

ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

KLIMAGUTACHTEN ZUR GEPLANTEN ERWEITERUNG DES GEWERBEGEBIETES NORDOST – BEREICH „HERTELSBRUNNEN“ – IN KAISERSLAUTERN



Auftraggeber:



Stadt Kaiserslautern
Referat Umweltschutz
Rathaus Nord, Lauterstraße 2
67657 Kaiserslautern

Bearbeitet von:

Dipl.-Geogr. Achim Burst
Dr. Sonja Burst

Mannheim, den 23. Januar 2007

Inhalt	Seite	
1	Problemstellung	1
2	Untersuchungsmethoden und Standorte des Messstationen	4
3	Untersuchungszeitraum und Repräsentanz	5
4	Darstellung der Untersuchungsergebnisse	8
4.1	Strömungsgeschehen und Ventilation	8
4.1.1	Strömungsanalyse Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006 – alle Tage	9
4.1.2	Strömungsanalyse Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006 – Strahlungstage	12
4.2	Thermische Situation und Ventilation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen	17
4.2.1	Thermalbildaufnahmen	18
4.2.2	Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Wind- geschwindigkeit am 09.-10.10.2006	21
4.2.3	Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Wind- geschwindigkeit am 15.-16.12.2006	23
4.3	Kleinaerologische Messungen	24
4.3.1	Vertikalsondierungen am 09./10.10.2006	25
4.3.2	Vertikalsondierungen am 30./31.10.2006	28
4.4	Verteilung der Lufttemperatur nach Messfahrten	31
4.4.1	Temperaturmessfahrten am 09./10.10.2006	32
4.4.2	Temperaturmessfahrten am 30./31.10.2006	33
4.4.2	Verteilung der Lufttemperatur nach Messfahrten	31
5	Zusammenfassende Darstellung der klimaökologischen Funktionsabläufe	34
6	Planungsempfehlungen	37

7	Zusammenfassung	41
7.1	Untersuchungsmethodik	41
7.2	Klimaökologische Funktionsabläufe	41
7.3	Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung, Minimierung bzw. zum Ausgleich klimaökologischer Negativeffekte	43
8	Literaturverzeichnis	45

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Planungsgebiets im Bereich „Hertelsbrunnen“ – Auszuf aus dem Flächennutzungsplan 2010
- Abb. 2:** Luftaufnahme –Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“
- Abb. 3.1:** Standorte der Klimamessstationen
- Abb. 3.2:** Luftmessstation Kaiserslautern-Rathaus
- Abb. 4:** Vergleich der Windverhältnisse / langjähriges Mittel – Kurzzeitraum 2006
- Abb. 5.1:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittleren Geschwindigkeit. Zeitraum: 10.10. – 19.12.2006, alle Tage
- Abb. 5.2:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung. Zeitraum: 10.10. – 19.12.2006, alle Tage
- Abb. 6.1:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittleren Geschwindigkeit. Zeitraum: 10.10. – 19.12.2006, Strahlungstage
- Abb. 6.2:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung. Zeitraum: 10.10. – 19.12.2006, Strahlungstage
- Abb. 7.1 – 7.4:** Tageszeitenwindrosen nach Geschwindigkeitsstufen. Zeitraum: 10.10. – 19.12.2006, Strahlungstage
- Abb. 8.1:** Oberflächentemperatur nach Thermalbefliegung - Abend
- Abb. 8.2:** Oberflächentemperatur nach Thermalbefliegung - Morgen
- Abb. 9:** Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 09./10.10.2006
- Abb. 10:** Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 15./16.12.2006
- Abb. 11:** Standorte der Fesselballonaufstiege
- Abb. 12.1 - 12.5:** Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 09.10.2006
- Abb. 13:** Ergebnisse von Rauchschwadenbeobachtungen am 09./10.10.2006
- Abb. 14:** Rauchschwadenausbreitung am 09.10.2006, 23:55 Uhr am Standort „Parkplatz/Wartenberger Weg“
- Abb. 15:** Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 30./31.10.2006
- Abb. 16.1 - 16.3:** Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 30./31.10.2006

- Abb. 17:** Ergebnisse von Rauchschwadenbeobachtungen am 30./31.10.2006
- Abb. 18.1:** Isothermenkarte nach Messfahrten am 09.10.2006, 19:00 Uhr – 20:15 Uhr
- Abb. 18.2:** Isothermenkarte nach Messfahrten am 10.10.2006, 00:30 Uhr – 01:45 Uhr
- Abb. 19.1:** Isothermenkarte nach Messfahrten am 30.10.2006, 19:45 Uhr – 21:10 Uhr
- Abb. 19.2:** Isothermenkarte nach Messfahrten am 31.10.2006, 00:00 Uhr – 01:50 Uhr
- Abb. 20:** Klimatopkarte
- Abb. 21:** Klimafunktionskarte
- Abb. 22:** B-Planentwurf „Gewerbegebiet Nord-Ost, Erweiterung 2“, Teil A

KLIMAGUTACHTEN ZUR GEPLANTEN ERWEITERUNG DES GEWERBEGBIETES NORDOST – BEREICH „HERTELSBRUNNEN“ - IN KAISERSLAUTERN

1 Problemstellung

Im Nordosten von Kaiserslautern ist im Bereich des Gewanns *Hertelsbrunnen*, gemäß des Flächennutzungsplanes 2010, die bauliche Erweiterung des Gewerbegebietes Nordost beabsichtigt (**Abbildung 1**).

Der Flächennutzungsplan sieht im S-exponierten Hangbereich des Unteren Rotenbergs insgesamt drei Baufelder vor.

Wie die Luftaufnahme vom Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ zeigt (**Abbildung 2**), umfasst das Areal zwischen dem Bürokomplex des Unternehmens KEIPER GMBH & CO. am Hertelsbrunnenring, dem Gewann *Kandeläcker* und dem Hertelsbrunner Hof im Wesentlichen landwirtschaftlich genutzte Flächen. Nur entlang von Wegen (z.B. Wartenberger Weg) befinden sich dichtere Gehölzreihen.

Im Rahmen des anstehenden Planungsprozesses ist zu klären, welchen Einfluss eine mögliche Bebauung im B-Plangebiet auf das lokale Klimageschehen hat und mit welchen planerischen Maßnahmen klimaökologische Negativeffekte aufgefangen werden können.

Modifikationen der Siedlungsstruktur vollziehen sich über längere Zeiträume, punktförmig durch Einzelbauvorhaben (Verkehrsanlagen, Industrieanlagen, Gewerbe-/Wohnbebauung) sowie flächenhaft in den verschiedensten Teilbereichen der Siedlung/Stadt durch Neuerschließungen von Industrie-, Gewerbe- und Wohngebieten. Die klimatischen Negativeffekte dieser baulichen Einzelmaßnahmen oder schrittweisen Baugebietserweiterungen mögen bei isolierter Betrachtung vermeintlich weniger gravierend sein und deshalb in ihren Auswirkungen unterschätzt werden. In ihrer Summenwirkung beeinflussen sie jedoch ausgehend von den ortsspezifischen klimaökologischen Veränderungen in Teilbereichen über Wechselwirkungen die klimaökologische Situation in den Nachbarbereichen, so dass sich im Laufe der Zeit messbare und spürbare Veränderungen im ortsspezifischen Klimageschehen ergeben. Diese drücken sich in der thermischen Situation und im Ventilationsgeschehen aus.

Klimatische Nachteile, die durch zu massive Bebauung entstehen können, sind durch klimaökologische Ausgleichsmaßnahmen an anderer Stelle im Siedlungsgebiet nur bedingt auszugleichen.

Im Stadtgebiet von Kaiserslautern durchgeführte Klimauntersuchungen dokumentieren (STEINICKE & STREIFENEDER 1996), dass die vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Freiflächen des Planungsgebietes südlich der A 6 bei zu stadtklimatischer bzw. bioklimatischer Belastung neigenden Wetterlagen klimaökologische Positiveffekte bewirken.

Zum einen trägt die vegetationsbedeckte Hangzone des Hinteren Rotenbergs aktiv zur bodennahen Kaltluftbildung bei (→ thermische Gunstwirkung) und zum anderen fungiert sie bei häufig vorherrschenden Winden aus nordöstlichen und südwestlichen Richtungen passiv als Ventilationsbahn (→ bioklimatische/lufthygienische Gunstwirkung).

Mit der baulichen Inanspruchnahme weiterer Freiflächen im Hangbereich des Hinteren Rotenbergs wird eine Veränderung der ortsspezifischen klimatischen Verhältnisse einhergehen.

Zur qualitativen und quantitativen Bewertung der derzeitigen klimaökologischen Situation sowie zur Abschätzung des Einflusses der vorgesehenen Bebauung auf das kleinklimatische Wirkungsgefüge im Nordosten von Kaiserslautern sind ortsspezifische klimaökologische Grundlagendaten und Erkenntnisse erforderlich. Aus ihnen lassen sich klimaökologisch relevante bauliche und grünordnerische Planungsmaßnahmen ableiten, die dazu beitragen können, gravierende negative Folgeerscheinungen auf das örtliche Klimageschehen im Planungsumfeld auszuschließen bzw. weitestgehend zu reduzieren.

Wie bereits erwähnt, wurden im Stadtgebiet von Kaiserslautern bereits Klimauntersuchungen durchgeführt. Sie belegen zwar das Vorhandensein von kaltluftinduzierten Lokalströmungen, über deren Strömungsverhalten im Umfeld des Planungsgebietes liegen jedoch keine derart fachlich fundierten Erkenntnisse vor, die eine gesicherte Beurteilung der Planungsvorhaben ermöglichen.

Zur Behebung dieses Defizits soll durch vertiefende Untersuchungen geklärt werden, wie sich das Ventilationsgeschehen im Bereich des Planungsgebietes „Hertelsbrunnen“ bei den verschiedensten Wetterlagen im Tagesverlauf darstellt. Von besonderem Interesse sind die windschwachen, austauscharmen Wetterlagen, in deren Verlauf sich ausgeprägte Lokalklimaerscheinungen entwickeln. Neben der Auftretenshäufigkeit der dabei entstehenden Lokalströmungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld interessiert vor allem ihre vertikale Mächtigkeit sowie ihre Breite, Reichweite, Geschwindigkeit.

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 des bodennahen Strömungsgeschehens.
- Diskussion der kleinräumigen Wechselwirkungen zwischen siedlungsnahen Freiräumen und Bebauung und der zu erwartenden klimatischen Veränderungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld bei potenziellen baulichen Veränderungen.
- Empfehlung von Maßnahmen zur Sicherung günstiger klimatischer Umgebungsbedingungen.

Ziel des Gutachtens ist es:

- a) Vertiefende Grundlagendaten bzw. daraus abgeleitete Erkenntnisse zur Berücksichtigung klimaökologischer Belange in der Planung bereitzustellen,
- b) die sich mit zunehmender Bebauung möglicherweise einstellenden klimaökologischen Beeinträchtigungen aufzuzeigen und diese durch gezielte Planungsvorschläge zu reduzieren bzw. auf mögliche Ausgleichs- und Verbesserungsmaßnahmen innerhalb und außerhalb der geplanten Bebauung hinzuweisen.

