5.2.1).

7.1.3 Ergebnisse der Kaltluftsimulationen, Plan-Zustand

Die o.a. Berechnungen wurden auch für den Plan-Zustand durchgeführt.

Da die vorgesehene Bebauung nicht zu einer kompletten Einschränkung der Kaltluftströmungen führt, sind die Ergebnisdarstellungen vergleichbar mit denen für den Ist-Zustand. Im Folgenden werden daher Differenzkarten dargestellt, die die Einschränkungen der Kaltluftvolumenstromdichte aufzeigen. Darin sind die Bereiche erkennbar, in denen planungsbedingte Verringerungen der Kaltluftströmungen zu erwarten sind.

Mit Realisierung des Gewerbegebietes ,Langes Feld' kommt es im Planungsgebiet zu einer Neuversiegelung von ca. 80% der Böden mit Kaltluftproduktion. Mit der Änderung der Landnutzung wird einerseits die Kaltluftbildung im Planungsgebiet selbst verringert, andererseits werden die Hangabwinde durch die versiegelten Oberflächen (Straßen, Stellflächen) und Baukörper beeinflusst.

In **Abbildung 55** ist die Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte in der Anfangsphase der Kaltluftbildung aufgezeigt. Die potenzielle Bebauung wirkt sich im Kaltluftgeschehen bis in die Fuldaaue und dort noch Richtung Norden bis zum Gewann Giesewiesen (nördlich der talquerenden A 49) aus. Wohnbebauung ist hier von der Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte nicht betroffen.

Ausgehend von den Ergebnissen für den Ist-Zustand werden kleinräumig im unmittelbaren Nahbereich des Planungsgebietes die Volumenströme der Hangabwinde um ca. 80 - 90 % verringert.

In der NE-exponierten Hangzone (Gewann „Bei alten Teich“) verringert sich die Kaltluftvolumenstromdichte um ca. 30 bis 65%. Auch im Bereich der Siedlung Neue Mühle ergeben sich in Teilbereichen Abnahmen der Kaltluftvolumenstromdichte in vergleichbaren Größenordnungen.

Im Bereich der Fuldaaue nimmt die Kaltluftvolumenstromdichte in Teilbereichen (westlich der Fulda zwischen Neue Mühle und Giesewiesen) von $10 - 15 \text{ m}^3/(\text{m s})$ um ca. $1 \text{ m}^3/(\text{m s})$ ab \rightarrow ca. -6.5 bis -10%.

Eingeschränkt werden auch die Hangabwinde in Richtung Eselsgraben. Hierdurch wird am Talgrund die Kaltluftvolumenstromdichte stellenweise um ca. 10 – 30% reduziert.

Im Bereich der Bebauung von Niederzwehren ergeben sich in der Anfangsphase der Kaltluftbildung gegenüber dem Ist-Zustand keine nennenswerten Veränderungen. Hier dominiert der Einfluss von Hangkaltluft aus dem westlichen Freiraumgefüge.

Auch in Richtung Rengershausen sind keine Veränderungen im Kaltluftgeschehen zu erwarten.

Bei ausgeprägten Kaltluftbildungen (Strahlungsnacht mit mittleren Windgeschwindigkeiten unter 1.0 m/s), was im Planungsgebiet aufgrund der Kuppenlage nur an ca. 6 - 8% der Nächte im Jahr zu erwarten ist, sind vor allem Einschränkungen der nach Norden bis Nordosten hin orientierten Kaltluftströmungen zu erwarten (**Abbildung 56**).

Die potenziellen Baukörper des Planungsgebietes bilden zusätzliche bodennahe Strömungshindernisse, wodurch sich im Lee ein Bereich mit verringerter Strömungsgeschwindigkeit und damit leicht verringertem Volumenstrom einstellt.

Im Planungsraum ,Langes Feld' wird stellenweise eine Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte von -5 bis $-20 \text{ m}^3/(\text{m s})$ simuliert $\rightarrow -15$ bis -65% .

Im Bereich der Fuldaaue südlich der A 49, wo vermehrt Stagnationstendenzen zu beobachten sind, reduziert sich die Kaltluftvolumenstromdichte in Teilbereichen um ca. 25% (Mittelwert). Nördlich der A 49 wird die Kaltluftvolumenstromdichte kleinräumig um ca. 0 – 12% abgeschwächt. Von diesen Auswirkungen ist jedoch keine Bebauung betroffen, so dass von keinen erheblichen Auswirkungen gesprochen werden kann. Eine intensive Abkühlung an Sommertagen bleibt durch das thermische Gunstpotenzial der Fuldaaue und der verbleibenden Freiflächen im Bereich ,Langes Feld' gesichert. Nachhaltige bioklimatisch Negativeffekte auf die talnahe Bebauung von Kassel (Südstadt) sind nicht zu befürchten.

Auch für die Bebauung von Niederzwehren und Rengershausen werden hinsichtlich der kaltluftbedingten Belüftung keine negativen Auswirkungen berechnet.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Auswirkungen des potenziellen Gewerbegebietes auf die lokalen Kaltluftbewegungen im Fuldataal begrenzt bleiben. Bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen sind Einschränkungen der Kaltluftströmung in nördliche Richtung bis in den Bereich Giesewiesen zu erwarten. Davon sind überwiegend nicht bebaute Bereiche betroffen.

7.2 Modellrechnungen zu strömungsdynamischen Aspekten der Planung

Die Erkenntnisse aus der Klimaaanalyse dokumentieren, dass das Planungsgebiet nicht nur als Kaltluft- und Frischluftproduktionsfläche, sondern auch als Ventilationsbahn fungiert. Sowohl großräumig als auch lokal angelegte Luftströmungen können über den vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen bodennah durchgreifen und für die bestehende Bebauung klimaökologische Gunsteffekte bewirken.

Als Teilbereich eines siedlungsnahen Freiraums weist der geplante Gewerbestandort zwischen der Autobahn A 44 und dem Warteküppel bezüglich seiner klimaökologischen Leistungsfähigkeit eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen in Form von Flächenversiegelung und Hochbau auf. Im konkreten Fall des geplanten Gewerbestandorts bedeutet dies, dass die Planung auf die klimaökologischen Belange derart abgestimmt wird, dass negative Folgeerscheinungen weitgehend minimiert werden.

Aus Sicht der Klimaökologie ist bei der baulichen Gestaltung des geplanten Gewerbegebietes entscheidend, dass der von der Bebauung ausgehende „Wärmeinseleffekt“ sowohl von seiner Intensität als auch von seiner räumlichen Ausdehnung möglichst gering bzw. eng begrenzt bleibt. Bei Entwicklung einer ausgeprägten „Wärmeinsel“ wird zum einen großräumiger herangeführte Kaltluft (regionaler Maßstab) turbulent mit wärmeren Luftmassen darüber liegender Luftschichten durchmischt, so dass die Regionalströmung an horizontaler Strömungsgeschwindigkeit verliert, zum anderen wird durch die „Wärmeaura“ die Intensität der Kaltluftbildung über benachbarten Freiflächen reduziert.

Für das Planungsgebiet sind daher aus klimaökologischer Sicht folgende Faktoren von großer Bedeutung.

- Eine potenzielle Bebauung ist derart anzuordnen, dass möglichst großzügige, netzartig angelegte Ventilations- und Belüftungsbahnen das Gebiet gliedern.
- Am West-, Nord- und Ostrand des Planungsgebietes ist eine möglichst offene räumliche Verzahnung mit dem angrenzenden Freiland zu entwickeln, um den bebauungsbedingten Lee-Effekt auf das verbleibende Freiraumpotenzial zu minimieren.

- Die gebietsinterne Flächennutzung ist derart aufeinander abzustimmen, dass verbleibende Freiflächen/Abstandsflächen die Möglichkeit bieten, siedlungsklimatisch relevante Ausgleichsmaßnahmen zu realisieren, die sich nicht nur auf das Eigenklima und die klimaökologische Qualität der Neubebauung positiv auswirken, sondern auch dazu beitragen, dass die klimaökologische Ausgleichsleistung der verbleibenden Freiräume trotz der geplanten Neubebauung möglichst auf hohem Niveau gehalten werden kann.

Nachfolgend wird mit Hilfe mikroskaliger Modellrechnungen zu strömungsmechanischen Aspekten die vorliegende Planung analysiert.

Die orientierenden Modellrechnungen zu den strömungsmechanischen Effekten der geplanten Bebauung erfolgen mit dem mikroskaligen, prognostischen Rechenmodell MISKAM Vers. 5.02.

Neben dem Ist-Zustand (**Abbildung 57**) wird der vorgelegte Städtebauliche Rahmenplan (**Abbildung 58**) geprüft und bewertet.

Für eine charakteristische Strömungsgeschwindigkeit von 2.0 m/s werden für insgesamt 3 besonders relevante Windrichtungen die aus der Bebauungs- und Flächennutzungsstruktur resultierenden Windfelder berechnet. Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Horizontalschnitten mittels Isotachen und Windvektoren. Die Schnitte geben die mittlere Windgeschwindigkeit für eine 1 m mächtige Luftschicht (Höhe ± 0.5 m) wieder. Während aus der flächigen Isotachendarstellung Bereiche bestimmter Windgeschwindigkeiten zu entnehmen sind, stellen die Pfeile der Vektordarstellung die Strömungsrichtung und die Geschwindigkeit dar. Zur Verdeutlichung der Strömungsmodifikationen durch das potenzielle Gewerbegebiet erfolgt zudem für alle Windrichtungen eine Differenzendarstellung zwischen Plan- und Ist-Zustand.

7.2.1 Windanströmung aus Südsüdosten (150°)

Als konstante Randbedingung wurde zunächst eine Luftströmung aus Südsüdosten mit einer Geschwindigkeit von 2.0 m/s (10 m ü.G.) gewählt, um die Auswirkungen des potenziellen Gewerbestandorts auf die Bebauung von Niederzwehren zu beurteilen. Nach Erkenntnissen aus der Klimauntersuchung des DWD von 1982 ist im Planungsraum, repräsentiert durch die Station *Warteküppel*, während austauscharmer Wetterlagen in ca. 13% der Stunden mit Luftströmungen aus südsüdöstlichen Richtungen zu rechnen.

Ist-Zustand (Abbildungen 59 und 60):

Abbildung 59 zeigt das berechnete Windfeld in einer Höhe von 2.0 m ü.G. für eine südsüdöstliche Anströmung mit 2.0 m/s Geschwindigkeit in einer Höhe von 10 m ü.G.

Deutlich erkennbar sind auf dem Bild des Ist-Zustandes die Luv- und Leeeffekte von Gebäuden, dichten Gehölzreihen und Straßendämmen, die abhängig von ihren Höhen und horizontalen Erstreckungen zu einer mehr oder weniger großflächigen Windgeschwindigkeitsminderung führen.

Die im bodennächsten Luftraum (2 m ü.G.) durch die Oberflächenrauigkeit des Bodens von 2.0 m/s (10 m ü.G.) in freien Lagen auf Werte zwischen 1.3 und 1.9 m/s reduzierte Windgeschwindigkeit wird durch höhere Vegetationsbestände und bauliche Strömungshindernisse weiter abgeschwächt. So werden im Bereich von Waldflächen (z.B. im südöstlichen Bereich des Modellgebiets) und dichten Gehölzriegel (Gewann „Bei alten Teich“) nur noch mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 0.1 – 0.4 m/s simuliert. Innerhalb der Bebauung von Niederzwehren ergeben sich meist mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 0.5 – 1.4 m/s.

Auch die Autobahntrasse mit den begleitenden Gehölzflächen und Lärmschutzwänden bildet ein langgestrecktes Strömungshindernis.

Intensiver ventiliert zeigt sich der geplante Gewerbestandort. Im Bereich der Kuppe kann der Wind nahezu ungestört bodennah durchgreifen. Hierdurch ergibt sich für die Fläche ein hohes Luftleitpotenzial.

Abbildung 60 verdeutlicht für die Höhenschicht (6 m ü.G.) nochmals die Hinderwirkung von Strömungshindernissen in Form von dichten Gehölzflächen, Gebäuden und Straßendämmen.

Plan-Zustand (Abbildungen 61 - 65):

Die prognostischen Strömungssimulationen für den Plan-Zustand dokumentieren die Veränderung des bodennahen Windfeldes durch das vorgelegte Planungskonzept.

Für die 2.0 m-Schicht (**Abbildung 61**) zeigen sich im Lee (Nordnordwesten) des Planungsgebietes gegenüber dem Ist-Zustand bis in ca. 200 m Entfernung auffallende Windgeschwindigkeitsreduzierungen (siehe **Abbildung 64**). Am Warteküppel sind allerdings bereits keine nennenswerten Windfeldmodifikationen mehr zu erwarten. Für die Ortslage Niederzwehren nördlich der Autobahn A 49 werden keine Strömungsmodifikationen simuliert.

Auch im Höhenniveau 6.0 m ü.G. (**Abbildung 63**) sind in Niederzwehren keine strömungsdynamischen Veränderungen zu erwarten.

Der Lee-Effekt der geplanten Bebauung reicht bis ca. 350 m nach Nordnordwesten.

An West- und Ostrand des Gewerbegebietes kommt es gegenüber dem Ist-Zustand zu leichten Beschleunigungseffekten (→ Beschleunigung an den Gebäudekanten).

Innerhalb des Planungsgebietes treten besonders die ca. 33 m breite Haupterschließungsachse sowie der interne SSE-NNW-orientierte Grünzug als Ventilationsachsen hervor (vgl. **Abbildung 62**). Die trichterförmige Öffnung des Grünzugs ist dabei strömungsdynamisch vorteilhaft.

Auch die vorgesehenen Gebäudeabstandsflächen unterstützen bei der gewählten Gebäudekonfiguration die interne Belüftung. Teilbereiche mit mittleren Windgeschwindigkeiten unter 0.5 m/s bleiben räumlich eng begrenzt.

Die zentrale von SW nach NE verlaufende 50 m breite Grünachse trägt ebenfalls zur günstigen Gestaltung der bodennahen Belüftung bei. Bei begleitenden max. Gebäudehöhen von ca. 5 - 10 m ist auch bei einer Queranströmung ein bodenahes Durchgreifen der vorherrschenden Höhenströmung gewährleistet. Vor allem an windschwachen, heißen Sommertagen wird durch eine funktionierende Belüftung die bioklimatische Belastung erheblich reduziert.

7.2.2 Windanströmung aus Süden (180°)

Wie die Ergebnisse von Windmessungen dokumentieren, fungieren das Planungsgebiet und dessen Umfeld vor allem bei Winden aus südlichen Richtungssektoren als eine auf die Bebauung von Kassel zugerichtete Ventilationsbahn. Winde aus südlichen Richtungen treten während austauscharmer Wetterlagen, die bioklimatisch und lufthygienisch besonders bedeutsam sind, im Bereich ,Langes Feld' in ca. 22% der Stunden auf.

Ist-Zustand (Abbildungen 66 und 67):

Die **Abbildungen 66** und **67** zeigen für den Ist-Zustand das berechnete Windfeld der Höhenschichten 2.0 m ü.G. und 6 m ü.G.

Das ,Lange Feld' tritt deutlich als strömungsintensiver Bereich hervor. Nur vereinzelte Gehölzgruppen mindern kleinräumig die Windgeschwindigkeit.

Die Autobahn A 49, die wechselweise auf einem Damm und in einem Einschnitt geführt wird, verursacht eine nachhaltige Abschwächung der Luftaustauschbeziehungen zwischen Freiland und Bebauung.

Die im Modell noch berücksichtigte Bebauung von Niederzwehren zeigt sich aufgrund der relativ lockeren Bebauungsstruktur (vorwiegend durchgrünte Wohnbebauung) recht gut belüftet.

Plan-Zustand (Abbildungen 68 - 72):

Innerhalb des Planungsgebietes zeichnen sich wiederum die vorgesehenen Ventilationsachsen durch günstige Belüftungsverhältnisse aus. Zuströmende Luftmassen können über die internen Belüftungsbahnen in die Bebauung einströmen und somit an Sommertagen - vor allem nach Sonnenuntergang - zur bioklimatischen Entlastung beitragen. Dies wird durch die Darstellung der Windvektoren verdeutlicht. Unterstützt wird die Belüftungsintensität durch eine in Richtung der Grünzüge abgestaffelte Gebäudehöhe (siehe **Abbildung 7**).

Die Lee-Effekte des potenziellen Gewerbegebietes reichen max. 240 m nach Nordwesten.

Der als Kaltluftammel- und Kaltluftabflussbereich fungierende Hangeinschnitt „Beim alten Teich“ wird aufgrund der nach Südosten zurückversetzten Bebauung nur im oberen Hangbereich von den bebauungsbedingten Lee-Effekten überprägt.

7.2.3 Windanströmung aus Südsüdwesten (210°)

Als konstante Randbedingung wird im nachfolgenden Fall eine Luftströmung aus Südsüdwesten (210°) mit einer Geschwindigkeit von 2.0 m/s (10 m ü.G.) gewählt.

Wie **Abbildung 17** zeigt, treten während austauscharmer Wetterlagen an ca. 13% der Stunden Luftströmungen aus südsüdwestlichen Richtungen auf.

Ist-Zustand (Abbildungen 73 und 74):

Abbildungen 73 gibt das berechnete Windfeld in einer Höhe von 2.0 m ü.G. wieder.

Die Hochfläche des ‚Langen Feldes‘ tritt wiederum deutlich als intensiv ventilierte Fläche hervor.

Während innerhalb der Bebauung von Niederzwehren mittlere Windgeschwindigkeiten um ca. 1.0 m/s (2 m ü.G.) vorherrschen, werden im Bereich der Kuppe des ,Langes Feldes' mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 1.4 – 2.0 m/s berechnet. Nur im Bereich von Waldflächen und dichten Gehölzriegeln sind kleinräumige Geschwindigkeitsminderungen zu erkennen.

Auch in 6 m ü.G. (**Abbildung 74**) treten die Freiflächen im Planungsraum ,Langes Feld' als breitflächige Ventilationsbahn hervor.

Plan-Zustand (Abbildungen 75 - 79):

Bei südsüdwestlicher Anströmung bildet die bebauungsinterne ca. 50 m breite Grünzone eine wichtige Ventilationsachse. In diesem Teilbereich ergeben sich gegenüber dem Ist-Zustand keine größeren Windabschwächungen (siehe **Abbildungen 78** und **79**), so dass die Größenordnung der Ventilationsachse als ausreichend bewertet werden kann (Verhältnis Breite / Höhe der angrenzenden Bebauung = 5/1).

Positiv ist auch das übrige Netz von Frei- und Abstandsflächen zu bewerten. Es ermöglicht eine allseitige Umströmung der Baukörper, so dass der „Wärmeinselleffekt“ zusammen mit gezielten grünordnerischen Maßnahmen eng begrenzt werden kann.

Von den strömungsdynamischen Lee-Effekten (Windabschwächung) des geplanten Gewerbestandortes ist bei vorherrschenden Südsüdwestwinden keine Wohnbebauung betroffen.

7.3 Modellrechnungen zu thermischen/bioklimatischen Aspekten der Planung

Die Auswertung der ortsspezifischen Klimadaten belegt, dass die Freiflächen des ‚Langen Feldes‘ Teil eines stadtklimatisch bedeutsamen Ausgleichsraumes sind. Die über den Acker- und Wiesenflächen produzierte Kalt-/Frischlufte trägt zur Kaltluftströmung im Fuldataal bei (siehe Kapitel 6.1), die vor allem in der Kasseler Südstadt zu einer Intensivierung und Beschleunigung der abendlichen Abkühlung führt. Dies ist besonders an Sommertagen von großer bioklimatischer Bedeutung.

Wie bereits erwähnt, ist daher aus Sicht der Klimaökologie bei der baulichen Gestaltung eines Gewerbestandortes im ‚Langen Feld‘ entscheidend, dass der von der Bebauung ausgehende „Wärmeineffekt“ sowohl von seiner Intensität als auch von seiner räumlichen Ausdehnung möglichst eng begrenzt bleibt.

Zur beispielhaften Bewertung der geplanten Bebauung werden nachfolgend ausgewählte Situationen diskutiert, um daraus den Grad der potenziellen thermischen Zusatzbelastung im Planungsumfeld abzuleiten.

Bei den 3-dimensionalen Modellrechnungen (Modellgebiet – siehe **Abbildungen 80** und **81**) wird über die Berechnung des Windfeldes und des Strahlungshaushaltes der Einfluss von Bebauung, versiegelten Oberflächen und unterschiedlichen Vegetationsstrukturen auf die potenzielle Lufttemperatur (1.5 m ü.G.) für verschiedene Tageszeiten bestimmt.

Beim Plan-Zustand wurden mit Ausnahme der beiden Grünzüge alle Freiflächen als versiegelt (asphaltiert) vorgegeben.

7.3.1 Tagsituation (14:00 Uhr) – Windanströmung aus Südsüdwesten

Bei einem vorgegebenen Sommertag werden im Ist-Zustand (**Abbildung 82**) im Bereich des ‚Langen Feldes‘ Lufttemperaturen von ca. 27.6 – 28.2°C berechnet.

Durch die geplante Bebauung im ‚Langen Feld‘ (**Abbildung 83**) kommt es im Planungsgebiet zu einer flächenhaften Zunahme der Lufttemperatur um ca. 1.5 – 2.0°C. Innerhalb der geplanten Bebauung werden über versiegelten Flächen potenzielle Lufttemperaturmaxima von ca. 30.0 °C berechnet.

Im Bereich der bebauungsinternen Grünzüge, die zur Minderung der thermischen Zusatzbelastung im Planungsumfeld dienen, stellen sich in der Mittagszeit (14:00 Uhr) Lufttemperaturen von ca. 27.9 – 29.4 °C ein. Dies belegt, dass derartige bebauungsinterne Grünzüge auch am Tag eine thermische „Pufferwirkung“ haben.

Die Zunahme der potenziellen Lufttemperatur bleibt auf das nähere Planungsumfeld begrenzt (bis in eine Entfernung von ca. 150 – 300 m). Die Bebauung von Niederzwehren und der Siedlung Neue Mühle wird thermisch nicht zusätzlich belastet.

7.3.2 Nachtsituation (22:00 Uhr) – Windanströmung aus Südsüdwesten

Abbildungen 84 und 85: Die nächtliche Situation zeigt für den Ist-Zustand Im Planungsgebiet Lufttemperaturen zwischen ca. 16.6 und 17.4°C. Nur im Nahbereich von Bebauung und der Autobahn A 44 bewirkt die hohe Wärmekapazität einen verzögerten abendlichen Temperaturrückgang.

Nach Realisierung des vorgelegten Städtebaulichen Rahmenplans ist im Bereich ‚Langes Feld‘ mit einer flächenhaften Zunahme der Lufttemperatur um ca. 1.0 – 3.0 °C zu rechnen. Bei Winden aus südsüdwestlichen Richtungssektoren wird die „Warmluftfahne“ nach Nordnordosten verfrachtet. Das verbleibende thermische Gunstpotenzial reicht jedoch aus, um einen zusätzlichen Wärmeeintrag in die Bebauung Neue Mühle zu vermeiden.

Auch die Kaltluftproduktionsflächen im Bereich „Beim alten Teich“ werden nur in geringem Umfang überprägt.

In Niederzwehren ist mit keinen thermischen Zusatzbelastungen zu rechnen. Von dem neuen Wärmeband entlang der Erschließungsstraße zwischen AS Kassel-Niederzwehren und Gewerbegebiet gehen keine weiterreichenden Negativeffekte aus.

Bebauungsintern treten die Grünachsen (Wiesenflächen) vergleichsweise kühl hervor. Gegenüber den dicht bebauten und großflächig versiegelten Gewerbearealen werden um ca. 1.5 – 2.0 °C niedrigere potenzielle Lufttemperaturen simuliert.

7.3.3 Tagsituation (14:00 Uhr) – Windanströmung aus Süden

Abbildungen 86 und 87: Bei vorherrschenden Winden aus südlichen Richtungen ist die potenzielle Lufttemperaturverteilung im Ist-Zustand mit der Situation bei Südsüdwestwinden vergleichbar.

Im Plan-Zustand ist jedoch zu erkennen, dass die Breite des von SW nach NE orientierten Grünzugs (50 m) nicht ausreicht, um im zentralen Teilbereich eine Überlagerung der Wärmeauren von nördlich und südlich angrenzender Bebauung zu verhindern. Hier wäre eine Aufweitung auf mindestens 60 m notwendig. Die Temperaturverteilung im übrigen Planbereich entspricht weitgehend den Verhältnissen bei südsüdwestlicher Anströmung.

7.3.4 Nachtsituation (22:00 Uhr) – Windanströmung aus Süden

Abbildungen 88 und 89: Bei Winden aus südlichen Richtungen ergeben sich mit den Verhältnissen bei Südsüdwestwinden vergleichbare Temperaturverhältnisse. Auffallende Unterschiede ergeben sich nur im Lee des Planungsgebietes sowie entlang der bebauungsinternen 50 m breiten Grünachse.

Die Wärmeaura der geplanten Bebauung reicht bei nahezu frontaler Anströmung bis in den Bereich „Warteküppel“. Die vorgesehenen grünordnerischen Maßnahmen am Bebauungsrand reichen nicht aus, um die Warmluftfahne eng zu begrenzen.

Die bebauungsinterne Grünachse scheint bei südlicher bis südöstlicher Anströmung nicht ausreichend dimensioniert, um die Wärmeinsel „Gewerbegebiet“ wirksam zu gliedern. Die Schaffung eines nahezu durchgängigen Bandes mit Lufttemperaturen unter 17,5°C (wie bei vorherrschenden Südsüdwestwinden) ist nicht möglich. Hierzu wäre eine Aufweitung auf mind. 60 m notwendig.

8 Beurteilung der klimatischen Folgeerscheinungen durch den geplanten Gewerbestandort ,Langes Feld' und Planungsempfehlungen

Die Stadt Kassel beabsichtigt Planungsrecht für einen neuen Gewerbestandort im Süden von Kassel zu schaffen. Das potenzielle Planungsgebiet ,Langes Feld' ist jedoch im Regionalplan Nordhessen (2000) als Teil eines Regionalen Grünzugs sowie als Bereich (ca. 2/3 der Fläche) mit besonderer Klimafunktion¹⁵ ausgewiesen.