Die klimaökologische Analyse ist wie folgt gegliedert:

- Beschreibung der Untersuchungsmethoden (Kap. 2)
- Repräsentativität des Untersuchungszeitraumes (Kap. 3)
- Detaillierte Beschreibung der klimaökologischen Funktionsabläufe im Untersuchungsgebiet (Kap. 4, 5)
- Planungsempfehlungen (Kap. 6)
- Zusammenfassung (Kap. 7)

2 Untersuchungsmethoden und Standorte der Messstationen

Zur Erfassung ausgewählter Klimaparameter wurden folgende Messverfahren angewandt:

- Im Untersuchungszeitraum Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006 registrierten 4 feste Klimamessstationen (**Abbildung 3.1**) kontinuierlich Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Die Stationen wurden unter Berücksichtigung der bestehenden und geplanten Flächennutzung eingerichtet, so dass sich für kleinräumige Teilbereiche des Planungsumfeldes Aussagen machen lassen. Zudem konnte auf Daten der Luftmessstation Kaiserslautern-Rathaus (Betrieb durch das Land Rheinland-Pfalz) zurückgegriffen werden (**Abbildung 3.2**).
- Mit Hilfe von kleinaerologischen Messungen (Fesselballonaufstiege und Rauchschwadenbeobachtungen) wurden Strömungsverlauf, Intensität und Mächtigkeit lokaler Kaltluftströmungen erfasst.
- Mit Hilfe von netzartig angelegten Messfahrten wurde die flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur als Indiz für die Wirkung bodennaher Kaltluft ermittelt. Das Untersuchungsgebiet umfasst dabei auch die Bebauung südlich der Mainzer Straße (L 395) und westlich des Baalborner Wegs.

Klimamessstationen:

- Station 1 Hertelsbrunnenring-Ost** [261 m ü. NN]
GK RW 3412870 / HW 5480650
Höhe des Windgebers 5 m ü.G.
Lufttemperatur 2.5 m ü.G.
Die Station befindet sich im Kreuzungsbereich Hertelsbrunnenring/Flickerstal und dient zur Analyse des Klimageschehens im bestehenden Gewerbegebiet Nordost.
- Station 2 Wartenberger Weg** [262 m ü. NN]
GK RW 3412550 / HW 5480750
Höhe des Windgebers 5 m ü.G.
Lufttemperatur 2.5 m ü.G.
Der Standort auf einem Firmenparkplatz westlich des Wartenberger Wegs dient zur Erfassung lokaler Kaltluftbewegungen aus der nördlich angrenzenden Hangzone.

Station 3 Hertelsbrunnenring-West [252 m ü. NN]

GK RW 3412100 / HW 5480310

Höhe des Windgebers 5 m ü.G.

Lufttemperatur 2.5 m ü.G.

Die Daten der Station Hertelsbrunnenring-West beschreiben die klimaökologischen Funktionsabläufe im Westen des Gewerbegebietes Nordost.

Station 4 Friedenstraße [255 m ü. NN]

GK RW 3412670 / HW 5480170

Höhe des Windgebers 5 m ü.G.

Lufttemperatur 2.5 m ü.G.

Die Station in der Friedenstraße beschreibt das Klimageschehen im Bereich der Wohnbebauung südlich der Mainzer Straße.

Luftmessstation Kaiserslautern-Rathaus

RW 3410570 / HW 5479630

Höhe des Windgebers 10 m ü.G.

Lufttemperatur 2.0 m ü.G.

*Die Messwerte der Luftmessstation Kaiserslautern-Rathaus beschreiben innerstädtische Verhältnisse. Die Windmessungen sind aufgrund der nahegelegenen Bäume (vgl. **Abbildung 3.2**) jedoch nur bedingt repräsentativ.*

3 Untersuchungszeitraum und Repräsentanz

Die vertiefende Klimauntersuchung basiert auf dem Datenmaterial des Messzeitraumes Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006. Klimaökologisch besonders relevante Sommertage ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) konnten daher nicht erfasst werden.

Wie aus Ergebnissen ganzjähriger Klimauntersuchungen zu entnehmen ist¹, entwickeln sich jedoch auch an Strahlungstagen in den Übergangsjahreszeiten und im Winter thermisch induzierte Lokalwindeffekte, so dass die Ergebnisse auch auf die wärmeren Sommermonate übertragbar sind.

Um die zeitliche Repräsentanz des Messzeitraumes beurteilen zu können, wurde u.a. die im Untersuchungszeitraum aufgetretene Häufigkeit der Windrichtung und mittleren Windgeschwindigkeit an der von Bebauung weitgehend ungestörten Station *Wartenberger Weg [2]* (Betrieb durch ÖKOPLANA) mit der eines lang-

¹ ÖKOPLANA (1999): Klimaökologische Analyse im Kernstadtgebiet von Marburg an der Lahn. Mannheim.

ÖKOPLANA (1993): Klimaökologische Analyse im Stadtgebiet Leonberg. Mannheim.

jährigen Messzeitraumes am Standort *DWD-Kaiserslautern* (Betrieb durch DWD)² verglichen.

Abbildung 4: Wie ein Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Windrichtung belegt, ergeben sich zwischen den beiden Zeiträumen keine gravierenden Unterschiede.

In beiden Messzeiträumen dominieren südwestliche bis westliche Luftströmungen. Als Sekundärmaximum treten nordöstliche bis östliche Windrichtungen hervor. Die Lage des Untersuchungsgebietes in der ungefähr W-E-verlaufenden Kaiserslauterer Senke macht sich deutlich bemerkbar (→ reliefbedingte Führungseffekte).

Auch hinsichtlich der Windgeschwindigkeitsverteilung zeigen sich vergleichbare Ergebnisse. In beiden Messzeiträumen überwiegen Schwachwinde unter 1.6 m/s. (54% langjähriges Mittel, 47% Kurzzeitraum 2006). Mittlere Windgeschwindigkeiten von über 3.0 m/s, die eine intensive Durchlüftung des Stadtgebietes ermöglichen, treten nur zu ca. 11% (langjähriges Mittel) bzw. zu ca. 16% (Kurzzeitraum 2006) auf.

Insgesamt zeigen sich zwischen den kurz- und langfristigen Windfeldaufzeichnungen keine gravierenden Unterschiede, so dass die Windmessungen des Kurzzeitraums auch für einen mehrjährigen Messzeitraum als repräsentativ bewertet werden können.

Tabelle 1: Der Verlauf der mittleren Lufttemperatur, der Niederschlagssumme und Sonnenscheindauer während des Untersuchungszeitraumes (Oktober - Dezember 2006) zeigt im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1951-1980) des Deutschen Wetterdienstes z.T. deutliche Abweichungen.

Der Monat Oktober war durch die mehrtägige Andauer zyklonaler Südwest- und Südostlagen sowie unter dem Einfluss einer Hochdruckbrücke über Mitteleuropa deutlich zu warm (+3.3 K)³ und zu feucht (214%). Windschwache Strahlungstage, die bevorzugt zur Ausbildung lokaler und regionaler Strömungssysteme führen, traten sowohl zwischen dem 08. und 10.10. als auch zwischen dem 28. und 31.10. auf. Die Sonnenscheindauer (94%) entsprach weitgehend dem langjährigen Mittel.

² Die Daten wurden dem „Klimaökologischen Begleitplan“ zum Flächennutzungsplan 2010 entnommen (STEINICKE & STREIFENEDER 1996).

³ Die Lufttemperaturdifferenz wird nicht in °C, sondern in K (Kelvin) angegeben.

Auch die Monate November und Dezember waren deutlich zu warm (+ 2.9 K bzw. + 3.6 K). Die hohen Temperaturwerte waren auf eine gewisse Gleichförmigkeit der Großwetterlagen zurückzuführen. Mit nur kurzer Unterbrechung herrschte hohe Druck über Südost- und mitunter auch über Osteuropa, während über dem östlichen Nordatlantik tiefer Druck dominierte. Zwischen beiden Steuerungszentren lag Südwestdeutschland in einer südwestlichen Luftströmung, mit der ungewöhnlich lang anhaltend warme Luft aus dem Mittelmeerraum zugeführt wurde. Da auch die Sonnenscheindauer ungewöhnlich hoch war, ergaben sich für die Erfassung lokaler Klimaeffekte recht günstige Bedingungen.

Table 1: Monatliche Mittelwerte und deren Abweichung vom langjährigen Mittel für die DWD-Station Saarbrücken/Ensheim - Oktober bis Dezember 2006.

Monat	Mitteltemperatur u. Abweichung in K		Niederschlag in mm u. in % vom Mittel		Sonnenscheindauer u. in % vom Mittel	
2006						
Oktober	12.7°C	+3.3	118 mm	214	112 Std.	94
November	7.4°C	+2.9	69 mm	86	66 Std.	182
Dezember	4.1°C	+3.6	62 mm	82	63 Std.	147

Quelle: <http://www.dwd.de/GWL>

Antizyklonale Wetterlagen und Hochdruck-Wetterlagen begünstigen die Ausbildung lokaler und regionaler Klimaerscheinungen (Strahlungstage). Im Verlauf zyklonaler Wetterlagen, die meist mit höheren Windgeschwindigkeiten, stärkerer Bewölkung oder Regen verbunden sind, können sich lokale Klimaeinflüsse nur in abgeschwächter Form oder überhaupt nicht ausbilden.

Windschwache Strahlungstage, bei denen sich lokale und regionale Klimaeffekte besonders ausgeprägt darstellen, traten im Untersuchungszeitraum Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006 an ca. 19% der Tage auf (langjähriges Mittel: Strahlungstage ca. 25 - 30% der Tage im Jahr), so dass die Messergebnisse auch diesbezüglich als repräsentativ für einen längeren Zeitraum bewertet werden können.

4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

4.1. Strömungsgeschehen und Ventilation

Zur vertiefenden Beurteilung des lokalen Strömungsgeschehens im Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ und in dessen Umfeld wurden neben einer Betrachtung des Gesamtzeitraumes (Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006) die klimaökologisch relevanten, windschwachen Strahlungstage statistisch ausgewertet, analysiert und für die einzelnen Stationsstandorte in Form von Windrosen dargestellt. Zudem fanden die Ergebnisse früherer Klimauntersuchungen (STEINICKE & STREIFENEDER 1996) Eingang in die Interpretation der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe.

Die Ergebnisse bestätigen weitgehend bisherige Erkenntnisse aus früheren Untersuchungen, konnten in Teilbereichen jedoch weiter präzisiert werden.

Das Ventilationsgeschehen im Untersuchungsgebiet und dessen Umfeld wird durch die Leitlinienwirkung des Reliefs (Hangzone des Rotenbergs), die über die Hangzone zuströmende Kaltluft sowie durch überörtliche Regionalströmungen geprägt. Markanteste Erscheinung ist dabei der tagesperiodische Wechsel der Windrichtung, vor allem an Tagen mit erhöhtem Strahlungseinfluss.

Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung an den Temporärmessstationen dokumentiert (**Abbildung 6.1**), dass im Untersuchungsgebiet an klimaökologisch besonders relevante Strahlungstagen tagsüber großwetterlagenbedingt südwestliche bis westliche und nordöstliche Windrichtungen überwiegen.

In der Nacht kommt es im Planungsgebiet und in dessen Umfeld aufgrund der Ausbildung lokaler und regionaler Strömungssysteme zu auffallenden Richtungswechseln. Der Anteil nördlicher bis nordöstlicher Luftströmungen nimmt deutlich zu.

Ein wichtiger Faktor im Klimageschehen des Untersuchungsgebietes ist die rasche Bildung von Kaltluft im bodennahen Luftraum während der ersten Nachthälfte. Diese Kaltluft neigt in flachem Gelände (Geländeneigung unter 2°) und an Hindernissen (z.B. Straßendämme, Gebäude, Waldstreifen und dichte Gebüschreihen) zu Stagnation und kann somit aus eigenem Antrieb sowohl im Freiland als auch in der benachbarten Bebauung keinen intensiveren Luftaustausch bewirken. In ausgedehnten Hangbereichen sowie in Talzügen bzw. Hangeinschnitten (z.B. Eselsbachtal) entwickeln sich jedoch aus der abfließenden Kaltluft breitangelegte Hangabwinde und gerichtete Kaltluftströme, die in ihrem Einflussbereich zur Ventilation des bodennahen Luftraumes beitragen.

Entlang der S-exponierten Hangzone des Rotenbergs (Planungsgebiet und dessen Umfeld) sind aufgrund des eng begrenzten Kaltlufteinzugsgebietes nur schwach ausgeprägte Hangabwinde zu erwarten. Die über den vegetationsbedeckten Flächen entstehende Kaltluft sammelt sich vor allem in leichten Hang Einschnitten und sickert dort in die angrenzende Bebauung ein. An warmen Sommertagen sorgt dies für eine Beschleunigung und Intensivierung der nächtlichen Abkühlung (→ bioklimatischer Positiveffekt). Der „Wärmeineffekt“ des Gewerbegebietes Nordost bleibt kleinräumig begrenzt.

4.1.1 Strömungsanalyse Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006, alle Tage

Die Erfassung des lokalen/regionalen Strömungsgeschehens ist zur Beurteilung der bioklimatischen/luftthygienischen Situation notwendig, da neben der thermischen Situation vor allem das ortsspezifische Ventilationsgeschehen die Auftrenshäufigkeit u.a. von Schwüle und erhöhten Immissionsbelastungen wesentlich mitbestimmt.

Ausgehend von den 2-monatigen Daten der kontinuierlich registrierenden Messstationen wird nachfolgend die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und der mittleren Windgeschwindigkeit analysiert. Neben der Zusammenfassung des Gesamtzeitraumes erfolgt die statistische Auswertung zusätzlich getrennt für Strahlungstage.

Dazu wurde aus den Halbstundenmitteln des Untersuchungszeitraumes für jede Station die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen berechnet und in Doppelwindrosen⁴ für jeweils 30-Grad Sektoren getrennt für Tages- und Nachtstunden in den **Abbildungen 5.1 - 6.2** dargestellt. Auf diese Weise lässt sich die zeitliche Zuordnung bestimmter Windrichtungshäufigkeiten und die zwischen den einzelnen Stationen unterschiedliche Verteilung beurteilen.

Für jeden Stationsstandort wurden zwei Doppelwindrosen erstellt, links die Tagessituation und rechts die Nachtsituation.

⁴ Die einzelnen Teilkreise entsprechen Häufigkeiten der Windrichtung (Halbstundenmittelwerte) von 5, 10, 15% usw., dabei deuten die Teilstriche der Windrose in die Richtung, aus welcher der Wind weht (Teilstrich nach oben entspricht einem Nordwind, nach rechts einem Ostwind). Als weitere Information wurden die mittleren Windgeschwindigkeiten der 30-Grad-Richtungssektoren für die jeweiligen Tages- und Nachthälften aufgezeichnet.

Die **Abbildungen 5.1** und **5.2** geben die Richtungsverteilung für den Gesamtzeitraum wieder. In diesen Darstellungen sind sowohl lokalklimatisch relevante Strahlungstage als auch Nichtstrahlungstage (bei Nichtstrahlungstagen wird das Klimageschehen vorwiegend advektiv, d.h. von großräumigen Effekten bestimmt) zusammengefasst.

Die für Fragen der Planung besonders bedeutsamen lokal- bzw. regionalklimatisch bedingten Effekte werden durch detailliertere Auswertungen verdeutlicht (s. Kap. 4.1.2).

Während der Tagstunden ist das Strömungsgeschehen weitgehend von der vorherrschenden Großwetterlage, der Stationslage und deren Umgebung (Flächennutzung, Relief, Art der Bebauung, Lage im Stadtgebiet) abhängig. Innerhalb der Bebauung und in Hangbereichen wird die Windgeschwindigkeit aufgrund der erhöhten Oberflächenrauigkeit reduziert und es kann durch Umlenkungen und Leitlinieneffekte gegenüber der vorherrschenden Höhenströmung stellenweise zu Richtungsänderungen kommen.

In den Nachtstunden treten zusätzliche Effekte wie z.B. kaltauflandinduzierte Hangabwinde auf, die das städtische Windfeld graduell unterschiedlich modifizieren.

Aus der Windverteilung der einzelnen Stationen wird deutlich, dass im Tagesverlauf bestimmte Vorzugsrichtungen auftreten, wobei am Tag im Untersuchungszeitraum Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006 häufig großräumig angelegte südwestliche und nordöstliche bis östliche Windrichtungen vertreten sind. Nach Sonnenuntergang kommt es stellenweise zu auffallenden ortsspezifischen Windrichtungswechseln, was auf die Ausbildung lokaler/regionaler Strömungszirkulationen hinweist.

Die Station *Hertelsbrunnenring-Ost [1]* dient als Basisstation für das Strömungsgeschehen im östlichen Teilbereich des Gewerbegebietes Nordost.

Hier herrschen am Tag südwestliche Windrichtungen vor (64% der Stunden). Ein sekundäres Häufigkeitsmaximum (22% der Stunden) tritt bei nordöstlichen Luftströmungen auf. Das Mittel der Windgeschwindigkeit liegt am Tag bei 2.0 m/s. Die recht niedrigen mittleren Windgeschwindigkeiten dokumentieren eine nur mäßige Ventilation im Gewerbegebiet Nordost.

In den Nachtstunden ist eine leichte Zunahme nordöstlicher Windrichtungen zu verzeichnen (31% der Stunden), was auf die Ausbildung einer nordöstlichen Regionalströmung in Richtung Kaiserslauterer Becken hindeutet (Ausgleichsströmung zwischen kühlen, bewaldeten Flächen und warmer städtischer Bebauung). Die nächtliche mittlere Windgeschwindigkeit von nur 1.5 m/s weist auf ungünstige Ventilationsverhältnisse hin.

Zusätzlichen Ventilationseffekten über kaltluftinduzierte Lokalströmungen ist daher besondere Bedeutung beizumessen.

Der Messstandort *Wartenberger Weg [2]* dokumentiert das Strömungsgeschehen im Hangeinschnitt östlich des Hertelsbrunner Hofes.

Auch hier werden am Tag vorwiegend südwestliche Windrichtungen gemessen (53% der Stunden). Die mittleren Windgeschwindigkeiten von 1.9 m/s (1. Tageshälfte) bzw. 2.5 m/s (2. Tageshälfte) weisen im Vergleich zur Station *Hertelsbrunnenring-Ost [1]* auf etwas günstigere Belüftungsverhältnisse hin. Die Freizone innerhalb des Gewerbegebietes Nordost fungiert als Ventilationsfläche, über welcher der Höhenwind bodennah durchgreifen kann.

Nach Sonnenuntergang ist auch hier eine Zunahme nordöstlicher Richtungskomponenten zu beobachten. Werden am Tag zu ca. 18% der Stunden nordöstliche Windrichtungen registriert, steigt ihr Anteil in der Nacht auf ca. 29% an. Auffallend ist auch die leichte Häufung nördlicher bis nordnordöstlicher Winde (13% der Stunden am Tag → 26% der Stunden in der Nacht). Dies weist darauf hin, dass sich entlang des Hangeinschnittes am Wartenberger Weg ein nächtliche Lokalströmung entwickeln kann. Mittlere Windgeschwindigkeiten von 0.8 m/s deuten auf die Empfindlichkeit der Lokalströmung gegenüber Strömungshindernissen in Form von Bebauung und dichten, hohen Gehölzbeständen hin.

Die Windrichtungsverteilung im Westen des Gewerbegebietes Nordost (Station *Hertelsbrunnenring-West [3]*) ist mit den Aufzeichnungen an der Station *Wartenberger Weg [2]* vergleichbar, wobei etwas höhere Windgeschwindigkeiten zu registrieren sind. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit, gemittelt über alle Richtungssektoren, beträgt am Tag 2.4 m/s.

In den Nachtstunden beträgt der Anteil nördlicher bis nordöstlicher Richtungskomponenten ca. 24%. Auch hier ist der Einfluss hangspezifischer Kaltluftbewegungen zu messen.

Die Station *Friedenstraße [4]* im Wohngebiet südöstlich der Mainzer Straße werden die Strömungsverhältnisse durch die Leitlinienwirkung der Friedenstraße geprägt. Die vorherrschenden Winde werden sowohl am Tag als auch in der Nacht vermehrt in westsüdwestlichen und ostnordöstlichen Richtungen gebündelt.

Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt am Tag ca. 1.7 m/s. Die im Gewerbegebiet Nordost um bis zu ca. 30% höheren Windgeschwindigkeiten weisen auf die ungünstigen Belüftungsverhältnisse im Bereich der Friedenstraße hin.

Auch in der Nacht ist bei mittleren Windgeschwindigkeiten von ca. 1.2 m/s kein intensiver bodennaher Luftaustausch möglich.

Vergleicht man die über alle Windrichtungen gemittelten Windgeschwindigkeiten der einzelnen Messstationen, so erhält man einen Eindruck vom standortspezifischen Einfluss des Stationsumfeldes (**Tabelle 2**).

Über den Gesamtzeitraum und Gesamttag gemittelt, ergeben sich am Messstandort *Friedenstraße [4]* die niedrigsten mittleren Windgeschwindigkeiten. Gegenüber dem Gewerbegebiet Nordost werden Geschwindigkeitsreduktionen von ca. 18 - 30% ermittelt. Dies belegt die noch verhältnismäßig günstigen Luftaustauschbedingungen im Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ und in dessen Umfeld.