Während sich die klimaökologische Wirksamkeit innerstädtischer Grünflächen im Allgemeinen auf die Grünfläche selbst und deren unmittelbares Umfeld beschränkt, sollen Regionale Grünzüge und Grünzäsuren einen großräumigeren Luftmassenaustausch (Frisch- und Kaltluftzufuhr) zwischen Freiräumen und bebauten Gebieten bewirken. Derartige klimaökologische Ausgleichswirkungen sind jedoch nur dann zu erwarten, wenn die Regionalen Grünzüge und Grünzäsuren eine bestimmte Flächengröße nicht unterschreiten. So sind idealerweise für kaltluftproduzierende (Aktivwirkung) und kaltlufttransportierende (Passivwirkung) Grünflächen Mindestbreiten von ca. 400 - 500m zu sichern¹⁶.

Ziel dieser Sicherungsmaßnahmen ist der Erhalt der dauerhaften Funktionsfähigkeit des zusammenhängenden dynamischen Strömungssystems und der Ausgleichsleistungen (REGIERUNGSPRÄSIDIUM KASSEL 2006, S. 44).

Laut Regionalplan Nordhessen¹⁷ ist innerhalb von Gebieten mit besonderer Klimafunktion nur dann eine Bebauung möglich, wenn hierdurch keine nachteiligen erheblichen klimatischen Auswirkungen entstehen.

Wie **Abbildung 90** dokumentiert, sind im Raum Kassel ca. 30 Projekte in klimatischen Ausgleichsräumen angedacht, die rund 255 ha Freiraum (4% der hochwirksamen Kaltluftentstehungsfläche) beanspruchen.

¹⁵ Grundlage für die Bewertung ist ein Klimagutachten des ZRK (TARAXACUM 1999), das den Planungsraum als hochaktives bzw. aktives Kaltluftentstehungsgebiet bewertet, der über Flächen mit hohem Luftleitpotenzial in der Fuldaaue in Bezug zur Kasseler Innenstadt steht.

¹⁶ Vgl. Schriftenreihe „Raumordnung“ des **BUNDESMINISTERS FÜR RAUMORDNUNG, BAUWESEN UND STÄDTEBAU (1979)**: Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Bon. S. 63

¹⁷ **REGIERUNGSPRÄSIDIUM KASSEL (2006)**: Regionalplan Nordhessen – Anhörungs- und Offenlegungsentwurf.

Eine empfindliche großflächige Inanspruchnahme von siedlungsnahen Ausgleichsräumen (ca. 95 ha) geht allerdings vorwiegend vom Planungsraum ,Langes Feld' aus.

Das Büro ÖKOPLANA wurde daher vom Magistrat der Stadt Kassel beauftragt, die klimaökologischen Folgeerscheinungen des potenziellen Gewerbestandortes vertiefend zu untersuchen und zu bewerten.

Wie in Kap. 6 bereits erläutert, ist das vorgesehene Planungsgebiet (siehe **Abbildung 6**) Bestandteil des Freiraumgefüges zwischen der Autobahntrasse A 49 und der Fuldaaue.

Die vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen funktionieren als klimaökologische Ausgleichsräume, die sich aufgrund ihrer Ausdehnung, Lage und klimaökologischen Aktivwirkung (Kalt- und Frischluftproduktion) vorwiegend in der Fuldaaue östlich der Dennhäuser Straße und in Kassel-Niederzwehren (Wirkungsraum) positiv auswirken. Die Trasse der A 49 bewirkt bei den Austauschbeziehungen Freiland – Bebauung jedoch bereits wesentlich Störungseffekte. Neben der Hinderniswirkung ist hierbei auch der Eintrag von Kfz-bedingten Luftschadstoffen in die bodennahen Kaltluftschichten zu nennen, so dass nur bedingt von Frischluftzufuhr gesprochen werden kann.

In Richtung Rengershausen wird das Planungsgebiet durch die Trasse der A 44 vom südlichen Freiraum getrennt.

Aus Sicht der Klimaökologie ist für das Planungsgebiet und dessen Umfeld von großer Bedeutung, dass bei einer Flächennutzungsänderung die wesentlichen klimaökologischen Funktionsabläufe erhalten werden und die Möglichkeit zur Sicherung einer möglichst hohen klimaökologischen Qualität innerhalb der potenziellen Bebauung genutzt wird. Dies bedeutet, dass klimatisch bedeutsame Teilbereiche des Planungsraums ,Langes Feld' weitgehend von Bebauung freigehalten werden müssen. Zudem ist zu beachten, dass bei der Planung innerhalb der Bebauung funktionsfähige Ventilations- bzw. Belüftungsbahnen ausgewiesen werden, die sowohl zur Sicherung eines wirksamen Kalt- und Frischluftpotenzials (klimaökologische Aktivwirkung) beitragen, als auch günstige bodennahe Luftaustauscheffekte (klimaökologische Passivwirkung) sichern.

Das Büro PLANQUADRAT hat die wesentlichen klimaökologischen Belange bereits erkannt und im vorgelegten Städtebaulichen Rahmenplan (**Abbildung 6**) eingearbeitet.:

- Die bedeutsamen Kaltluftammel- und abflussbereiche in Richtung Fuldaue und Eselsgraben werden von Bebauung weitgehend freigehalten (vgl. **Abbildung 91**).
- Das Gewerbegebiet wird mit Hilfe von Flurgehölzen eingegrünt, die – wo möglich – an bestehende Gehölzstrukturen angebunden werden.
- Ein Teil bisheriger Ackerflächen nördlich des geplanten Gewerbegebietes und entlang der Hangzone zum Eselsgraben werden in Extensivgrünland umgewandelt.
- Im Südosten ist eine Ergänzung des Waldrandbereiches vorgesehen.

Die o.a. grünordnerischen Maßnahmen erhöhen flächenbezogen die Kalt-/Frischlufftproduktion und Luftschadstoffsedimentation.

- Das Gewerbegebiet wird mit Hilfe interner Ventilations-/Grünachsen gegliedert. So ist bspw. in SW-NE-Richtung eine zentrale ca. 50 m breite Grünachse geplant, die die Durchlüftung sowie die Gestaltung eines möglichst günstigen Eigenklimas im Gewerbegebiet sichern soll.
- Die Haupteerschließungsstraßen sind derart konzipiert, dass beiderseitige Baumpflanzungen möglich werden → Beschattung des Straßenzugs, Luftschadstoffsedimentation.
- Die Erschließung des Gewerbebestandes ,Langes Feld' erfolgt über eine Erschließungsvariante, die eine möglichst geringe Flächeninanspruchnahme besitzt.

Die o.a. Maßnahmen tragen zur Reduzierung des von der Bebauung ausgehenden „Wärmeinseleffektes“ bei. Die Überlagerung kaltluftproduzierender Flächen durch die „Wärmeaura“ der Bebauung wird wirksam gemindert.

Zielvorstellungen zur langfristigen Sicherung des ,Langen Feldes' als siedlungsnahes Kaltluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebiet

Wie die vertiefenden Messungen und Modellrechnungen zeigen, setzen an klimaökologisch besonders relevanten Strahlungstagen nach Sonnenuntergang im Planungsgebiet vermehrt schwache Winde aus südlichen bis südwestlichen Richtungssektoren ein.

Über den Wiesen und Ackerflächen kommt es zu Kaltluftbildung. Im Kuppenbereich bleibt die vertikale Mächtigkeit durch den Kaltluftabfluss und die intensivere Ventilation allerdings im Allgemeinen auf wenige Meter (unter 5 m) begrenzt.

Die Kaltluftvolumenstromdichte beträgt auf der Hochfläche bei idealen Bedingungen für Kaltluftbildung (großräumig nahezu Windstille) kurz vor Sonnenaufgang max. $20 - 30 \text{ m}^3/(\text{m s})$.

In der NE-exponierten Hangzone entwickeln sich besonders im Hangeinschnitt des Gewanns „Beim alten Teich“ gerichtete Kaltluftströmungen. Während einer windschwachen Strahlungsnacht betrug die vertikale Mächtigkeit des Kaltluftabflusses ca. 5 m. Der thermische Abkühlungseffekte der bodennahen Kaltluft reichte bis ca. 30 m ü.G. Dies wird auch durch die Kaltluftsimulationen bestätigt.

Die nach Norden bis Nordosten ins Fuldataal abfließende Kaltluft wird in das Kaltluftgeschehen entlang der Fuldaaue miteinbezogen.

Entlang der Fulda entwickelt sich eine auf die Bebauung von Kassel zugerichtete Lokalströmung, die während örtlicher Messungen am 23.-24.09.2007 vertikale Mächtigkeiten von ca. 40 m erreicht. Herrscht allgemein nahezu Windstille vor, sind Kaltluftmächtigkeiten bis ca. 80 m möglich (→ Ergebnis der Kaltluftsimulationen). Die Kaltluftvolumenstromdichte beträgt dann ca. $35 - 40 \text{ m}^3/(\text{m s})$.

Aufgrund des geringen Gefälles neigt die Kaltluft im Bereich dicht gehölzüberstelter Flächen und am Autobahndamm der A 49 vermehrt zu Stagnation. Wie die durchgeführten Tracergas-Experimente belegen, bildet sich im bodennächsten Luftraum (unter 10 m ü.G.) im Laufe der Nacht zwischen Neue Mühle und A 49 ein „Kaltluftsee“ aus. Nur bei gleichzeitig bodennah durchgreifenden regional bzw. überregional angelegten Höhenwinden, die zusätzliche Bewegungsimpulse auf die lokale bodennahe Kaltluft ausüben, kann die Kaltluft der Fuldaaue wirksam in die Bebauung verfrachtet werden. Die Bewegungsimpulse über den Kaltluftabfluss aus dem Freiraum ‚Langes Feld‘ sind zu gering.

Im Eselsgraben (im nordwestlichen Teilbereich des Planungsraums) bildet sich aus der örtlich entstehenden Kaltluft und der zuströmenden Hangkaltluft ebenfalls ein prägnanter gerichteter Kaltluftstrom (vertikale Mächtigkeit ca. 15 m), dessen klimaökologische Ausgleichswirkung auf die Bebauung von Niederzwehren durch die querende Trasse der A 49 jedoch stark minimiert wird.

Die Bebauung von Niederzwehren profitiert nur in begrenztem Umfang vom Kaltluftpotenzial des Freiraums ‚Langes Feld‘. In Niederzwehren bestimmen im Wesentlichen Kaltluftbewegungen aus der Hangzone zwischen Baunsberg und Brasselsberg die örtliche Situation.

Als Teil des siedlungsnahen Kaltlufteinzugsgebietes sind die vom Freiraum ‚Langes Feld‘ ausgehenden thermischen Positiveffekte für die bestehende Bebauung von Kassel langfristig zu sichern.

Dies kann nur durch den Erhalt ausreichend großer Kaltluftentstehungsgebiete und durch die Sicherung der wesentlichen Kaltluftabflussbahnen erreicht werden. Für derartige Strömungsleitbahnen (Kaltlufttransportgebiete) werden Breiten von mindestens 400 bis 500 m empfohlen (BMBAU 1979).

Planung: Der vorgesehene Gewerbestandort befindet sich auf der nahezu ebenen Hochfläche im südöstlichen Teilbereich des Planungsraumes ,Langes Feld' und umfasst ca. 27% (=95 ha) des Freiraums. Ca. 255 ha bleiben unverändert als Kaltluftproduktionsfläche bestehen.

Zwischen dem geplanten Gewerbegebiet und der Autobahn A 49 verbleibt dadurch ein strömungsrelevanter freier Geländequerschnitt von ca. 500 – 750 m, der den Hangeinschnitt entlang des Gewanns „Beim alten Teich“ umfasst.

Auch wesentliche Teilbereiche der Hangzone zum Eselsgraben werden nicht in Anspruch genommen.

Der Abstand zur nächstgelegenen Bebauung von Rengershausen beträgt ca. 850 m. Zur Wohnbebauung der Siedlung Neue Mühle beträgt der Abstand min. ca. 350 m (Am Sandgraben).

Zur klimaökologischen Aufwertung bestehender Freiflächen werden in Teilbereichen Ackerflächen zu Extensivgrünland entwickelt.

Beurteilung/Planungsempfehlungen: Wie die Ergebnisse der numerischen Modellrechnungen belegen, stellen sich nach Realisierung des Gewerbestandortes in Niederzwehren und Rengershausen keine nennenswerten kaltluftabflussbedingten kleinklimatischen Veränderungen ein.

Im Siedlungsbereich Neue Mühle ist mit einer leicht reduzierten Kaltluftzufuhr über die südwestliche Hangzone zu rechnen, das verbleibende Gunstpotenzial reicht jedoch aus, um nachhaltige bioklimatische Zusatzbelastungen (z.B. verzögerte nächtliche Abkühlung) zu vermeiden.

Im Bereich des Hangeinschnittes „Beim alten Teich“ wird die Kaltluftvolumenstromdichte stellenweise um ca. 30 – 65% verringert. Hierdurch wird im Fuldataal südlich der A 49 die Kaltluftvolumenstromdichte in Teilbereichen um ca. 6.5 – 10% reduziert.