Tabelle 2: Mittlere Windgeschwindigkeiten (m/s) für die Stationsstandorte getrennt nach 1. und 2. Tageshälfte sowie 1. und 2. Nachthälfte - alle Tage

Station	1. TH 7-12 Uhr	2. TH, 13-18 Uhr	1. NH, 19-23 Uhr	2. NH, 0-6 Uhr	Mittel 0-23 Uhr
Hertelsbrunnenring-Ost[1]	1.7	2.2	1.5	1.4	1.7
Wartenberger Weg [2]	1.9	2.5	1.7	1.5	1.9
Hertelsbrunnenring-West [3]	2.0	2.7	1.8	1.6	2.0
Friedenstraße [4]	1.4	1.9	1.2	1.1	1.4

4.1.2 Strömungsanalyse Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006, Strahlungstage

Die **Abbildungen 6.1** und **6.2** dokumentieren die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen bei lokalklimatisch besonders relevanten Strahlungstagen⁵.

Im Verlauf von lokalklimatisch relevanten Wetterlagen (Häufigkeit: ca. 19% im Kurzzeitraum 2006) kommt es am Tag infolge intensiver Sonneneinstrahlung zu stärkerer Erwärmung und in der Nacht durch ungehinderte Ausstrahlung der Oberflächen zu deutlicher Abkühlung der bodennahen Luftschichten mit intensiver Kaltluftproduktion vegetationsbedeckter Flächen. Derartige Wetterlagen sind oft windschwach, wobei nächtliche Bodeninversionen entstehen, d.h. die Luft ist stabil geschichtet, der vertikale Luftaustausch ist vermindert oder weitgehend unterbunden.

⁵ Strahlungstag - Gesamtbedeckungsgrad im Mittel aller Stunden des Gesamttagess $\leq 2/8$. Während der Nacht wird der Gesamtbedeckungsgrad von $4/8$ nicht überschritten. Am Tag treten nur bis zu 3 Stunden thermisch bedingt Quellwolken bis zu einem Gesamtbedeckungsgrad von $6/8$ auf.

Das Ventilationsgeschehen wird vermehrt von Regional- und Lokalströmungen bestimmt, deren Existenz der Kaltluftbewegung über die Hänge und Täler sowie dem Luftdruckgefälle zwischen kühlerem Freiland und wärmerer Bebauung zu verdanken ist.

Zur Beurteilung der Ventilation wurden für die klimaökologisch relevanten Wetterlagen die Häufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten und die dabei auftretenden Windrichtungen ermittelt (**Abbildungen 7.1 - 7.4**). Dazu wurden die Halbstundenmittel der Windgeschwindigkeit in fünf Klassen eingeteilt und der jeweiligen Windrichtung zugeordnet:

Windstillen

Halbstundenmittel der Geschwindigkeit unter 0.1 m/s

extreme Schwachwinde

Halbstundenmittel der Geschwindigkeit 0.1 bis 0.5 m/s

Schwachwinde

Halbstundenmittel der Geschwindigkeit 0.6 bis 1.4 m/s

mittlere Geschwindigkeiten

Halbstundenmittel der Geschwindigkeit 1.5 bis 3.2 m/s

höhere Geschwindigkeiten

Halbstundenmittel der Geschwindigkeit über 3.2 m/s

Unter dem Begriff **Ventilation** sind Vorgänge des Luftaustausches und der Frischluftzufuhr zu verstehen, die zum Abbau von bioklimatischen und lufthygienischen Belastungen beitragen. Dies geschieht aufgrund 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 (vegetationsbedeckte Freiräume) herangeführt werden oder diesen ihre Entstehung verdanken. Für den Grad der Ventilation sind die Windgeschwindigkeit und die Luftschichtung von Bedeutung. Untersuchungen über die Verteilung von Schadstoffen im Bereich von ausgedehnten Siedlungen ergaben, dass mit einer ausreichenden weiträumigen Durchlüftung innerhalb der Bebauung erst bei Windgeschwindigkeiten über 3.0 m/s zu rechnen ist. Dagegen dringen Luftströmungen unter 2.0 m/s 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, weshalb in diesem Falle von Belüftung zu sprechen ist.

Werden mit der Windgeschwindigkeit auch die Schichtungsverhältnisse berücksichtigt, so ergibt sich folgender Sachverhalt:

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).

Durch ein hohes städtisches Energiepotential kann im Zuge stabiler Luftschichtung eine räumlich begrenzte vertikale Durchmischung und ein räumlich begrenzter horizontaler Luftaustausch zwischen Freiland und Bebauung erfolgen.

Den Richtungsverteilungen und Windgeschwindigkeitsmitteln an der Station *Hertelsbrunnenring-Ost* [1] ist zu entnehmen, dass im Verlauf der im Untersuchungszeitraum aufgetretenen lokalklimatisch relevanten Strahlungstage am Tag vorwiegend westliche bis südwestliche und nordöstliche Luftströmungen mit mittleren Geschwindigkeiten von 0.6 – 2.1 m/s aufgezeichnet werden. Höhere Windgeschwindigkeiten über 3.2 m/s treten nur zu ca. 1.3% der Tagstunden auf.

Nach Sonnenuntergang nimmt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit ab und die Häufigkeit nordöstlicher Richtungssektoren steigt prägnant an, was vorwiegend auf regionale Effekte (→ Ausgleichsströmungen zwischen den angrenzenden Randhöhen und der Kaiserslauterer Senke) zurückzuführen ist. Es dominieren durchschnittliche Windgeschwindigkeiten unter 0.6 m/s (71% der Nachtstunden). Windgeschwindigkeiten über 1.4 m/s werden nur zu ca. 0.4% der Nachtstunden registriert.

Bei vorherrschenden regional angelegten Nordostwinden fungiert die vegetationsbedeckte Hangzone des Rotenbergs als Luftleitbahn, über welcher der Wind bodennah durchgreifen kann. Die aufgenommene bodennahe Kaltluft wird nach Südwesten verfrachtet und trägt dadurch auch westlich der Linie Baalborner Weg zur Minimierung thermischer Belastungen bei. Die Erkenntnisse aus der Klimauntersuchung von STEINICKE & STREIFENEDER (1996) können damit bestätigt werden.

Ein prägnanter Einfluss lokaler nördlicher Hangabwinde, die über den Gebäudekomplex des Unternehmens KEIPER GMBH & CO. hinwegströmen, wird nicht registriert.

Das Umfeld der Station *Wartenberger Weg [2]* zeigt sich am Tag etwas intensiver ventiliert. Während an der Station *Hertelsbrunnenring-Ost [1]* mittlere Windgeschwindigkeiten über 3.2 m/s nur zu ca. 1.3% der Tagstunden registriert werden, beläuft sich ihr Anteil am Standort *Wartenberger Weg [2]* auf 5.8%. Dies unterstreicht, dass die z.T. noch recht großzügigen Abstandsflächen zwischen den einzelnen Gebäudekomplexen im Gewerbegebiet Nordost günstige Ventilationseffekte ermöglichen. Thermische und lufthygienische Negativeffekte werden minimiert.

Nach Sonnenuntergang ist am Stationsstandort ein auffälliger Windrichtungswechsel zu registrieren. Südwestliche Luftströmungen treten zugunsten nördlicher bis nordöstlicher Winde zurück. Während die Nordostwinde vorwiegend auf den Einfluss regionaler Nordostwinde zurückzuführen ist (ca. 55% der Nachtstunden, mittlere Windgeschwindigkeit ca. 0.5 – 0.8 m/s), sind die erfassten nördlichen Strömungen (ca. 14% der Nachtstunden) auf seichte lokale Kaltluftabflüsse entlang des Hangeinschnittes am Wartenberger Weg zurückzuführen.

Die recht geringen Strömungsgeschwindigkeiten (Anteil extremer Schwachwinde unter 0.6 m/s: 66%) weisen auf die Empfindlichkeit der Lokalströmung gegenüber Strömungshindernissen (Bauwerke, dichtgestaffelte Gehölze etc.) hin.

Wie die Windaufzeichnungen am Messstandort *Hertelsbrunnenring-West [3]* zeigen, sind derartige Lokalwindeffekte auch unterhalb des Rotenberghofs zu erwarten. Auch hier werden zu ca. 14% der Nachtstunden nördliche Windrichtungen aufgezeichnet.

Die Windaufzeichnungen bestätigen somit die Ergebnisse früherer Untersuchungen, dass das Klimageschehen im Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ und im Gewerbegebiet Nordost sowohl von Hangabwinden des Rotenbergs als auch von regional angelegten Nordostwinden bestimmt wird.

Die Summation der lokalen und regionalen Strömungseffekte bewirkt, dass die vom Gewerbegebiet ausgehenden bioklimatischen und lufthygienischen Ungunsteffekte noch eng begrenzt bleiben. Der Sicherung derartiger Gunsteffekte (Ventilationseffekte, Kaltluftzustrom über die nördliche Hangzone, bebauungsinterne Freiflächen mit Funktionen als Ventilationsbahnen und Kaltluftentstehungsgebieten) ist daher stadtklimatische Bedeutung beizumessen.

Am Messstandort *Friedenstraße [4]* dominieren am Tag straßenparallele west-südwestliche Luftströmungen (41% der Stunden) mit mittleren Windgeschwindigkeiten zwischen 1.2 und 1.8 m/s. Eine intensive Durchlüftung ist damit nicht gewährleistet.

Nach Sonnenuntergang ist auch hier eine auffällige Drehung des Windes zu vermehrt nordöstlichen Windrichtungen zu erkennen, was auf einsetzende Regionalströmungen zurückzuführen ist. Auffällig ist mit 29% der Nachtstunden der hohe Anteil an Windstillen. Im Gewerbegebiet Nordost werden Windstillen nur zu ca. 4 – 6% der Nachtstunden gemessen.

Ventilationseffekte über Kaltluftzuflüsse aus dem Hangbereich des Rotenbergs sind im Bereich der Friedenstraße nicht zu erwarten.

Tabelle 3 verdeutlicht mit Hilfe der Windgeschwindigkeitsmittel an den einzelnen Stationsstandorten nochmals die ortsspezifische Belüftungssituation.

Tabelle 3: *Mittlere Windgeschwindigkeiten (m/s) für die Stationsstandorte getrennt nach 1. und 2. Tageshälfte sowie 1. und 2. Nachthälfte - Strahlungstage*

Station	1. TH 7-12 Uhr	2. TH, 13-18 Uhr	1. NH, 19-23 Uhr	2. NH, 0-6 Uhr	Mittel 0-23 Uhr
Hertelsbrunnenring-Ost[1]	0.9	1.7	0.6	0.5	0.9
Wartenberger Weg [2]	0.9	1.9	0.7	0.5	1.0
Hertelsbrunnenring-West [3]	0.9	2.0	0.6	0.4	1.0
Friedenstraße [4]	0.7	1.5	0.3	0.2	0.7

4.2 Thermische Situation und Ventilation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen

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

Zur Beurteilung der Temperaturverteilung und des lokalen, kleinräumigen Strömungsgeschehens in den nicht durch feste Messstationen abgedeckten Bereichen des Untersuchungsgebietes wird auf Ergebnisse von Temperaturmessfahrten zurückgegriffen werden, die am 09./10.10.2006 und am 30./31.10.2006 durchgeführt wurden. Auf die Ergebnisse wird in Kap.4.4 näher eingegangen.