Auch nördlich der A 49 ist in Richtung Innenstadt noch mit einer kleinräumigen Abschwächung des Kaltluftvolumenstroms zu rechnen. Im Bereich Am Sportzentrum sind anhand der Modellrechnungen gegenüber dem Ist-Zustand keine Veränderungen mehr zu verzeichnen.

Insgesamt kann demnach noch von keiner erheblichen Schwächung des siedlungsnahen Kaltluftströmungsgeschehens gesprochen werden. Die allgemein erforderlichen Mindestgrößen für Kaltluftströmungsleitbahnen werden in Richtung Niederzwehren und Rengershausen eingehalten. Der Abstand zur Bebauung „Am Sandgraben“ nicht ganz den empfohlenen Mindestwert von 400 m. Dies kann in diesem Teilbereich aber aufgrund der geringen Bebauungsdichte (im Wohngebiet) aus klimaökologischer Sicht akzeptiert werden

Die im Rahmenkonzept vorgeschlagenen grünordnerischen Ausgleichsmaßnahmen sind aus Sicht der Klimaökologie zu begrüßen. Durch die Umwandlung von Ackerflächen in Extensivgrünland wird eine intensive Kaltluftbildung auch über den Zeitpunkt der Ernte (meist August/September) hinaus erreicht.

Auch die Pflanzung von Gehölzen/Hecken unmittelbar entlang des Gewerbegebietes ist positiv zu bewerten. Da sich die Flächen in unmittelbarer Lee-Lage zur Bebauung befinden, ergeben sich hieraus keinen weiteren gravierenden Strömungshindernisse.

Wie die Berechnungen zu den thermischen Aspekten der Planung dokumentieren, reicht bei südlicher Anströmung die Warmluftfahne des Gewerbegebietes bis in den Bereich Warteküppel. Zur Minimierung dieses Effektes sind möglichst umfangreiche bebauungsinterne Ausgleichsmaßnahmen zu ergreifen.

Zielvorstellungen für die Sicherung günstiger Ventilationsbedingungen im Planungsumfeld

Mit der baulichen Inanspruchnahme der Freiflächen im Planungsraum ‚Langes Feld‘ geht eine Erhöhung der Oberflächenrauigkeit einher. Es erfolgt eine Einschränkung der ortsspezifischen Durchlüftungssituation, die nachteilig auf die bioklimatischen und lufthygienischen Verhältnisse in der umgebenden Bebauung sein kann.

Wie Windmessungen des DWD (1982) belegen, stellt sich der Planungsraum hinsichtlich der Ventilationsverhältnisse recht günstig dar.

Während austauscharmer Wetterlagen werden am Warteküppel ähnlich hohe Windgeschwindigkeiten gemessen wie am Herkules (520 m ü. NN) und im Freiraumgefüge südlich von Heckershausen, wobei südsüdwestliche bis südsüdöstliche und nördliche Windrichtungen überwiegen.

Gegenüber der innenstadtnahen Karlsaue werden auf der Hochfläche im Mittel um ca. 50% höhere Windgeschwindigkeiten registriert.

Aus Sicht der Klimaökologie sind die hieraus sich ergebenden Ventilationseffekte für die angrenzende Bebauung langfristig zu sichern. D.h. die Bebauung ist räumlich derart anzuordnen, dass für die benachbarte Wohnbebauung möglichst keine zusätzlichen strömungsdynamischen Negativeffekte zu erwarten sind.

Planung: Zwischen dem potenziellen Gewerbestandort ,Langes Feld' und der benachbarten Wohnbebauung von Niederzwehren, Rengershausen und Neue Mühle verbleiben großzügige Abstandsflächen von ca. 350 – 850 m.

Beurteilung/Planungsempfehlungen: Wie die Ergebnisse der numerischen Modellrechnungen zu strömungsdynamischen Aspekten belegen (Kap. 7.2), ist im Lee der potenziellen Bebauung bei Gebäudehöhen von 10 m bis in eine Entfernung von ca. 200 – 240 m mit einer Beeinträchtigung der bodennahen Ventilation zu rechnen. D.h. die strömungsdynamischen Verhältnisse werden in der bestehenden Bebauung nicht nachhaltig modifiziert.

Auch entlang der Autobahn A 49 sind keine wesentlich veränderten Ausbreitungsbedingungen zu erwarten.

In Teilbereichen der Autobahn A 44 (neue Anschlussstelle ,Langes Feld') kann es bei Winden aus nördlichen Richtungssektoren zu einer Beeinflussung der lokalen Luftschadstoffausbreitung kommen. Eine nennenswerte Zusatzbelastung für Rengershausen ist hieraus jedoch nicht abzuleiten. Hierzu ist der Abstand (ca. 850 m) zu groß.

Zielvorstellungen für die Ausgestaltung bebauungsinterner Ventilationsbahnen

Bei der Entwicklung von Nutzungsschablonen für die baulichen Gestaltung des Gewerbegebietes ist bedeutsam, dass der von der Bebauung ausgehende „Wärmeinseleffekt“ sowohl von seiner Intensität als auch von seiner räumlichen Ausdehnung möglichst gering bzw. eng begrenzt bleibt. Bei Entwicklung einer ausgeprägten „Wärmeinsel“ wird die zuströmende und örtlich gebildete Kaltluft turbulent mit wärmeren Luftmassen darüber liegender Luftschichten durchmischt, so dass die Lokal- und Regionalströmungen an horizontaler Strömungsgeschwindigkeit verlieren.

Zur Vermeidung o.a. Negativeffekte ist eine Bebauung derart anzuordnen, dass möglichst großzügige, netzartig angelegte Ventilations- und Belüftungsbahnen das Gebiet gliedern. Zudem sollte an den Übergängen zum Freiland eine möglichst offene räumliche Verzahnung entwickeln werden.

Im Bereich derartiger Ventilationsachsen sollten Gehölzpflanzungen keine geschlossenen Querriegel bilden. Es sind locker gehölzüberstandene Wiesenflächen zu favorisieren.

Der freie Strömungsquerschnitt ist von der angrenzenden Gebäudeausformung abhängig, sollte jedoch bei zentralen Grünachsen eine Mindestbreite aufweisen, die dem 3- bis 4-fachen der Höhe benachbarter Gebäude entspricht.

Planung: Laut vorliegendem Städtebaulichen Rahmenplan soll das Gewerbegebiet mit Hilfe eines orthogonalen Erschließungsrasters räumlich gegliedert werden, das sich an dem vorhandenen SW-NE-orientierten Wege- und Flurstücksraster orientiert. Klimatische Negativeffekte, die aus der Überbauung der Freiflächen resultieren, sollen mit Hilfe interner Ventilations-/Grünachsen und grünordnerischer Maßnahmen weitgehend aufgefangen werden.

So ist in SW-NE-Richtung eine zentrale ca. 50 m breite Grünachse geplant. Eine weitere großzügige Grünachse verläuft von Südosten nach Nordwesten (Breite ca. 35 – 50 m).

Die Haupteerschließungsstraßen sind derart konzipiert, dass beiderseitige Baumpflanzungen möglich werden.

Beurteilung/Planungsempfehlungen: Wie die mikroskaligen Modellrechnungen dokumentieren (Kap. 7.3) sind die bebauungsinternen Ventilationsbahnen insgesamt derart dimensioniert, dass sich im weiteren Umfeld der Bebauung keine gravierenden klimaökologischen Negativeffekte (Windfeld, thermische Umgebungsbedingungen) einstellen werden.

Zur klimaökologischen Optimierung der Planung wäre jedoch eine Aufweitung der zentralen Grünachse von 50 auf 60 m zu empfehlen, um die klimaökologische Aktivwirkung der Grünflächen zu erhöhen.

Aus klimaökologischer Sicht wäre zudem nicht nur eine zur Haupteerschließungsachse und zur Grünachse hin abgestaffelte Gebäudehöhe vorteilhaft, sondern auch in Richtung des nördlichen Freiraumgefüges.

Zielvorstellungen zur Sicherung eines günstigen Eigenklimas innerhalb der geplanten Bebauung zur Reduzierung des „Wärmeinseleffektes“

Neben großzügigen Grünachsen sind zur Sicherung eines möglichst günstigen Eigenklimas auch auf den einzelnen Grundstücken sowie entlang der Erschließungsachsen thermische wirksame Ausgleichsmaßnahmen zu realisieren.

Planung: Der vorliegenden Planungsentwurf sieht die Überschilderung versiegelter Flächen (Erschließungsstraßen) durch Bäume vor. Zudem ist an Dachbegrünung gedacht (PLANQUADRAT 2005, S. 53).

Beurteilung/Planungsempfehlungen: Die vorgeschlagenen Ausgleichsmaßnahmen innerhalb des Planungsgebietes sind aus klimaökologischer Sicht zu begrüßen. So bewirken Dach- und/oder Fassadenbegrünungen folgende klimaökologischen Positiveffekte:

- Reduzierung der Luftschadstoffbelastung – insbesondere von Feinstaub – durch Erhöhung der schadstoffspezifischen Depositionsgeschwindigkeiten partikel- und gasförmiger Spurenstoffe.

Durch die geringere Aufheizung der Luft über begrünten Dächern ist die vertikale Auftriebsströmung und somit die Staubaufwirbelung geringer. Darüber hinaus bilden die Pflanzen einen Filter, in dem sich der in der Luft enthaltene Staub absetzt. Letzteres gilt vor allem für intensiv begrünte Dächer

- Dämpfung von Extremwerten der Oberflächentemperaturen
- Erhöhung der Wasserrückhaltefähigkeit nach Starkregen mit der dadurch bedingten Vermeidung von Abflussspitzen in der Kanalisation. Bei Extensivbegrünung beträgt der jährliche Wasserrückhalt im Mittel ca. 60% vom Niederschlag, bei Intensivbegrünung sogar bis 85%.

Langgestreckte Fassaden (Richtmaß ca. 30 m) sollten zudem durch Anpflanzung von Laubbäumen gliedernd gestaltet werden (→ Reduzierung der Aufheizung durch Schattenwurf).

Bei der Befestigung von Parkierungsflächen ist – wo möglich - die Verwendung von Rasengittersteinen zu empfehlen, da gegenüber Asphaltdecken die Aufheizung an heißen Sommertagen deutlich geringer ist.

Die Bedeutung einer möglichst geringen Aufheizung befestigter Oberflächen wird durch eine einfache Überlegung offenbar:

Die Luft ($0.001 \text{ J}/[\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}]$) hat eine um mehr als 2000-fache geringere Wärmekapazität als Baustoffe (z.B. Beton: $2.1 \text{ J}/[\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}]$). Um 1°C Temperaturänderung zu erzielen, muss bei vollständigem Wärmeübergang das 2000-fache Volumen Luft an der vergleichbaren Volumeneinheit Baustoff entlang geführt werden.

Zudem sind – wie im Rahmenkonzept bereits geplant - entlang der Erschließungsstraßen Baumpflanzungen vorzusehen, um am Tag über den Schattenwurf eine übermäßige Aufheizung des Straßenraumes zu verhindern.

Zielvorstellungen hinsichtlich der Gebäudeanordnung und den max. Gebäudehöhen

Unter Berücksichtigung der thermischen, lufthygienischen und ventilationsspezifischen Gegebenheiten empfiehlt sich eine Anordnung größerer Gewerbestrukturen im südlichen Teilbereich des Planungsgebietes, um vor allem am Nord- und Ostrand durch kleinteilige Strukturen eine möglichst offene räumliche Verzahnung mit dem Freiland zu ermöglichen. Die Gebäudehöhen sollten im Allgemeinen 12 m (3-geschossig) nicht überschreiten.

Planung: Das vorgelegte Planungskonzept weist noch keine konkreten Gebäudehöhen aus.

Beurteilung/Planungsempfehlungen: Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen, dass bei Gebäudehöhen um 10 m das vorgeschlagene Flächennutzungskonzept als klimaverträglich einzustufen ist. Werden in bestimmten Teilbereichen größere Gebäudehöhen (über 12 m) erforderlich, so sollte dies auf max. 20% der bebaubaren Fläche des Planungsgebietes unter Berücksichtigung eines Volumenausgleiches erfolgen. Dieser Massenausgleich kann derart vorgenommen werden, dass bei der vorgegebenen GRZ (0.8) bestimmte Gebäudeteile im Ausgleich niedriger gehalten werden als 12 m oder die GRZ im Maß des Volumenausgleichs reduziert wird.

Aus Sicht der Klimaökologie wurden bei der Entwicklung des vorgelegten Planungskonzeptes wesentliche klimaökologische Belange berücksichtigt. Eine weitere Minimierung klimaökologischer Negativeffekte kann durch die o.a. Planungsvorschläge erreicht werden. Zudem sollte geprüft werden, ob die Gewerbebebauung im Nordwesten (→ beginnender Kaltluftabflussbereich) zugunsten einer Ausdehnung der Bebauung im Südosten zurückgenommen werden kann. Die in **Abbildung 91** kenntlich gemachte Teilbebauung „sehr wichtiger“ Ausgleichspotenziale könnte damit minimiert werden.