Bei klimaökologisch relevanten Strahlungswetterlagen (ca. 19% der Tage im Jahr) ergeben sich im Untersuchungsraum lokalklimatische Differenzierungen. Typisch für diese Situationen ist, dass sich in der Bebauung verminderte Ventilation (→ Tendenz zu lufthygienischen Belastungen) und durch die Aufheizung von Baukörpern und befestigten Flächen starke Erwärmung und Wärmestaus (→ Tendenz zu bioklimatischen Belastungen) einstellen. Nach Sonnenuntergang kommt es innerhalb der Bebauung zu verzögerter Abkühlung, im Freiland hingegen zu intensiver Kaltluftproduktion vegetationsbedeckter Flächen und zur Ausbildung stabiler Luftschichtung (Bodeninversionen).

Sowohl bei Tag als auch verstärkt in der Nacht stellen sich relief- und flächennutzungsbedingt Temperaturunterschiede ein, wobei zur Zeit der nächtlichen Abkühlungsphase im Untersuchungsgebiet zwischen kühlfsten und wärmsten Bereichen im Zeitraum Mitte Oktober – Mitte Dezember 2006 Temperaturunterschiede bis ca. 3.0°C auftraten. In den Sommermonaten sind noch deutlichere Temperaturunterschiede zu erwarten.

Die thermische Situation und das Ventilationsgeschehen in Kaiserslautern wird bei austauscharmen Strahlungswetterlagen sowohl durch das Relief als auch durch die Flächennutzung bzw. durch die innerhalb der Bebauung graduell unterschiedlich wirksamen Lokal- bzw. Regionalströmungen bestimmt.

Zur Verdeutlichung der klimaökologischen Funktionsabläufe wird zunächst ein Ausschnitt der Thermalbildbefliegung Kaiserslautern (STEINICKE & STREIFENEDER 1996) analysiert. Sie vermittelt einen Eindruck vom thermischen Verhalten (Oberflächentemperaturen) der unterschiedlichen Flächennutzungsstrukturen im Planungsumfeld.

Zur vertiefenden Analyse der lokalen Situation erfolgt anschließend die Diskussion ausgewählter Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes. Aus den Tagesgängen lässt sich das ortsspezifische Verhalten von Lufttemperatur und Strömungsgeschehen entnehmen, wobei die ventilationsfördernde Wirkung der lokalen/regionalen Luftströmungen im Freiland und in der Bebauung offenbar wird.

4.2.1 Thermalbildaufnahmen

Die **Abbildungen 8.1** und **8.2** verdeutlichen das unterschiedliche Temperaturverhalten verschiedener Flächennutzungsstrukturen anhand von Ergebnissen der Abend- und Morgenbefliegung.

[Die Temperaturspanne reicht von dunkelrot (16.3°C) über gelb bis dunkelblau (< 1.4°C)]

Bei der IR-Thermalbefliegung wird flächenhaft die Oberflächentemperatur aufgenommen. Dabei wird die Oberflächentemperatur nicht direkt, sondern über die von ihr ausgehende langwellige Strahlung gemessen, wobei diese eine Funktion der Oberflächentemperatur ist. Unter dem Begriff Oberflächentemperatur wird diejenige Temperatur verstanden, die ein Körper unmittelbar an seiner Oberfläche annimmt. Die Temperatur der einzelnen Farbflächen der Thermalbilder ist damit nicht mit der Lufttemperatur in 2 m Höhe gleichzusetzen.

Die Befliegung wurde in den Nachtstunden durchgeführt, weil dann die Siedlungen gegenüber dem Freiland am stärksten überwärmt und die Lokalströmungen messbar sind. Nachts sind weder Schlagschatten noch Reflexion der Sonnenstrahlung zu berücksichtigen.

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. Dies ermöglicht eine Verallgemeinerung der punktuell bzw. linienhaft erfassten Messwerte des stationären Klimamessnetzes und der Messfahrten (→ Isothermenkarte).

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,
- Hanggestalt, Neigung und Exposition.

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".

Niedrigste Temperaturen ($< 8^{\circ}\text{C}$) werden in den Abendstunden im Eselsbachtal gemessen. Der Talzug fungiert als Kaltluftammel- und Kaltluftabflussgebiet.

Die vorwiegend landwirtschaftlich genutzte untere Hangzone des Rotenbergs südlich der A 6 weist ebenfalls recht niedrige Oberflächentemperaturen auf (gelbe bis blaue Farbtönung, $< 12.1^{\circ}\text{C}$). Sie fungieren als siedlungsnaher Kaltluftproduktionsflächen. Demgegenüber zeigen sich die Asphaltflächen der Autobahn A 6 und der Mainzer Straße deutlich überwärmt (über 15.3°C). Auch ausgedehnte Parkierungsflächen bilden sich als „Wärmepole“ ab.

Die Oberflächenstrahlungstemperatur 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 isolierend. Die stark ausstrahlenden Grashalme 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.

Wärmer bilden sich gehölzüberstellte Flächen ab. So werden beispielsweise über dem waldbedeckten Otterberg oder im Grübentälchen östlich der Donnersbergstraße noch Oberflächentemperaturen von über 12°C aufgezeichnet. Tagsüber ergibt sich im Bestand größerer Gehölzflächen infolge Absorption der Sonnenstrahlung im oberen Kronenraum der Bäume und Sträucher sowie aufgrund der Beschattung des Stammraumes ein vertikaler Temperatureaufbau.

Die aktive Austauschfläche liegt im Kronenraum, der Stammraum ist kühler und feuchter als die Umgebung. Nach Sonnenuntergang, wenn die freien Oberflächen rasch abkühlen, erfolgt die Abkühlung im Stammraum vergleichsweise langsam, da die Ausstrahlung durch das Kronendach reduziert ist. Gehölzgruppen besitzen demnach je nach flächenhafter Ausdehnung, Art und Zusammensetzung der Gehölzgruppen temperaturnausgleichende Wirkung.

Das Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ ist als klimaökologischer Ausgleichsraum mit siedlungsnahen Kaltluftproduktionsflächen (klimatisches Entlastungspotenzial) zu erkennen. Wie die Windaufzeichnungen belegen, strömt ein Teil der bodennah entstehenden Kaltluft dem Gefälle folgend in die Bebauung des Gewerbegebietes Nordost ein. Insbesondere entlang des Wartenberger Wegs und unterhalb des Rotenberghofs ermöglichen Hangeinschnitte noch das einsickern der Kaltluft in die Bebauung. Der vom Gewerbegebiet Nordost ausgehende „Wärmeinseleffekt“ bleibt daher räumlich eng begrenzt.

Außerhalb der Hangeinschnitte und Mulden wird die bodennah entstehende Kaltluft in die meist vorherrschende nordöstliche Regionalströmung miteinbezogen und nach Südwesten in den Innenstadtbereich von Kaiserslautern verfrachtet. Dort trägt sie zur Intensivierung der nächtlichen Abkühlung bei (→ bioklimatischer Gunsteffekt).

Die Ergebnisse der Morgenbefliegung verdeutlichen nochmals die thermische Gunstwirkung vegetationsbedeckter Freiräume. Über den in Richtung Bebauung geneigten klimaökologischen Ausgleichsräumen des Rotenbergs ist intensive Kaltluftbildung möglich. Aufgrund des begrenzten Kaltlufteinzugsgebietes im Norden (Autobahn A 6) werden jedoch nur geringmächtige lokale Windsysteme initiiert. Eine Beeinflussung der Bebauung südlich der Mainzer Straße ist durch die Hinderniswirkung der vorgelagerten Bebauung nicht zu erwarten.

4.2.2 Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 09.-10.10.2006 – von Südwest auf Ost drehender Gradientwind ($T_{\max} > 20^{\circ}\text{C}$)

Wetterablauf: Am 09.10.2006 ist es unter Hochdruckeinfluss überwiegend sonnig. In den Abendstunden lösen sich vereinzelte Wolkenfelder auf und auch in den Nachtstunden ist es wolkenlos und schwachwindig. Die Grundvoraussetzungen für die Ausbildung lokaler und regionaler Klimateffekte ist gegeben.

Bei zunächst vorherrschendem südwestlichem Gradientwind kommt es nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planungsgebietes zur Ausbildung lokaler und regionaler Klimaerscheinungen.

Abbildung 9⁶: Am Tag stellen sich entsprechend der großräumigen Luftdruckverteilung sowohl im Umfeld des Gewerbegebietes Nordost als auch in der Innenstadt von Kaiserslautern (Luftmessstation *KL-Rathaus [5]*) Winde aus südwestlichen Richtungssektoren ein, die lage- und zeitabhängig mittlere Windgeschwindigkeiten zwischen 1.0 und 2.5 m/s erreichen.

Bei derartigen Wetterlagen fungiert das Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ als eine von der Bebauung wegführende Luftleitbahn. Dadurch wird die Immissionsbelastung durch die nahegelegene Autobahn A 6 reduziert.

Zwischen 18:00 und 19:00 Uhr ändert sich das Strömungsgeschehen. An fast allen Messstandorten dreht der Wind über Nord nach Nordosten bis Osten, was auf einsetzende Regionalwinde zurückzuführen ist, die auch den Innenstadtbereich beeinflussen. Eine Ausnahme bildet der Stationsstandort *Friedenstraße [4]*. Die Luft tendiert in diesem Teilbereich zunehmend zu Stagnation, so dass ein nachhaltiger Windrichtungswechsel zunächst ausbleibt.

Die Stationen im Gewerbegebiet Nordost zeigen während der Nachtstunden nahezu identische Windverhältnisse (Schwachwinde aus nordnordöstlichen Richtungen). Seichte Hangabwinde aus der angrenzenden Hangzone des Rotenbergs werden von den vorherrschenden Regionalwinden überlagert. Eine deutliche Unterscheidung von Lokal- und Regionalwind kann anhand der Stationsdaten nicht getroffen werden.

⁶ (Zeichenerklärung: Die Windfahnen weisen in die Richtung, aus welcher der Wind kommt; ganzer Teilstrich = 1.0 m/s, halber Teilstrich = 0.5 m/s).

Die Messstationen wurden im Laufe des 09.10.2006 eingerichtet, so dass vor 16:30 Uhr noch keine vollständigen Klimaaufzeichnungen vorliegen.

Nach 08:00 Uhr kommen die Lokal- und Regionalwinde zunehmend zum Erliegen und der vorherrschende Gradientwind übernimmt wieder die bodennahe Ventilation.

Auffallende räumliche Differenzierungen ergeben sich hinsichtlich der Lufttemperaturverteilung.