Ausgleichsmaßnahmen im Bestand (z.B. Baumpflanzungen entlang der Frankfurter Straße) sind zwar zu begrüßen, sollten jedoch nicht als relevante Ausgleichsmaßnahme für die Beanspruchung klimatisch aktiver Freiflächen bewertet werden.

Da es für Fragen des Stadtklimas keine allgemeingültigen Grenz- oder Richtwerte gibt, muss darauf hingewiesen werden, dass die bauliche Inanspruchnahme von Regionalen Grünzügen grundsätzlich als kritisch zu bewerten ist. Auch vermeintlich geringe klimaökologische Beeinträchtigungen können in der Summenwirkung über Jahre hinweg nachhaltige Veränderungen im stadtklimatischen Wirkungsgefüge haben, die durch Modellrechnungen nur in begrenztem Umfang nachzuweisen sind. So wurde beispielsweise auch im Lossetal, das als Kaltlufttransportgebiet und Ventilationsbahn in Richtung Kasseler Stadtgebiet fungiert, bereits die Ausweisung eines Gewerbegebietes angedacht (im Regionalplan allerdings nicht enthalten).

Hält man aus Mangel an Standortalternativen am Gewerbestandort 'Langes Feld' fest, so bleibt daher unabdingbar, dass bei der Ansiedlung von Unternehmen die betriebliche Dynamik berücksichtigt wird. Eine Ausdehnung des Gewerbestandes über das Maß des vorgelegten Planungskonzeptes hinaus ist nicht zu empfehlen, um weitere und somit weiterreichende klimaökologische Negativeffekte zu vermeiden.

9 Lufthygiene

Im Rahmen des anstehenden Planungsverfahrens sind neben den klimatischen Verhältnissen auch die ortsspezifischen lufthygienischen Funktionsabläufe zu analysieren und die aus der vorgesehenen Planung resultierenden Folgeerscheinungen zu bewerten.

Zu beurteilen sind im Wesentlichen die Immissionszusatzbelastungen durch das veränderte Verkehrsaufkommen. Zum anderen sind Aussagen zum Ausbreitungsverhalten anlagenbezogener Luftschadstoffemissionen notwendig.

9.1 Verkehrsbedingte Immissionsbelastungen

Im vorliegenden Gutachten werden zunächst Immissionen berechnet, die vom Kfz-Verkehr ausgehen. Dabei finden die vorherrschende Luftschadstoffgrundbelastung und die örtlichen Ausbreitungsverhältnisse Berücksichtigung.

Entsprechend den Vorgaben der 22. BImSchV werden die Schadstoffe Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM_{10}) betrachtet. Benzol wird nicht in die Beurteilung miteinbezogen, da die Immissionsbelastung in den letzten Jahren durch den technischen Fortschritt deutlich gesunken ist und somit keine problematischen Immissionskonzentrationen zu erwarten sind.

Da die 23. BImSchV seit Juli 2004 außer Kraft gesetzt ist, ist die Beurteilung der Schadstoffkomponente Ruß rechtlich nicht mehr erforderlich. Ruß ist Bestandteil von PM_{10} und wird damit indirekt erfasst.

Als Beurteilungsgrundlagen werden die rechtlich geltenden Grenzwerte herangezogen.

9.1.1 Untersuchungsmethodik

Die Untersuchung hat zum Ziel, den Einfluss des modifizierten Verkehrsaufkommens auf das lokale Ausbreitungsverhalten relevanter Luftschadstoffe und die hieraus resultierenden Immissionsverhältnisse zu bestimmen.

Geprüft wurden die Immissionsbelastung entlang der vielbefahrenen Autobahnzufahrt Frankfurter Straße in Niederzwehren und entlang der Trasse zum geplanten Gewerbestandort ,Langes Feld'.

Zur Simulation der Schadstoffausbreitung in komplexer Bebauung wird die neueste Version des mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM 5 (EICHHORN 1998) unter der Benutzeroberfläche WinMISKAM Vers. 2.02c eingesetzt. Dieses prognostische Modell setzt sich im Wesentlichen aus drei Berechnungsteilen zusammen:

- Windmodell, Berechnung der Windströmung unter dem Einfluss der Bebauung
- Ausbreitungsmodell, Berechnung der Schadstoffausbreitung auf Basis des berechneten Windfeldes (36 Windrichtungen, 10°-Schritte)
- Statistikprogramm, Berechnung der Immissionswerte mit Hilfe einer Ausbreitungsklassenstatistik

Die Ausbreitungsmodellierung basiert auf der geprüften Ausbreitungsklassenstatistik (1990 – 1999) der Wetterwarte Kassel (**Abbildung 13**).

Zur Bestimmung der Schadstoffbelastung entlang der ansteigenden Verbindungsstrasse zwischen der AS Kassel-Niederzwehren und dem Gewerbestandort ,Langes Feld' wird das Screening-Modell MLuS 02 (Vers. 6.0)¹⁸ eingesetzt. Das Modell wird nach der VDI-Richtlinie 3782 Bl. 8 als Abschätzungsmodell für Straßenzüge empfohlen, die durch Gelände ohne oder mit lockerer Randbebauung führen.

MLuS 02 ist ein sogenanntes Regressionsmodell (Schätzverfahren) auf der Basis von Messwerten der Luftschadstoffkonzentrationen. Der Einsatz des Modells ist auf Fälle mit Fahrgeschwindigkeiten über 50 km/h und einen DTV-Wert von über 5.000 Kfz/24h beschränkt.

Zudem berechnet MLuS 02 nur bis zu einem Fahrbahnabstand bis 200 m die Schadstoffimmissionen.

¹⁸ Herausgeber des Modells: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN, KÖLN.

Ein Vergleich von Rechnungen nach MLuS 02 mit Messungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz hat gezeigt, dass die berechneten Jahresmittel ca. 1 – 30% über den Messwerten lagen. Eine Unterschätzung der Immissionsbelastung ist damit nicht gegeben (vgl. VDI-Richtlinie 3782 Bl. 8).

9.1.2 Verkehrsbedingte Luftschadstoffe und Bewertungsmaßstäbe

Zu den typischen kraftfahrzeugbedingten Schadstoffkomponenten zählen besonders Stickoxide (NO, NO₂) als Vorläufersubstanzen von Ozon und Feinstaub (PM₁₀).

Eine bedeutende Gruppe der Kfz-Schadstoffe stellen die **Stickoxide** dar. Sie entstehen im Wesentlichen durch Oxidation des Luftstickstoffs bei hohen Verbrennungstemperaturen und zum geringen Teil durch im Treibstoff vorhandene Stickstoffverbindungen. Stickoxide entstehen bevorzugt bei höherer thermischer Belastung, d.h. beim Beschleunigen und bei schneller Fahrweise.

Von den Motoren wird fast ausschließlich Stickstoffmonoxid ausgestoßen, woraus sich **Stickstoffdioxid** als Folgeprodukt durch Umwandlung mit Sauerstoff und Ozon bildet. Die Umwandlungsrate ist u.a. von den Wetterbedingungen und der Verweilzeit der Gase in der Atmosphäre abhängig. Da mit zunehmender Entfernung von der Fahrbahn die Verweildauer und somit die Umwandlungsrate von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid zunimmt, verringert sich die Konzentration von NO₂ nicht in dem Maße, wie es auf Grund des Verdünnungsvorganges im Luftraum zu erwarten wäre. Insgesamt ist die NO–NO₂-Umwandlung ein sehr komplexer Vorgang.

Neben direkten Wirkungen im näheren Fahrbahnbereich haben Stickoxide die Eigenschaft, mit Kohlenwasserstoffen bei starker Sonneneinstrahlung fotochemische Umwandlungen einzugehen. Bei diesem Prozess entstehen großräumig Ozon, freie Radikale, Aldehyde oder andere Kohlenwasserstoffe, die als fotochemischer Smog (Los Angeles Smog) bekannt geworden sind.

Durch Dreiwegekatalysatoren in PKW kann der Stickstoffmonoxidanteil im Abgas des einzelnen Fahrzeugs um über 90% gesenkt werden.

Klinische Kurzzeitstudien haben ergeben, dass Stickstoffdioxidkonzentrationen, die üblicherweise in der Außenluft gemessen werden, keine bzw. nur minimale Auswirkungen auf die Lunge oder andere Systeme haben. Allerdings kann Stickstoffdioxid in der Atemluft bei Allergikern die Effekte der Allergie auslösenden Substanzen verstärken. Deutlich höhere als üblicherweise vorhandene Konzentrationen lösen leichte entzündliche Reaktionen der Atemwege aus und zeigen Auswirkungen auf die Bronchien. Betroffen sind besonders Kinder und Jugendliche.

Da Stickstoffdioxid sich in belasteten Bereichen immer in einem Luftschadstoffgemisch befindet, ist die Wirkung zwar nicht direkt auf diese Verbindung allein zurückzuführen, Stickstoffdioxid kann aber als mess- und beurteilbare Schlüsselkomponente angesehen werden (vgl. STAATLICHES UMWELTAMT ITZEHOE 2006)

Eine weitere Schadstoffgruppe stellen die partikelförmigen Emissionen (**PM₁₀**) dar.

Bei der Untersuchung des Verkehrsanteils an den PM₁₀-Feinstaubimmissionen hat sich gezeigt, dass neben den Auspuffemissionen auch die Partikelfreisetzung in Folge der fahrzeuginduzierten Aufwirbelung eine wesentliche Rolle einnimmt. Die aufgewirbelten Partikel resultieren aus akkumuliertem Straßenstaub, der sich im Wesentlichen aus Abrieben (Reifen-, Bremsen-, Kupplungs-, Karosserie- und Straßenbelagsabrieb), aus Einträgen von straßennahen Bereichen (Bäume, Fußwege, Grünanlagen etc.) sowie saisonal auch durch Streueinträge durch den Winterdienst zusammensetzt (UMEG 2004).

Partikelbestandteile sind u.a. deshalb zu betrachten, weil es offenbar keine genaue Konzentrationsschwelle gibt, unter der sie als harmlos einzustufen sind. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass lungengängige Feinstaubpartikel (Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 10 µm) gesundheitsgefährdend sind und zu Erkrankungen der Atemwege führen können. Dabei hängen die Auswirkungen von der chemischen Zusammensetzung und den physikalischen Merkmalen der Partikel ab.

Die in Deutschland für den Einflussbereich von Straßen maßgebenden Grenzwerte werden in der 22. BImSchV (2002) – **Tabelle 2** – definiert, wobei für NO₂ bis 2010 sog. Toleranzmargen zu berücksichtigen sind.

Tabelle 2: Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffimmissionen nach 22.BImSchV (2002)

Luftschadstoff	Beurteilungswert	Zahlenwert in µg/m ³	
		Jahresmittel	Kurzzeitwert
NO ₂	Grenzwert 2007	46	230 (Stundenwert, max. 18 Überschreitungen/Jahr)
	Grenzwert ab 2010	40	200 (Stundenwert, max. 18 Überschreitungen/Jahr)
PM ₁₀	Grenzwert ab 2005	40	50 (Tagesmittel, max. 35 Überschreitungen/Jahr)

Die Bewertung der Immissionsbelastung orientiert sich an der Einstufung von Schadstoffimmissionen durch die LfU Baden-Württemberg (vgl. **Tabelle 3**).

Tabelle 3: Bewertung von Immissionen nach LfU Baden-Württemberg (1993)

Immissionen in % der jeweiligen Grenzwerte	Bewertung
bis 10%	sehr niedrige Konzentration
> 10% bis 25%	niedrige Konzentration
> 25% bis 50%	mittlere Konzentration
> 50% bis 75%	leicht erhöhte Konzentration
> 75% bis 90%	erhöhte Konzentration
> 90% bis 100%	hohe Konzentration
> 100% bis 110%	geringfügige Überschreitungen
> 110% bis 150%	deutliche Überschreitungen
> 150%	hohe Überschreitungen

9.1.3 Grundlagen

9.1.3.1 Grundbelastung durch Luftschadstoffe

Die Immission eines Luftschadstoffes im Nahbereich von Straßen setzt sich aus der großräumig vorhandenen Vorbelastung und der straßenverkehrsbedingten Zusatzbelastung zusammen. Die Vorbelastung entsteht durch Überlagerung von Immissionen aus Industrie, Hausbrand, nicht detailliert betrachtetem Nebenstraßenverkehr und weiter entfernt fließendem Verkehr sowie überregionalem Ferntransport von Schadstoffen.

Der jeweilige Anteil der unterschiedlichen Emissionsquellen an der Gesamtimmission kann dem Luftreinhalte- und Aktionsplan für den Ballungsraum Kassel (2006) entnommen werden:

NO₂: Verkehr 40 – 50%
Heizung 4 – 6%
Industrie 1 – 3%
Ferntransport 40%

PM₁₀: Verkehr 10 – 20%
Heizung 1 – 2%
Industrie 1%
Ferntransport 60 – 80%

Die Zusammenstellung zeigt, dass zwar ein Großteil der Schadstoffimmissionen über den Ferntransport in das Kasseler Becken eingetragen wird, der Anteil des Verkehrs jedoch ebenfalls von entscheidender Bedeutung ist.

Aktuelle Informationen über die Luftschadstoffbelastungen liegen durch die Messstationen des Landesmessnetzes Hessen im weiteren Umfeld des Untersuchungsgebietes vor.

An den Luftmessstationen in Kassel (Stationen Kassel-Fünffensterstraße und Kassel-Nord) wurden im Jahr 2006 folgende Messwerte registriert:

Tabelle 4: Jahresmittelwerte (JMW) 2006 an den Luftmessstationen Fünffensterstraße (aus: Luftreinhalte- und Aktionsplan für den Ballungsraum Kassel 2006)

Station	JMW NO ₂ [µg/m ³]	JMW PM ₁₀ [µg/m ³]
Fünffensterstraße	52	30
Kassel-Nord	33	24

Die Daten zeigen, dass in Kassel der NO₂-Jahresmittelwert im Nahbereich von Hauptverkehrsachsen (Station Fünffensterstraße) den ab dem Jahr 2010 geltenden Grenzwert von 40 µg/m³ überschreitet.

Der Jahresmittelgrenzwert für PM₁₀ wird hingegen eingehalten. Der Grenzwert wird an der Luftmessstation Fünffensterstraße zu 75% erreicht.

Kritischer ist die Situation bei der Kurzzeitkenngroße für PM₁₀. 2006 betrug die Überschreitungshäufigkeit beim Tagesmittelwert 34. Erlaubt sind maximal 35 Überschreitungen.

Für das Stadtgebiet von Kassel liegen neben den stationären Messergebnissen auch berechnete Immissionswerte vor. Diese wurden mit Hilfe von Modellrechnungen ermittelt (**Abbildungen 90 – 93**).

Entlang der Frankfurter Straße wurden am Standort 5 in Niederzwehren für das Jahresmittel 2003 NO₂-Immissionskonzentrationen zwischen 40 und 44 µg/m³ berechnet. Die PM₁₀-Belastung betrug im Jahresmittel zwischen 34 – 38 µg/m³. Die aufgelisteten Werte zeigen, dass im Planungsumfeld (Niederzwehren) an vielbefahrenen Hauptverkehrsachsen bereits mit recht hohen Immissionsbelastungen zu rechnen ist.

Die aufgelisteten Werte stellen die Gesamtbelastung dar. Zur Bildung der Hintergrundbelastung müssen daher die Beiträge der unmittelbar benachbarten Emissionsquellen abgezogen werden.

Laut einer Studie der HLUG (2006) beträgt die Hintergrundbelastung entlang der Frankfurter Straße (Frankfurter Straße 247) bei NO₂ ca. 30.6 µg/m³. Für PM₁₀ werden Werte um 31.6 µg/m³ angegeben.

In Deutschland wird angestrebt, die Luftschadstoffemissionen mit Hilfe technischer Maßnahmen und politischer Vorgaben weiter zu reduzieren. Bis zum Prognosejahr 2010 ist daher damit zu rechnen, dass die großräumige Luftschadstoffbelastung weiter absinkt.

Abschätzungen nach MLuS 02 gehen davon aus, dass zwischen 2007 und 2010 die Jahresmittelwerte von NO₂ und PM₁₀ in Großstädten um ca. 5% sinken.

Die Abschätzung ist auf eine mittlere Situation in Deutschland bezogen, so dass je nach regionaler Entwicklung der Schadstoffemissionen die Emissionsentwicklung auch höher oder niedriger angesetzt werden muss. Eine Reduktion der o.a. Hintergrundbelastungswerte wird daher nicht vorgenommen.

9.1.3.2 Verkehrsaufkommen

Die dem Gutachten zu Grunde gelegten Verkehrsdaten für den Ist-Zustand (Nullfall) und den Plan-Zustand können dem Verkehrsgutachten des Planungsbüros BLANKE/AMBROSIUS (Anhang der Machbarkeitsstudie 'Langes Feld' - 2005) entnommen werden.

Wie in **Abbildung 9** dargestellt, soll die Erschließung des geplanten Gewerbestandortes über Anschlüsse an die Autobahnen A 49 und A 44 erfolgen.

Für den Gewerbestandort ergibt sich ein tägliches Zusatzverkehrsaufkommen von ca. 9.025 Kfz/24h jeweils im Ziel- und Quellverkehr. Dabei kann differenziert werden in:

- 5.430 PKW/24h im Berufsverkehr
- 995 PKW/24h im Kunden- und Besucherverkehr
- 2.600 Kfz/24h im Wirtschaftsverkehr → 50% LKW-Anteil

Für die angrenzenden Straßenverkehre ergeben sich hieraus folgende Zusatzverkehre:

- 7.220 Kfz/24h erreichen und verlassen das Gelände über die A 44 (= 40%)
- 7.220 Kfz/24h erreichen und verlassen das Gelände über die A 49 (=40%)
- 3.610 Kfz/24h erreichen und verlassen das Gelände über die Frankfurter Straße (=20%)

Das Hauptverkehrsaufkommen ist am Tag zwischen 06:00 und 18:00 Uhr zu erwarten (ca. 90%).

Laut Auskunft der Stadt Kassel ist entlang der Frankfurter Straße zwischen der AS Kassel-Niederzwehren und der Altenbaunaer Straße mit einem DTV-Wert von ca. 15.000 Kfz/24h zu rechnen, wobei ca. 3.500 Kfz/24h aus den angrenzenden Straßenzügen stammen. Der LKW-Anteil kann mit max. 10% angenommen werden.

Das Verkehrsaufkommen entlang der A 49 beträgt ca. 57.500 Kfz/24h (LKW-Anteil ca. 10%) und entlang der A 44 ca. 36.300 Kfz/24h (LKW-Anteil ca. 20%)¹⁹.

Die Verkehrszusatzbelastung entlang der Frankfurter Straße beträgt in Niederzwehren demnach ca. 24%, auf der A 49 ca. 13% und auf der A 44 ca. 20%.

9.1.3.3 Verkehrsbedingte Emissionen

Maßgeblicher Faktor für die Schadstoffimmissionen im Fahrbahnbereich ist die Schadstoffemission. Die Schadstoffemission ist proportional zum Verkehrsaufkommen und zu der spezifischen Emission je Kraftfahrzeug und zurückgelegter Wegstrecke. Diese spezifische Emission (Dimension g/km) hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab. Zu diesen Faktoren zählen u.a. die Fahrleistung der einzelnen Fahrzeugschichten (PKW, LKW etc.) auf dem untersuchten Streckenabschnitt, das Prognosejahr, die Fahrweise sowie spezielle Faktoren wie Anstieg, Gefälle und Kaltstart.

Auf Grundlage der vorgelegten Straßennetzbelastungen werden für das Bezugsjahr 2010 für den Ist- und Plan-Zustand in ausgewählten Streckenabschnitten die Kfz-spezifischen Schadstoffemissionen bestimmt.

Die mittleren spezifischen Emissionen der Kfz einer Fahrzeugkategorie (PKW, LKW etc.) werden anhand des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Vers. 2.1 (UMWELTBUNDESAMT 2004) ermittelt. Die PM₁₀-Emissionsbestimmung für Abrieb und Aufwirbelung erfolgt auf Grundlage aktueller Forschungsvorhaben (DÜRING et. al 2004).

¹⁹ Die Daten sind der Verkehrsmengenkarte (Ausschnitt ASV Kassel) des HESS. LANDESAMTES FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN entnommen und stellen die Verkehrsbelastung im Jahr 2005 dar.

Wie bereits o.a., beeinflusst die straßenspezifische Fahrweise in erheblichem Umfang die Emissionen.

Zur Bestimmung der Emissionen werden den betrachteten Straßenzügen Fahr-
muster zugeordnet. Die **Tabellen 5 und 6** dokumentieren die von den Fahr-
mustern abhängigen Emissionsfaktoren. Anhand des Vergleichs zwischen dem Jahr
2003 und dem Bezugsjahr 2010 wird der technische Fortschritt bei der Kfz-
spezifischen Emissionsminderung deutlich.

Tabelle 5: Emissionsfaktoren in mg/km je Kfz – Bezugsjahr 2003 / 2010

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [mg/km]							
Verkehrssituation (Kürzel)*	Längs- neigung	NOx		Feinstaub- PM ₁₀ (Abgas)		NOx		Feinstaub- PM ₁₀ (Abgas)	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
		Analyse 2003				Prognose 2010			
AB 100	+/-0%	380	7 020	15,0	143	237	3 990	10,2	74
AB 80	+/-0%	311	7 000	12,0	150	205	4 090	8,5	76
AB 80 2	+/-2%	327	7 520	13,1	150	214	4 440	9,2	69
AB 60	+/-0%	246	7 150	9,0	159	171	4 460	6,7	82
AB 60 2	+/-2%	270	7 740	9,7	162	188	4 780	7,3	78
AOwieAB	+/-0%	503	6 420	15,1	136	255	3 740	10,6	67
AOwieAB 2	+/-2%	523	6 740	16,4	139	286	4 000	11,6	63
AO1	+/-0%	302	6 440	8,0	150	169	4 170	6,3	76
AO1 2	+/-2%	324	6 890	8,7	154	181	4 400	6,9	74
AO1 6	+/-6%	344	11 560	16,9	234	203	7 130	11,2	104
AO3	+/-0%	308	6 940	10,5	164	180	4 830	7,3	87
HVS1	+/-0%	336	7 500	11,5	200	196	5 060	8,4	101
HVS1 2	+/-2%	349	8 030	12,2	208	208	5 310	8,9	103
HVS1 6	+/-6%	416	12 920	18,2	314	237	8 060	13,2	139
HVS3	+/-0%	351	10 310	10,6	325	196	7 070	8,4	162
HVS3 2	+/-2%	338	10 740	11,2	330	194	7 280	8,8	164
HVS3 4	+/-4%	408	11 980	13,6	351	235	7 910	10,7	168
HVS4	+/-0%	364	12 170	10,8	422	207	8 380	8,8	210
HVS4 2	+/-2%	347	12 530	11,4	423	202	8 580	9,2	209
HVS4+2	+2%	402	16 910	13,4	516	235	11 460	10,7	249
HVS4-2	-2%	292	8 150	9,4	329	170	5 700	7,6	170
HVS4 4	+/-4%	420	13 560	13,7	439	246	9 140	11,0	214
Kern	+/-0%	399	12 510	12,2	490	224	8 730	9,1	241
Kern 2	+/-2%	379	12 950	12,7	492	216	8 990	9,4	243
Kern 4	+/-4%	467	14 240	14,6	510	261	9 770	10,8	250
LSA1	+/-0%	351	10 310	10,6	325	196	7 070	8,4	162
LSA1 2	+/-2%	338	10 740	11,2	330	194	7 280	8,8	164
LSA3	+/-0%	387	12 480	11,7	478	218	8 690	9,0	236
LSA3 2	+/-2%	369	12 900	12,2	480	212	8 940	9,4	237
LSA3 4	+/-4%	452	14 140	14,3	497	256	9 670	10,9	244
NS D	+/-0%	532	13 680	17,6	554	336	9 670	15,1	270
NS D 2	+/-2%	511	14 120	18,1	555	326	9 940	15,5	271
NS D 4	+/-4%	598	15 370	20,3	572	363	10 730	17,3	277
NS D 6	+/-6%	678	17 290	23,1	614	429	11 940	19,5	296
NS L	+/-0%	412	12 170	13,0	422	234	8 380	10,8	210
NS L 4	+/-4%	469	13 560	15,8	439	273	9 140	13,0	214
HVS4 S (Stauanteil)	+/-0%	429	13 130	13,8	507	276	9 230	11,0	248
Kern S (Stauanteil)	+/-0%	459	13 420	14,9	565	290	9 530	11,3	275
LSA1 S (Stauanteil)	+/-0%	418	11 550	13,6	425	266	8 120	10,7	207
LSA1 2 S (Stauanteil)	+/-2%	408	11 920	14,0	429	264	8 300	11,1	209
LSA3 S (Stauanteil)	+/-0%	449	13 400	14,5	554	285	9 490	11,2	270
Tempo30	+/-0%	327	10 950	5,4	211	186	7 540	4,4	105
Tempo30 2	+/-2%	312	11 280	5,7	211	182	7 720	4,6	105

Tabelle 6: Nicht auspuffbedingte PM₁₀-Emissionsfaktoren in mg/km je Kfz

Verkehrssituation (nach HBEFA)	Tempolimit [km/h]	Anteil Konstantfahrt (nach HBEFA) [%]	Standanteil (nach HBEFA) [%]	Emissionsfaktor für Feinstaub-PM ₁₀ -Ab/Auf je Kfz [mg/km]		
				PKW	inkl. INFz	LKW
Autobahn						
AB>120	---				22	200
AB_120	120				22	200
AB_100	100				22	200
AB_80	80				22	200
AB_60	60				22	200
AB_Bau1	80				22	200
AB_Bau2	80				22	200
AB_StGo	---				22	200
Außerortsstraßen						
AO1	100	60	1		22	200
AO2	100	53	1		22	200
AO3	100	28	1		22	200
Innerortsstraßen						
IO_HVS>50	60	46	1		22	200
HVS1	50	46	1		22	200
HVS2	50	52	1		30	300
HVS3	50	44	7		40	380
LSA1	50	44	7		40	380
HVS4	50	37	14		50	450
LSA2	50	32	20		60	600
LSA3	50	28	26		90	800
Kern	50	23	33		90	800
NS_D	50	32	5		90	800
NS_L	50	37	14		90	800
StGo	-	-	-		90	800

9.1.4 Immissionssituation entlang der Frankfurter Straße in Niederzwehren

Für den Bereich der Frankfurter Straße zwischen den Einmündungen Eckhardsborn und Ahrenfeld (**Abbildung 96**) wurden mit Hilfe des prognostischen Ausbreitungsmodells WinMISKAM orientierende kleinskalige Immissionsberechnungen durchgeführt.