Am Tag (09.10.) werden zwischen den einzelnen Stationsstandorten aufgrund der standortspezifischen Flächennutzung sowie der unterschiedlichen Besonnungs- und Beschattungsverhältnisse Temperaturunterschiede bis zu ca. 2.0°C registriert. Höchste Werte werden in der Innenstadt an der Luftmessstation *KL-Rathaus [5]* gemessen. Hier machen sich die versiegelten Flächen und der reduzierte innerstädtische Luftaustausch negativ bemerkbar. Im Gewerbegebiet Nordost bleibt die thermische Überwärmung hingegen begrenzt. Die bislang noch recht lockere Bebauungsstruktur des Gewerbegebietes und das nahegelegene Freiraumpotenzial wirken der Ausbildung lokaler Wärmestaus (bioklimatischer Negativeffekt) entgegen.

Im Zuge der abendlichen Abkühlung (ab ca. 16:30 Uhr) nähern sich die Temperaturkurven der einzelnen Messstationen an. So werden gegen 18:00 Uhr zwischen Innenstadt und Gewerbegebiet Nordost nur noch Lufttemperaturdifferenzen von ca. 0.8°C gemessen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die intensive Kaltluftbildung über den vegetationsbedeckten Flächen noch nicht eingesetzt hat.

Nach 18:00 Uhr entwickelt sich zwischen den einzelnen Stationsstandorten wieder eine deutlichere thermische Differenzierung. Mit dem Einsetzen regionaler Nordostwinde wird kühlere Luft aus dem Umland in das Gewerbegebiet Nordost geführt, so dass sich im Laufe der ersten Nachthälfte gegenüber der Kaiserslauterer Innenstadt um ca. 1.5 – 2.0°C einstellen. Innhalb des Gewerbegebietes zeigen sich keine gravierenden Unterschiede.

Die bisher günstige thermische Situation im Gewerbegebiet Nordost wird auch bei einem Vergleich der Temperaturwerte mit der Station *Friedenstraße [4]* offenbar. Trotz durchgrünter Wohnbebauung im Stationsumfeld werden südlich der Mainzer Straße etwas höhere nächtliche Lufttemperaturen aufgezeichnet.

Nach Sonnenaufgang kommt es an allen Messstandorten rasch zu allgemeiner Erwärmung der bodennahen Luftschichten. Die thermische Differenzierung zwischen den einzelnen Stadtbereichen in Kaiserslautern geht wieder zurück.

4.2.3 Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 15.-16.12.2006 – kräftiger südwestlicher Gradientwind ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)

Wetterablauf: Am 15/16.12.2006 bestimmt ein Hochdruckgebiet das Wettergeschehen. Am Tag (15.12.) ist es nahezu wolkenlos. In den Nachtstunden flaut der Wind ab und es bleibt, so dass sich die typischen lokalen und regionalen Klimaerscheinungen entwickeln können.

Abbildung 11: Trotz der in den Wintermonaten recht geringen Aufheizung befestigter Oberflächen, zeigen sich am Tag deutliche thermische Differenzierungen zwischen dem Gewerbegebiet Nordost und der Kaiserslauterer Innenstadt.

Am Nachmittag werden an allen Stationen Winde aus südwestlichen Richtungen registriert, wobei örtlich mittlere Windgeschwindigkeiten bis 3.5 m/s auftreten (*Hertelsbrunnenring-West [3]*), was eine Durchlüftung der Bebauung gewährleistet. Strömungsparallele Straßenzüge (*Hertelsbrunnenring*) funktionieren dabei als bebauungsinterne Strömungsleitbahnen.

Im Bereich der Wohnbebauung südlich der Mainzer Straße und in der Innenstadt bleiben die maximalen Windgeschwindigkeiten auf ca. 2.0 m/s begrenzt.

Die Tageshöchsttemperatur (11.1°C) wird an der Station *KL-Rathaus [5]* gemessen. Deutlich geringer sind die Lufttemperaturmaxima im Umfeld des Planungsgebietes „Hertelsbrunnen“. Hier schwanken die Maximalwerte zwischen 8.8°C (Station *Wartenberger Weg [2]*) und 9.7°C (*Hertelsbrunnenring-Ost [1]*). Die recht günstigen thermischen Umgebungsbedingungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld werden offenbar.

Zwischen 18:00 und 19:00 Uhr kommt es wieder zu einem für Strahlungstage typischen Windrichtungswechsel. Der Wind flaut deutlich ab und dreht vermehrt zu nordöstlichen Richtungen. Während in der Innenstadt die abendliche Abkühlung auffallend gedämpft verläuft, ist sowohl im Gewerbegebiet Nordost als auch im Wohngebiet südlich der Mainzer Straße ein rascher und intensiver Temperaturrückgang zu verzeichnen. Auffallend ist der kurzzeitige Temperaturabfall am Messstandort *Wartenberger Weg [2]* zwischen 17:30 und 18:30 Uhr. Wie die Windaufzeichnungen belegen, dreht der Wind zu diesem Zeitpunkt zu vermehrt nordnordwestlichen Richtungen, wodurch Hangkaltluft in das Stationsumfeld gelangt. Die nur schubartig abfließende lokale Kaltluft wird im weiteren Nachtverlauf jedoch von der vorherrschenden nordöstlichen Regionalströmung überlagert.

Derartige Lokalwindeffekte dürften in den Sommermonaten, wenn sich zwischen Freiland und Bebauung größere thermische Unterschiede einstellen, häufiger zu beobachten sein.

Dass auch mit der nordöstlichen Regionalströmung aus dem Umland Kaltluft herangeführt wird, zeigt sich anhand des Windrichtungswechsels nach 05:30 Uhr. Noch vor Sonnenaufgang dreht der Wind großwetterlagenbedingt zu südwestlichen Richtungen, wodurch auch ein kräftiger Temperaturanstieg erfolgt. Die thermische Differenzierung zwischen Gewerbegebiet Nordost und der Innenstadt hebt sich nahezu auf.

4.3 Kleinaerologische Messungen

Aus der Verteilung des Luftdrucks resultiert die Druckgradientströmung, der geostrophische Wind. Diese ungestörte Strömung ist erst in Höhen von 1.000 bis 1.500 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 Strahlungsinversion (Bodeninversion) entsteht bei schwachgradientigen (schwachwindigen) Strahlungswetterlagen, in deren Verlauf sich nach Sonnenuntergang die bodennahe Luft 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 lokaler Luftströmungen wurden an ausgewählten Standorten Fesselballonaufstiege (**Abbildung 11**) und Rauchschwadenbeobachtungen durchgeführt. Hierbei wurden die Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung ermittelt. Die Fesselballonaufstiege mussten aus Gründen der Flugsicherung (Einfugschneise Flughafen Ramstein) auf max. 30 m ü.G. begrenzt werden.

4.3.1 Vertikalsondierungen am 09/10.10.2006

Wie in Kap. 4.2.2 bereits beschrieben, zeigt sich im Untersuchungsgebiet in den Abend- und Nachtstunden das typische ortsspezifische Strömungsgeschehen, das in Teilbereichen mit intensiver Abkühlung verbunden ist. Im Planungsgebiet herrschen im Wesentlichen nordöstliche Regionalströmungen vor.

Abbildung 12.1 - Standort 1 (Parkplatz):

Der Fesselballonaufstieg am Standort *Parkplatz* am Wartenberger Weg beschreibt das Strömungsgeschehen unterhalb des Hertelsbrunner Hofes.

Gegen 21:00 Uhr wird bis ca. 6.5 m ü.G. eine schwache nördliche Kaltluftströmung erfasst. Sie tritt nur schubartig auf. Zwischenzeitlich dreht der Fesselballon immer wieder zu nordöstlichen Richtungen, die auch bis zur Messobergrenze in einer Höhe von 30 m ü.G. gemessen werden. Ein steter Kaltluftabfluss ist oberhalb von 2.5 m ü.G. nicht zu beobachten.

Der Kurvenverlauf der Lufttemperatur dokumentiert die vorherrschende Bodeninversion (→ stabile Luftschichtung). Zwischen 2.5 m ü.G. und 30 m ü.G. nimmt die Lufttemperatur um ca. 2.7°C zu.

Auch gegen 23:45 Uhr ist bis ca. 6.5 m ü.G. immer wieder ein kurzzeitiger lokaler Kaltluftabfluss entlang des Wartenberger Wegs zu registrieren.

Abbildung 12.2 - Standort 2 (Flickerstal):

Mit dem Fesselballonaufstieg am Standort 2 (Flickerstal) soll ermittelt werden, ob sich in windschwachen Strahlungs Nächten über den Ackerflächen nordöstlich des Gebäudekomplexes des Unternehmens KEIPER GMBH & CO. ein bedeutsamer lokaler Kaltluftabfluss einstellt.

Die Messergebnisse zeigen, dass zwischen 2.5 m ü.G. und 30 m ü.G. keine Winde aus nördlichen Richtungen zu beobachten sind, die auf lokale Hangabwinde hinweisen. Das Kaltlufteinzugsgebiet ist durch den Verlauf der Autobahn A 6 eng begrenzt, so dass die bodennahen Kaltluftbewegungen nicht bis an die Messuntergrenze von 2.5 m ü.G. heranreichen. Hier dominieren regionale Nordostwinde das bodennahe Luftaustauschgeschehen. Die mittlere Windgeschwindigkeit der Regionalströmung schwankt zwischen 0.5 m/s (2.5 m ü.G.) und 2.2 m/s (30 m ü.G.).

Der Einfluss der bodennah entstehenden Kaltluft zeigt sich allerdings anhand des vertikalen Temperaturverlaufs. Zwischen 2.5 m ü.G. und 12.5 m ü.G. ist ein auffallender Temperaturanstieg zu verzeichnen (9.5°C → 11.4°C). Zwischen 12.5 m ü.G. und 30 m ü.G. nimmt der Temperaturanstieg mit zunehmender Messhöhe deutlich ab (→ Isothermie = gleichbleibende Lufttemperatur). Dies weist darauf hin, dass die im Planungsgebiet und in dessen Umfeld entstehende Kaltluft wesentliche Abkühlungseffekte bewirkt, so dass dem örtlichen Erhalt günstiger thermischer Umgebungsbedingungen stadtklimatische Bedeutung zukommt.

Abbildung 12.3 - Standort 3 (Autobahn):

Der Fesselballonaufstieg am Standort 3 (Autobahn) soll Aufschluss darüber geben, ob die Trasse der Autobahn A 6 die Grenze des lokalen Kaltlufteinzugsgebietes ist oder ob aus dem Freiland nördlich der Autobahn A 6 Kaltluft über die Trasse hinweg in das Planungsumfeld einsickert.

Südlich des Autobahndammes werden gegen 22:15 Uhr an der Messuntergrenze (2.5 m ü.G.) ostsüdöstliche Windrichtungen gemessen, was auf die bodennahen Leitlinieneffekte der Autobahntrasse zurückzuführen ist. Oberhalb 5.0 m ü.G. dreht der Wind zunehmend zu nordöstlichen Richtungen, die auf den Einfluss von Regionalströmungen hinweisen. Lokale Kaltluftabflüsse über die Hangzone des Rotenbergs werden nicht registriert.