Nach Angaben der Stadt Kassel ist im Bezugsjahr 2010 auf diesem Straßenabschnitt im Ist-Zustand mit einer max. Verkehrsbelastung von ca. 15.000 Kfz/24h zu rechnen. Der LKW-Anteil kann mit 10% angenommen werden.

Im Bereich der angrenzenden Straßenzüge zwischen AS Kassel-Niederzwehren und Altenbaunaer Straße ist insgesamt mit einem Verkehrsaufkommen von ca. 3.500 Kfz/24h zu rechnen (vgl. Kap. 9.1.3.2).

Im Zuge der Berechnungen wurde dieses Kfz-Aufkommen im betrachteten Untersuchungsgebiet wie folgt aufgeteilt:

- Am Schützenhof: 850 Kfz/24h (2% LKW-Anteil)
- Dittershäuser Straße: 950 Kfz/24h (10% LKW-Anteil)
- Ahrenfeld: 750 Kfz/24h (2% LKW-Anteil)
- Hopfengarten: 400 Kfz/24h (2% LKW-Anteil)
- Eckardsborn: 200 Kfz/24h (2% LKW-Anteil)
- Windenfeld: 200 Kfz/24h (2% LKW-Anteil)

Die zu Grunde gelegten Fahrmuster sind der **Abbildung 97** zu entnehmen.

9.1.4.1 Stickstoffdioxid (NO₂)

Ist-Zustand - Abbildung 98: Bei der Beurteilung der Immissionssituation durch NO₂ ist die zu erwartende Hintergrundbelastung von 30.6 µg/m³ zu berücksichtigen. Die recht hohe Hintergrundbelastung dokumentiert, dass eine grundlegende Reduktion der Immissionsbelastung sich bei diesem Luftschadstoff nur mit einem allgemeinen Absinken der Grundbelastung einstellen kann.

Die Immissionsberechnungen zeigen, dass nur im unmittelbaren Fahrbahnbereich der Grenzwert für das NO₂-Jahresmittel knapp überschritten wird (max. ca. 42 µg/m³). Im Bereich der angrenzenden Wohnbebauung werden noch Jahresmittelwerte von ca. 37 – 39 µg/m³ erreicht. Der Grenzwert von 40 µg/m³ wird nur knapp unterschritten. Insgesamt liegt eine „hohe“ Konzentration vor.

In den Wohngebieten westlich und östlich der Frankfurter Straße werden NO₂-Jahresmittelwerte von unter 33 µg/m³ berechnet. Laut Bewertungsschema der LfU Baden-Württemberg liegen somit, bezogen auf den Grenzwert von 40 µg/m³, „erhöhte Konzentrationen“ vor.

Mit einer 18-maligen Überschreitung des Kurzzeitgrenzwertes von NO₂=200 µg/m³ (Stundenmittelwert für das Jahr 2010) ist nach überschlägigen Berechnungen mit dem Modell MLuS 02 ab einem Jahresmittelwert von ca. 40 µg/m³ zu rechnen.

Plan-Zustand – Abbildung 99: Im Planungsfall nimmt die NO₂-Immissionsbelastung durch den Verkehrsanstieg (+ 3.610 Kfz/24h) zu.

Im Bereich der unmittelbar an die Frankfurter Straße angrenzenden Wohnbebauung werden NO₂-Konzentrationen von knapp 40 µg/m³ simuliert. Der Grenzwert wird fast erreicht.

Die Wohnbebauung in den angrenzenden Straßenzügen wird nur geringem Umfang von Zusatzimmissionen beaufschlagt (ca. $1 - 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – siehe **Tabelle 7**. Grenzwertüberschreitungen sind hier durch den Zusatzverkehr aus dem Bereich ,Langes Feld' nicht zu erwarten.

Tabelle 7: NO_2 -Belastung in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an ausgewählten Messpunkten (s. **Abbildung 102**)

Messpunkt	Ist-Zustand	Plan-Zustand	Differenz
1	37.5	39.1	+ 4.1%
2	37.3	38.9	+ 4.2%
3	37.0	39.0	+ 5.1%
4	31.6	32.3	+ 2.2%

9.1.4.2 Feinstaub (PM_{10})

Ist-Zustand - Abbildung 100: Die Feinstaubbelastung im Bereich der Frankfurter Straße schwankt zwischen dem unmittelbaren Fahrbahnbereich und der angrenzenden Wohnbebauung im Jahresmittel zwischen ca. 33 und $35.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Grenzwert $40.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird sicher eingehalten. In den Wohngebieten westlich und östlich der Frankfurter Straße werden Feinstaubbelastungen von ca. $32.0 - 32.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet.

Zur Ermittlung der in der 22. BImSchV definierten Anzahl von Überschreitungen eines Tagesmittelwertes der PM_{10} -Belastungen von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kann auf Erkenntnisse einer Studie von DÜRING ET AL. (2004) zurückgegriffen werden. Anhand von Messdaten der Luftmessstationen der Länder und des Umweltbundesamtes wurden umfangreiche statistische Analysen durchgeführt. Im statistischen Mittel besteht demnach bei einem PM_{10} -Jahresmittel von $31 - 33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die Tendenz, dass der PM_{10} -Kurzzeitgrenzwert (>35 mal $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – Tagesmittel) überschritten wird. In Planungsumfeld wird dieser Wert bereits durch die Hintergrundbelastung erreicht.

Plan-Zustand – Abbildung 101: Im Planungsfall nimmt auch die PM_{10} -Immissionsbelastung durch den Verkehrsanstieg erwartungsgemäß zu.

Der prognostizierte Verkehrsanstieg um ca. 3.610 Kfz/24h führt im Bereich der unmittelbar angrenzenden Wohnbebauung zu einem Anstieg der PM_{10} -Werte auf Werte bis ca. $34.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Grenzwert für das Jahresmittel wird demnach allerdings noch sicher eingehalten (siehe **Tabelle 8**).

Tabelle 8: PM_{10} -Belastung in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an ausgewählten Messpunkten (s. **Abbildung 102**)

Messpunkt	Ist-Zustand	Plan-Zustand	Differenz
1	34.30	34.65	+ 1.1%
2	34.30	34.50	+ 0.6%
3	34.20	34.45	+ 0.8%
4	32.40	32.45	+ 0.2%

9.1.4 Immissionssituation entlang der Erschließungsstraße zwischen der AS Kassel-Niederzwehren und dem Gewerbebestandort

Der Planungsraum ‚Langes Feld‘ kann aufgrund der bislang geringen Verkehrsfrequenz auf den Feldwegen als „Frischluchtquelle“ bzw. Emissionsenke für das Kasseler Stadtgebiet betrachtet werden. Dies wird auch durch die dargestellte Immissionsverteilung in den **Abbildungen 93** und **95** deutlich.

Nicht nur durch das geplante Gewerbegebiet (ca. 95 ha) geht lufthygienisches Ausgleichspotenzial verloren, sondern auch durch die notwendige Verkehrerschließung. Wie der Machbarkeitsstudie zu entnehmen ist, ergibt sich auf der Strecke zwischen der AS Kassel-Niederzwehren und dem Gewerbebestandort ein Verkehrsaufkommen von ca. 10.830 Kfz/24h (ca. 15% LKW-Anteil).

Die hieraus resultierende Zusatzbelastung durch Luftschadstoffe kann der nachfolgenden **Tabelle 9** entnommen werden.

Tabelle 9: Immissionszusatzbelastung entlang der geplanten Erschließungsstraße zwischen AS Kassel-Niederzwehren und dem Gewerbestandort 'Langes Feld'

Prognosejahr: 2010, DTV (Werktagswert): 10.830 Kfz/24h, Lkw-Anteil (>3,5 t): 15%
Straßenkategorie: AO, guter Ausbaugrad, gleichm. Kurvig, Anzahl Fahrstreifen: 2
Längsneigungsklasse: durchschnittlich +/-2%
Windgeschwindigkeit: 2,5 m/s

Zusatzbelastung – Jahresmittel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

s [m]	NO ₂	PM ₁₀
	JM-Z	JM-Z
0,0	11,65	1,729
10,0	9,51	1,041
20,0	8,80	0,855
30,0	8,15	0,744
40,0	7,27	0,663
50,0	6,59	0,601
60,0	6,02	0,549
70,0	5,54	0,506
80,0	5,13	0,468
90,0	4,76	0,434
100,0	4,43	0,404
110,0	4,14	0,377
120,0	3,87	0,353
130,0	3,62	0,330
140,0	3,38	0,309
150,0	3,17	0,289
160,0	2,97	0,271
170,0	2,78	0,253
180,0	2,60	0,237
190,0	2,43	0,222
200,0	2,27	0,207

Die Ergebnisse zeigen, dass in dem berechneten Streifen entlang der Erschließungsstraße durchaus nicht unerheblich Luftschadstoffmengen emittiert werden. Beiderseits der Straße können bis in ca. 150 m Entfernung - bezüglich der Schadstoffkomponente NO₂ - im Jahresmittel Immissionen von mehr als 10% der in Kap. 9.1.4.1 angegebenen Grundbelastung von 30.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erwartet werden. Geht man von einer ca. 800 m langen Fahrtstrecke zwischen Gewerbestandort und AS Kassel-Niederzwehren mit einem beidseitig ca. 150 m breiten Streifen mit nicht unerheblicher Schadstoffzusatzbelastung aus, so geht durch die Erschließungsstraße weiteres lufthygienisches Ausgleichspotenzial in einer Größenordnung von ca. 24 ha verloren.

9.2 Anlagenbedingte Immissionsbelastungen

Zwischen dem geplanten Gewerbestandort ,Langes Feld' und der nächstgelegenen Wohnbebauung besteht ein Mindestabstand von ca. 350 m. Um bezüglich anlagenbezogener Immissionsbelastungen Konflikte zwischen Gewerbe- und Wohngebieten zu vermeiden, ist bei der Ansiedlung emittierender Betriebe grundsätzlich der sogenannte „Abstandserlass“²⁰ zu berücksichtigen. Es ist davon auszugehen, dass bei Einhaltung der im Abstandserlass vorgegebenen betriebsspezifischen Abstände Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen durch Luftverunreinigungen in den umliegenden Wohngebieten nicht entstehen.

Inwiefern die Abstandsflächen bzw. die Anordnung des Gewerbestandorts einen möglichst hohen Immissionsschutz im Bereich der nächstgelegenen Wohnbebauung gewährleisten, wird nachfolgend mit Hilfe beispielhafter Ausbreitungsrechnungen untersucht. Sie zeigen die bevorzugten Ausbreitungspfade auf.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Berechnungen nur einen ersten Hinweis für die Ausbreitungswege und die Abklingkurve der gas- bzw. partikelförmigen Immissionen geben. Detaillierte Ergebnisse, die einen direkten Vergleich mit Grenzwerten der TA-Luft ermöglichen, sind erst bei genauer Kenntnis der einzelnen Emissionsorte und Emissionsquellen möglich. D.h., im Gegensatz zu Lärm kann die Störeeigenschaft von Betrieben und Anlagen hinsichtlich der Luftschadstoffemissionen nicht generell, sondern nur anlagenspezifisch beurteilt werden.

Die Bestimmung der Immissionsbelastung durch potenzielle Luftschadstoffe aus dem Bereich der geplanten Industriegebiete erfolgt mittels Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft 2002.

Zum Einsatz kommt das Referenzprogramm AUSTAL 2000 unter der Benutzeroberfläche der Software WinAUSTAL 2000 Vers. 1.4.0.

Der Ausbreitungsrechnung wurde mit Hilfe der vorliegenden Ausbreitungsklassenstatistik des DWD (**Abbildung 13**) durchgeführt.

Das Reliefmodell wurde im Bereich in Richtung Fuldata/Dennhausen abgeflacht, da AUSTAL 2000 nur Geländesteigungen bis 1:5 berücksichtigen kann.

Für die Ausbreitungsrechnung wurde eine Schadgas- und Partikelemission (Stickoxid und Staubpartikel) in einer Höhe von 5 m ü.G. gewählt. Der Quellort wurde beispielhaft im nördlichen Teilbereich des Gewerbestandortes festgelegt.

²⁰ MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT NORDRHEIN-WESTFALEN (1998): Abstände zwischen Industrie- bzw. Gewerbegebieten und Wohngebieten im Rahmen der Bauleitplanung und sonstige für den Immissionsschutz bedeutsame Abstände (Abstandserlass).

Abbildung 103: Die räumliche Verteilung der relativen NO_x -Immissionskonzentration für einen Schadgasquellort (5 m ü.G.) im nördlichen Teilbereich des Gewerbestandortes ,Langes Feld' zeigt, dass die höchsten Werte im unmittelbaren Nahbereich zu erwarten sind. Durch die kuppenartige Lage kommt es im Allgemeinen zu einer recht intensiven Durchmischung der bodennahen Luftschichten. Im Bereich der nächstgelegenen Wohnbebauung Am Sandgraben werden im Vergleich zum Maximalwert noch relative Schadgaskonzentrationen von ca. 2 - 4% berechnet. Überträgt man die „Ausbreitungswolke“ auf den nordöstlichen Teilbereich des Gewerbestandortes, so ist Am Sandgraben eine relative Schadgaskonzentration von ca. 10 - 15% zu erwarten. In der Fuldaaue werden noch relative Schadgaskonzentrationen von ca. 1 – 3% berechnet.

In Niederzwehren ergibt sich je nach Quellort eine max. relative Schadgasbelastung zwischen ca. 2 und 10%.

Durch die meist vorherrschenden Winde aus südlichen Richtungssektoren werden die Schadgasemissionen im Allgemeinen bevorzugt in Richtung Norden abtransportiert. Bei Kaltluftsituationen ist davon auszugehen, dass beispielsweise Emissionen von Heizungsanlagen in das bodennahe Kaltluftsystem gelangen und in Richtung Fuldaaue abtransportiert werden. Hierdurch kann die Frischluftfunktion der Hangkaltluft reduziert werden.

In **Abbildung 104** ist das beispielhafte Ausbreitungsverhalten von partikelförmigen Emissionen (Staubniederschlag) dokumentiert. Auch hierbei ist zu erkennen, dass vergleichsweise hohe Immissionskonzentrationen auf das umliegende Freiland begrenzt bleiben, jedoch bei Kaltluftsituationen mit einem relevanten Schadstoffeintrag in den Kaltluftstrom der Hangzone zu rechnen ist.

9.3 Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen

Mit dem geplanten Gewerbestandort ,Langes Feld' im Süden von Kassel geht auch eine wechselnde Verkehrsfrequenz, ggf. eine Zusatzemission von Heizungsabgasen und durch die lokale Veränderung des Windfeldes ein modifiziertes Ausbreitungsverhalten von Luftschadstoffen einher.

Für das anstehende Planungsverfahren wurde daher die Erstellung eines Gutachtens erforderlich, das die verkehrsbedingten Immissionsverhältnisse aufzeigt und bewertet sowie bevorzugte Ausbreitungspfade anlagenbezogener Immissionen beschreibt.

Das Gutachten soll klären, ob das Planungsvorhaben zu einem erheblichen Anstieg der Luftschadstoffimmissionen führen kann.

Laut vorliegenden Studien ergibt sich durch das potenzielle Gewerbegebiet ein tägliches Zusatzverkehrsaufkommen von ca. 9.025 Kfz/24h jeweils im Ziel- und Quellverkehr. Für die angrenzenden Straßenverkehre ergeben sich hieraus folgende Zusatzverkehre:

- 7.220 Kfz/24h erreichen und verlassen das Gelände über die A 44 (= 40%)
- 7.220 Kfz/24h erreichen und verlassen das Gelände über die A 49 (=40%)
- 3.610 Kfz/24h erreichen und verlassen das Gelände über die Frankfurter Straße (=20%)

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen für einen Teilabschnitt der Frankfurter Straße in Niederzwehren dokumentieren, dass die NO₂-Immissionsbelastung entlang der angrenzenden Wohnbebauung bei vorliegender hoher Grundbelastung (30,6 µg/m³) mit Werten zwischen 37 und 39 µg/m³ bereits im Ist-Zustand relativ hoch ist (Bezugsjahr 2010). Dabei wurden allerdings emissionsmindernde Maßnahmen, wie sie im Luftreinhalte- und Aktionsplan für den Ballungsraum Kassel (2006) vorgeschlagen werden, nicht berücksichtigt. Im Plan-Zustand steigen die NO₂-Immissionen im Bereich der unmittelbar angrenzenden Wohnbebauung auf nahezu 40 µg/m³ an. Der Grenzwert wird nur knapp unterschritten.

Die Feinstaubbelastung im Bereich der Frankfurter Straße schwankt zwischen dem unmittelbaren Fahrbahnbereich und der angrenzenden Wohnbebauung im Ist-Zustand im Jahresmittel zwischen ca. 35.2 und 33 µg/m³. Der Grenzwert 40.0 µg/m³ wird sicher eingehalten. In den Wohngebieten westlich und östlich der Frankfurter Straße werden Feinstaubbelastungen von ca. 32.0 – 32.5 µg/m³ berechnet.

Im Plan-Zustand steigt die PM₁₀-Immissionsbelastung weiter an. Der prognostizierte Verkehrsanstieg um ca. 3.610 Kfz/24h führt im Bereich der unmittelbar angrenzenden Wohnbebauung zu einem Anstieg der PM₁₀-Werte auf Werte bis ca. 34.75 µg/m³. Der Grenzwert für das Jahresmittel wird demnach allerdings noch sicher eingehalten.

Zur Ermittlung der in der 22. BImSchV definierten Anzahl von Überschreitungen eines Tagesmittelwertes der PM₁₀-Belastungen von 50 µg/m³ kann auf Erkenntnisse einer Studie von DÜRING ET AL. (2004) zurückgegriffen werden. Anhand von Messdaten der Luftmessstationen der Länder und des Umweltbundesamtes wurden umfangreiche statistische Analysen durchgeführt. Im statistischen Mittel besteht demnach bei einem PM₁₀-Jahresmittel von 31 – 33 µg/m³ die Tendenz, dass der PM₁₀-Kurzzeitgrenzwert (>35 mal 50 µg/m³ – Tagesmittel) überschritten wird. In Planungsumfeld wird dieser Wert bereits durch die Hintergrundbelastung erreicht.

Der Planungsraum ,Langes Feld' fungiert im Ist-Zustand als Schladgassenke. Durch das planungsspezifische Verkehrsaufkommen und betriebliche Immissionen (z.B. Hausbrand) wird diese Funktion reduziert. Eine erhebliche lufthygienische Zusatzbelastung für das Stadtgebiet von Kassel ist aufgrund der hohen Hintergrundbelastung hieraus jedoch nicht abzuleiten.

Aufgrund des allgemeinen Ziels, die Immissionsraten im Ballungsraum Kassel zu reduzieren, müssen bei Realisierung der Planung relevante Maßnahmen zur Immissionsminderung ergriffen werden:

Grünordnerische Maßnahmen:

Entlang der Erschließungsstraße können Baum- und Strauchpflanzungen zur Minderung der Schadstoffausbreitung beitragen. Die Pflanzen bilden einen natürlichen Filter, in dem sich der in der Luft enthaltene Staub vermehrt absetzt.

Verkehrslenkende Maßnahmen:

Entlang der Frankfurter Straße sollte vor allem ein zusätzlicher Schwerlastverkehr vermieden werden. Hier sollte geprüft werden, inwiefern Durchfahrtsverbote für Schwerlastverkehre realisiert werden könnten.

Schwerlastverkehr in Richtung Gewerbegebiet sollte vorwiegend über die A 44 abgewickelt werden. Hier ergeben sich keine emissionsträchtigen Steigungen zum Gewerbegebiet.

Daneben ist ein attraktives ÖPNV-Angebot zu entwickeln, um den Berufsverkehr nachhaltig einschränken zu können.

Um anlagenbezogene Immissionszusatzbelastungen weitgehend zu vermeiden, sollte bei Gebäudeheizungen die Nutzung von Fernwärme geprüft werden. Die Nutzung von Solar- und /oder Photovoltaikanlagen sollte ebenfalls gefördert werden.

A. Burst
ÖKOPLANA

Literatur:

- AMBIMET (1992):** Numerische Simulation der Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge im Bereich Kassel während einer Strahlungsnacht. Hrsg.: Hessische Landesanstalt für Umwelt. Wiesbaden.
- AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1999):** Richtlinie 1999/30/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 22.04.1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.
- AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2000):** Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 16.11.2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft.
- 22. BImSchV (2002):** Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes – Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft. Bundesgesetzblatt.
- 23. BImSchV (1996):** Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes – Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten. Bundesgesetzblatt.
- 33. BImSchV (2004):** Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes – Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen. Bundesgesetzblatt.
- BRUSE, M. FLEER, H. (1998):** Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, Environmental Modelling & Software (13), S 272 – 384.
- BRUSE, M. (2002):** Envi-Met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.
- BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN (2005):** MLus-02 - Stand 2005, PC-Berechnungsverfahren zum Merkblatt über Luftverunreinigungen. Bergisch Gladbach.
- BRUSE, M. (2005):** Envi-Met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.
- BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN (2005):** MLuS-02 - Stand 2005, PC-Berechnungsverfahren zum Merkblatt über Luftverunreinigungen. Bergisch Gladbach.
- BMBAU, BUNDESMINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, BAUWESEN UND STÄDTEBAU (1979):** Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Schriftenreihe 06.032. Bonn.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1982):** Klimatologische Untersuchung zum Landschaftsplan Kassel. Teil 1. Windverhältnisse bei austauscharmen Wetterlagen. Offenbach a.M.

- DEUTSCHER WETTERDIENST (1982):** Meteorologisches Gutachten zur Frage der Frischluftzufuhr zwischen Kassel-Bettenhausen und Oberkaufungen im Bereich der Bundesautobahn BAB A 7, Überquerung Lossetal. Offenbach a.M.
- DTV-VERLAG (2004):** Umweltrecht. 16. Aufl. - Beck-Texte im dtv. München.
- DÜRING; I.; MOLDENHAUER, A.; STOCKHAUSE, M.; LOHMEYER, A. (2004):** Berechnung der Kfz-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen. Radebeul.
- EICHHORN, J. (1998):** MISKAM - Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Mainz.
- HÄCKEL H. (1993):** Meteorologie. 3. Aufl. Stuttgart.
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2001):** Umweltatlas Hessen. Wiesbaden.
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2006):** Ausbreitungsrechnungen mit dem RCG/CPB-Modell als Beitrag zur Ursachenanalyse im Ballungsraum Kassel. Wiesbaden.
- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1999):** Luftreinhalteplan Kassel. 1. Fortschreibung. Wiesbaden.
- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2005):** Luftreinhalte- und Aktionsplan für den Ballungsraum Kassel. Wiesbaden.
- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2007):** Klimaschutzkonzept Hessen 2012. Wiesbaden.
- HERGERT, T.; MOSIMANN, TH.; TRUTE, P.(1993):** Großmaßstäbige Klima- und Immissionsökologische Analyse und Prognose für die Bauleitplanung. Hannover.
- HÖSCHELE, K.(1984):** Lokale Luftaustauschprozesse. DMG-Mitt. 2/84. S. 25 - 34
- KATZSCHNER, L.; BECKRÖGE, W. (1998):** Darstellung der Immissionsbelastung unter Berücksichtigung stadtklimatischer Faktoren. In: UVP-Report 1/98. Hamm.
- KING, E. (1973):** Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten (Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 130, Band 17).
- MANG ET AL. (2000):** Wasserhaushalt begrünter Dächer. In: Dach + Grün. 1/2000.

METSOFT (2004): GlobDEM50

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT NORDRHEIN-WESTFALEN (1998): Abstände zwischen Industrie- bzw. Gewerbegebieten und Wohngebieten im Rahmen der Bauleitplanung und sonstige für den Immissionsschutz bedeutsame Abstände (Abstandserlass).

ÖKOPLANA (2006): Klima- und Luftschadstoffgutachten zum B-Plan der Stadt Kassel Nr. I/39 „Giesewiesen, 1. Änderung“. Ausweisung eines Sondergebietes Multifunktionshalle. Mannheim.

PLANQUADRAT DORTMUND (2005): Machbarkeitsstudie „Langes Feld“. Dortmund

REGIERUNGSPRÄSIDIUM KASSEL (2006): Regionalplan Nordhessen – Anhörungs- und Offenlegungsentwurf.

SCHÄDLER ET AL. (1994): Simulation of nocturnal drainage flows on personal computers. In: Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3, S. 167 - 171

SIEVERS, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Berichte des Deutschen Wetterdienstes. Nr. 227. Offenbach a.M.

STAATLICHES UMWELTAMT ITZEHOE (2006): Luftreinhalteplan Itzehoe. Itzehoe.

TARAXACUM (1999): Fortschreibung und vertiefende Klimauntersuchung (M 1:10.000) für den Raum des Zweckverbandes Kassel. Kassel.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Luftreinhalteplan Großraum Mannheim/Heidelberg 1995. Stuttgart.

UMWELTBUNDESAMT (2004): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1996): VDI 3787, Bl. 2. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. Düsseldorf.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2003): VDI 3787, Bl. 5. Lokale Kaltluft. Düsseldorf.

ZWECKVERBAND KASSEL (1990): Stadtklimauntersuchung Zweckverband Kassel – Wärmebildpläne. Aufnahmen durch Spacetec, Freiburg i. Br.

Der Anhang mit Abbildungen
befindet sich in einer
separaten Datei B Anhang