Abbildung 12.4 - Standort 4 (Hertelsbrunner Hof):

Am Hertelsbrunner Hof sind gegen 22:45 Uhr bis in eine Höhe von ca. 4 m ü.G. seichte nördliche Hangabwinde zu messen, die aber auch hier immer wieder von der nordöstlichen Regionalströmung unterbrochen werden.

Der Einfluss der vom Gewann *Baalborner Pfad* lokal abfließenden Kaltluft spiegelt sich auch im vertikalen Temperaturverlauf wider. Zwischen 2.5 und 5.0 m ü.G. werden Lufttemperaturen zwischen 9.4 und 9.6°C registriert. Zwischen 5 m ü.G. und 7.5 m ü.G. steigt die Lufttemperatur unter dem Einfluss der „wärmeren“ Regionalströmung von 9.6 auf 10.3°C deutlich an. An der Messoberggrenze (30 m ü.G.) beträgt die Lufttemperatur 11.7°C.

Abbildung 12.5 - Standort 5 (Rotenberghof):

Im Hölzengraben südöstlich des Rotenberghofs dominiert gegen 23:15 Uhr der Einfluss der nordöstlichen Regionalströmung das ortsspezifische Ventilationsgeschehen. Lokale Kaltluftabflüsse sind nicht zu erfassen.

Zur Erfassung der Richtungsverteilung bodennächster Kaltluftbewegungen (0 - 2 m ü.G.) wurden am 09./10.10.2006 an verschiedenen Standorten im Untersuchungsgebiet Rauchschwadenbeobachtungen durchgeführt.

Hierbei wurden mit Rauchkapseln die Windrichtung und mit Hilfe eines Hitzdrahtanemometers zeitgleich die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt. Die Ergebnisse sind in **Abbildung 13** dargestellt.

Entlang des Straßenzuges Flickerstal werden zwischen 23:35 und 23:45 Uhr keine relevanten Hangabwinde beobachtet. Die Rauchschwaden ziehen mit Geschwindigkeiten von ca. 0.8 – 0.9 m/s nach Südwesten ab. Dabei bildet die Gehölzreihe entlang der angrenzenden Bahntrasse eine Führungslinie. Die Nordostwinde sind regionalen Strömungseffekten zuzuordnen.

Am Standort Parkplatz / Wartenberger Weg ist gegen 23:55 Uhr ein seichter Hangabwind zu beobachten. Wie die Fotoaufnahmen (**Abbildung 14**) belegen, bewegt sich die Rauchschwade am Nordostrand des Parkplatzes zunächst in südliche Richtungen (→ Kaltluftbewegung), wobei mittlere Windgeschwindigkeiten von 0.6 m/s registriert werden. Noch vor Erreichen des Hertelsbrunnenrings knickt die Rauchfahne nach Westsüdwesten ab. Hier überwiegt bereits der Einfluss der nordöstlichen Regionalströmung.

Die Beobachtungen zeigen zudem, dass die Kaltluftabflüsse schubartig verlaufen und auch direkt am Messstandort immer wieder von der Regionalströmung durchsetzt werden.

In der zweiten Nachthälfte wurden nennenswerte Kaltluftabflüsse nur noch an den Standorten *Hertelsbrunner Hof* und in einer Senke östlich des Hölzengrabens beobachtet. Vor allem in der Senke neigt die über die Hangzone zufließende Kaltluft zu Stagnation.

Im oberen Hangbereich, noch südlich der Autobahn A 6 zeigen sich keine lokalen Kaltluftabflüsse, hier dominiert die nordöstliche Regionalströmung das örtliche Luftaustauschgeschehen. Ein Kaltlufttransport vom Freiland nördlich der Autobahn A 6 über die Trasse hinweg nach Süden erfolgt nicht.

4.3.2 Vertikalsondierungen am 30./31.10.2006

Die Fesselballonaufstiege am 30./31.10.2006 beschreiben eine extrem wind-schwache Situation mit intensiver nächtlicher Ausstrahlung.

Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 30./31.10.2006 – schwacher östlicher Gradientwind

Wetterablauf: Während des Tages herrscht nur leicht Bewölkung vor. Bereits vor Sonnenuntergang ist es wolkenlos, so dass sich lokale/regionale Klimaerscheinungen ausbilden können.

Abbildung 15: Tagsüber stellen sich entsprechend der großräumigen Luftdruckverteilung an allen Stationsstandorten schwache Winde aus östlichen Richtungssektoren ein, die sowohl in der Kaiserslauterer Innenstadt (Station *KL-Rathaus [5]*) als auch im Gewerbegebiet Nordost nur mittlere Geschwindigkeiten von 0.5 – 1.5 m/s erreichen.

Zwischen 19:00 und 20:00 Uhr setzt im Planungsgebiet und in dessen Umfeld das für Strahlungsnächte typische Strömungsgeschehen ein. Der Wind dreht unter dem Einfluss einer regionalen Ausgleichströmung zwischen den Randhöhen und der Kaiserslauterer Senke vermehrt zu nordöstlichen Richtungen. Inwiefern zusätzlich Hangabwinde über den Rotenberg das Strömungsgeschehen an den Messgebern in 5 m ü.G. beeinflussen, kann nicht verifiziert werden. Die äußerst geringen Windgeschwindigkeiten im Umfeld des Planungsgebietes dokumentieren die Empfindlichkeit des Regionalwindsystems gegenüber Strömungshindernissen in Form von Bebauung und höherer Vegetation.

Im Wohngebiet südlich der Mainzer Straße überwiegen Windstillen. Ein Zustrom von Kaltluft aus dem Hangbereich des Rotenbergs ist nicht zu registrieren.

Zwischen dem Gewerbegebiet Nordost und der Innenstadt ergeben sich am Tag Temperaturunterschiede von ca. 1.5 - 2.6°C. Im Wohngebiet südlich der Mainzer Straße werden hingegen mit dem Gewerbegebiet Nordost vergleichbare thermische Umgebungsbedingungen gemessen. Dies unterstreicht die noch recht günstige thermische Situation im Planungsumfeld.

In den Nachtstunden führt der Einfluss der regionalen Nordostströmung und das thermische Ausgleichspotenzial der Freiräume innerhalb und außerhalb des Gewerbegebietes Nordost zu einer intensiven Abkühlung. Die niedrigsten Lufttemperaturen (1.2°C) werden an den Klimamessstationen *Hertelsbrunnenring-Ost* [1] und *Wartenberger Weg* [2] registriert. Deutlich geringer ist die nächtliche Abkühlung in der Kaiserslauterer Innenstadt Station *KL-Rathaus* [5] – Tiefsttemperatur 3.5°C. Die hohe Wärmekapazität der umgebenden städtischen Bebauung vermindert den Abbau thermischer Belastungen. In den Sommermonaten ist noch mit deutlich größeren Temperaturgegensätzen zu rechnen.

Fesselballonaufstiege:

Abbildung 16.1 – Standort 1 (Parkplatz):

Auf dem Parkplatz am Wartenberger Weg zeigt sich gegen 22:00 Uhr bis 7.5 m ü.G. kurzzeitig eine nördliche Luftströmung, die auf lokale Kaltluftabflüsse über die Hangzone des Rotenbergs zurückzuführen ist. Die Windgeschwindigkeit beträgt in diesen Höhenschichten nur ca. 0.3 – 0.8 m/s. Darüber dreht der Wind zu nordöstlichen Richtungen und die Windgeschwindigkeit steigt auffallend an. Dies markiert den Einfluss des vorherrschenden regionalen Nordostwindes.

Der Kaltluftabfluss ist unstetig. Immer wieder greift die Regionalströmung bodennah durch, so dass lokale Kaltluft nur bis ca. 3.5 m ü.G. eine intensive Abkühlung bewirkt. Oberhalb von 3.5 m ü.G. steigt die Lufttemperatur rasch an. In 12.5 m ü.G. werden bereits um ca. 2.5°C höhere Lufttemperaturen gemessen.

In der zweiten Nachthälfte (02:00 Uhr) ist der Kaltluftstrom entlang des Wartenberger Wegs nicht mehr zu registrieren. Zwischen 2.5 m ü.G. und 30.0 m ü.G. herrschen regional angelegte nordöstliche Windrichtungen vor. Die mittlere Windgeschwindigkeit schwankt dabei zwischen 0.6 m/s (2.5 m ü.G.) und 2.5 m/s (25.0 bzw. 30.0 m ü.G.)

Abbildung 16.2 - Standort 2 (Flickerstal):

Am Standort *Flickerstal*, südöstlich des Gebäudekomplexes der Firma KEIPER GMBH & CO., herrschen gegen 22:30 Uhr im gesamten Messbereich zwischen 2.5 und 30.0 m ü.G. nordöstliche Luftströmungen vor, die den regionalen Ausgleichsströmungen zwischen den Randhöhen und der Kaiserslauterer Senke zuzuordnen sind. Lokale Kaltluftabflüsse über die nördlich angrenzende Freizone (Ackerflächen) werden nicht beobachtet.

Abbildung 16.3 - Standort 4 (Hertelsbrunner Hof):

In der 1. Nachthälfte (23:05 Uhr) werden am Standort *Hertelsbrunnerhof* zwischen 2.5 und 3.5 m ü.G. Winde aus nördlichen bis nordnordwestlichen Richtungen registriert, die allerdings nur mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 0.3 – 0.6 m/s aufweisen. Ähnlich wie am Standort 1 unterbricht auch hier der Einfluss der nordöstlichen Regionalströmung immer wieder den Kaltluftabfluss über die Hangzone.

Oberhalb von 3.5 m ü.G. dominieren Nordostwinde.

Zur Erfassung der Richtungsverteilung bodennächster Kaltluftbewegungen (0 - 2 m ü.G.) wurden wie bereits am 09./10.10.2006 zwischen 22:10 Uhr und 03:05 Uhr an verschiedenen Standorten im Untersuchungsgebiet Rauchschwadenbeobachtungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in **Abbildung 17** dargestellt.

Der Einfluss lokaler Kaltluftabflüsse über die Hangzone des Rotenbergs wird insgesamt nur an drei Standorten registriert.

Am Parkplatz Wartenberger Weg werden gegen 22:10 Uhr extrem schwache Nordwinde (mittlere Windgeschwindigkeit 0.3 m/s) beobachtet. Ihr Wirkungsbereich ist im Wesentlichen auf die Flächen nördlich des Hertelsbrunnenrings begrenzt. Südlich der Mainzer Straße ist kein Kaltluftzustrom über den Rotenberg zu messen.

Hangabwinde sind gegen 00:00 Uhr auch kurzzeitig in einem leichten Hangeinschnitt oberhalb des Rotenberghofs zu beobachten. Die Kaltluftströmung wird jedoch auch hier zumeist von der nordöstlichen Regionalströmung überlagert.

Ein deutlicher Zustrom bodennaher Kaltluft ist durch die Unterführung der Autobahn A 6 zu beobachten. Nördlich der Autobahn A 6 sammelt sich die Kaltluft in der Geländemulde und fließt durch die Unterführung nach Südsüdwesten ab. In anderen Bereichen entlang der Autobahntrasse ist kein derartiger Luftaustausch zu beobachten. Die Autobahntrasse wirkt zum einen als Strömungsbarriere, zum anderen unterbindet der stete Einfluss der regionalen Nordostströmung einen nachhaltigen autochthonen Luftaustausch zwischen den nördlichen und südlichen Freiräumen.

4.4 Verteilung der Lufttemperatur nach Messfahrten

Zur flächendeckenden Analyse klimaökologischer Funktionsabläufe, die u.a. durch die Lagebeziehung des Untersuchungsgebietes zu größeren vegetationsbedeckten Freiräumen und der Flächennutzung geprägt werden, wurden am 09./10.10.2006 und am 30./31.10.2006 Lufttemperaturmessfahrten durchgeführt. Ein speziell ausgestattetes Messfahrzeug registrierte auf einer netzartig angelegten Messroute kontinuierlich die Lufttemperatur in 2 m ü.G.

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 Geländere relief 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. Über Vegetationsflächen (z.B. Wiesen, Ackerflächen) ist diese Abkühlung besonders intensiv. In ebenem Gelände stagniert die so entstehende 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. entlang des Wartenberger Wegs) 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.

Die Isothermenkarten (**Abbildungen 18.1 - 19.2**) zeigen die flächenhafte Verteilung der Lufttemperatur während klimaökologisch relevanten Strahlungswetterlagen.

In der Darstellung der Lufttemperaturverteilung markiert die jeweilige Isotherme (Linie gleicher Lufttemperatur) den Übergang zu einem anderen Temperaturwert. Im vorliegenden Fall umfassen die Farbflächen zwischen zwei Isothermen jeweils einen Temperaturbereich von 0.5°C.

4.4.1 Temperaturmessfahrten am 09./10.10.2006

Abbildung 18.1: Auf der Isothermenkarte von 19.00 - 20:15 Uhr lassen sich deutlich die lage- und flächennutzungsspezifischen thermischen Unterschiede im Umfeld des Planungsgebietes „Hertelsbrunnen“ erkennen.

Die höchsten Lufttemperaturen treten westlich des Nordbahnhofs im Bereich Hilgardring/Benzinoring auf (> 13.5°C) auf. Die tiefsten Werte (< 11.0°C) werden im Hangeinschnitt Flickerstal/Eselsbachtal nordöstlich der AS Kaiserslautern-Ost gemessen, wo sich die von den angrenzenden Hangzonen zuströmende und örtlich gebildete Kaltluft sammelt und die regionale Nordostströmung nicht bodennah durchgreifen kann.

Wie die Isothermenkarte verdeutlicht, stellt sich das Gewerbegebiet Nordost thermisch günstig dar. Die Lufttemperaturen steigen nicht über die Werte der durchgrüneten Wohnbebauung südlich der Mainzer Straße an. Die bislang nur mäßige Bebauungsdichte sowie die noch recht großzügigen Abstandsflächen unterbinden die Ausbildung einer prägnanten „Wärmeinsel“. Zudem wird mit der an Strahlungstagen meist vorherrschenden regionalen Nordostströmung Kaltluft aus dem Umland herangeführt, so dass nach Sonnenuntergang eine rasche Abkühlung erfolgt. Die vegetationsbedeckten Freiflächen und Ackerflächen zwischen Gewerbegebiet und Autobahn A 6 fungieren dabei als Luftleitbahn, über welcher der Regionalwind bodennah durchgreifen kann. Die örtlich produzierte Kaltluft wird nach Südwesten verfrachtet, wodurch auch die Bebauung westlich des Baalborner Wegs von der thermischen Ausgleichsleistung der Freiflächen profitiert.

Verhältnismäßig niedrige Lufttemperaturen werden auch im Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ unterhalb des Hertelsbrunner Hofes und unterhalb des Rotenbergshofs gemessen (11.5 – 12.0°C). In Geländemulden und Hangeinschnitten sammelt sich die bodennahe Kaltluft vermehrt, so dass dort die nächtliche Abkühlung intensiviert wird.

Intensive abendliche Abkühlung ist auch nördlich der Mainzer Straße im Talzug „Baalborner Weg/Zum Eselsbachtal zu erkennen. Oberhalb des Nordbahnhofs neigt die über die nördliche Hangzone zuströmende Kaltluft vermehrt zu Stagnation.

Abbildung 18.2: In der 2. Nachthälfte (00:30 – 01:45 Uhr) zeigt sich eine vergleichbare Verteilung der Lufttemperatur. Auffallend niedrige Lufttemperaturen werden wiederum im Gewerbegebiet Nordost gemessen, was darauf hinweist, dass die angrenzenden Freiräume (u.a. das Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“) thermisch bedeutsame Ausgleichseffekte bewirken.

4.4.2 Temperaturmessfahrten am 30./31.10.2006

Abbildung 19.1: Bei vorherrschenden Winden aus nordöstlichen Richtungen ist es im Planungsgebiet und im Gewerbegebiet Nordost mit Lufttemperaturen zwischen 7.0 und 8.2°C um ca. 2.0°C kühler als am Ostr and der Kaiserslauterer Innenstadt. Zur Gewerbebebauung entlang der Mainzer Straße stellen sich Lufttemperaturdifferenzen von ca. 0.5 – 1.5°C ein.

Kühler als das Planungsgebiet stellen sich am Abend nur die Freiflächen nördlich der Autobahn A 6 dar sowie der Freiraum Grübentälchen südöstlich der Mainzer Straße. Im Umfeld der Klimamessstation *Friedenstraße* [4] werden ähnlich hohe Lufttemperaturen gemessen wie im Gewerbegebiet Nordost.

Die Isothermenkarte dokumentiert zudem, dass die seicht über die Hangzone des Rotenbergs nach Süden abfließende Kaltluft nur bis zur Bahnlinie nördlich der Mainzer Straße Wirkung zeigt. Neben dem Einfluss der vorherrschenden regionalen Nordostströmung verhindern auch die Bahntrasse mit den begleitenden Gehölzen sowie die Bebauung entlang der Mainzer Straße ein weiteres Vordringen der bodennahen Kaltluft nach Süden.

Die Isothermenkarte verdeutlicht auch die Barrierewirkung der Autobahntrasse. Durch den dammartigen Verlauf der Trasse kommt es nördlich der Autobahn vor allem in Mulden zu vermehrter Kaltluftstagnation. Ein nennenswerter Kaltlufttransport über die Autobahn hinweg nach Süden wird unterbunden. Zudem stehen dem Luftaustausch auch die „Wirbelschleppen“ des Kfz-Verkehrs entgegen. Sie führen zu einer turbulenten Durchmischung bodennaher Kaltluft mit wärmerer Luft höherer Luftschichten. Der laminare Kaltluftstrom wird unterbrochen.

Abbildung 19.2 gibt die thermische Situation zu Beginn der zweiten Nachthälfte wieder.

Zwischen erster und zweiter Messfahrt ist die Lufttemperatur im Zuge der nächtlichen Abkühlung im innenstadtnahen Bereich um ca. 4°C und in den kühleren Bereichen um ca. 3°C zurückgegangen. Die maximalen Temperaturunterschiede zwischen kühleren und wärmeren Bereichen liegen bei ca. 3°C.

Die niedrigsten Lufttemperaturen (< 3°C) werden wie derum in Richtung Eselbachtal sowie im Bereich Grübentälchen gemessen. Aber auch unterhalb des Rotenbergahofs sind die Lufttemperaturen im Zuge der nächtlichen Abkühlung auf Werte von unter 3°C gesunken.

Das Gewerbegebiet Nordost hebt sich thermisch kaum von den umgebenden Freizonen ab, was die derzeit noch günstige Klimasituation unterstreicht.

Im Bereich des Gewerbegebietes Nordost greifen die seichten Kaltluftbewegungen über den Rotenberg und die nordöstliche Regionalströmung ineinander, so dass die Ausbildung einer „Wärmeinsel“ unterbunden wird. Das Planungsgebiet trägt als siedlungsnahes Kaltluftentstehungsgebiet zur positiven Gestaltung der thermischen Umgebungsbedingungen bei.

5 Zusammenfassende Darstellung der klimaökologischen Funktionsabläufe

Der Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ ist Bestandteil des Freiraumgefüges Rotenberg, das sich nördlich des Gewerbegebietes Nordost von der AS Kaiserslautern-Ost bis zum Baalborner Weg erstreckt. In Anbetracht der bislang noch geringen baulichen Nutzung (vereinzelte Aussiedlerhöfe) vollbringt der Freiraum für das Gewerbegebiet Nordost noch messbare klimaökologische Gunstwirkungen (→ Kaltluftzufuhr und Ventilationseffekte).

Um die klimaökologische Funktion und stadtklimatische Bedeutung des Planungsgebietes und dessen Umfeld nachvollziehen zu können, muss man berücksichtigen, dass sich im Verlauf lokalklimatisch relevanter Wetterlagen über die Freiräume im Tagesverlauf für die angrenzende Bebauung, sowohl betreffend der Effektivität als auch des zeitlichen Auftretens, unterschiedliche klimaökologische Positiveffekte ergeben.

Das Freiraumgefüge wirkt aufgrund seiner Ausdehnung und seiner Lagebeziehung zur Bebauung sowohl passiv als auch aktiv.

Die *passive Wirkung* besteht darin, dass aufgrund der im Vergleich zur angrenzenden Bebauung geringeren Oberflächenrauigkeit des weitgehend unbebauten Freiraumes Luftmassen der höheren Atmosphäre in den bodennahen Luftraum durchgreifen können, womit sich auch bei Schwachwindsituationen über die den einzelnen Teilbereichen der Bebauung zugeordneten Freiräume sowohl am Tag als auch in der Nacht ein intensivierter Luftaustausch Freiland - Bebauung ergibt. Außerdem funktionieren die Freiräume als Regenerationsräume für thermisch bzw. lufthygienisch belastete Luftmassen.

Die *aktive Wirkung* der Freiräume besteht darin, dass sich im Randbereich der bestehenden Bebauung ortsspezifische, kleinräumig ablaufende klimaökologische Positiveffekte (Luftaustausch zwischen Freiflächen und Bebauung) entwickeln können. Da Kaltluft spezifisch schwerer ist als Warmluft, ist sie vermehrt bestrebt sich zu den tiefsten Punkten des Geländes zu bewegen. Bereits kleinere Hangeinschnitte sind bevorzugte Leitlinien der Kaltluftbewegung.

Die Kaltluftbewegung und die sich daraus entwickelnden Lokalströmungen beschränken sich an Hängen weitgehend auf den bodennäheren Luftraum. Daher können Dämme, Gehölzgruppen und Bebauung oft zum unüberwindbaren Hindernis werden.

In **Abbildung 20** "Klimatopkarte" wurden vom Planungsbüro STEINICKE & STREIFENEDER (1996) die Kaltluftbewegung und die daraus entstehenden Lokalströmungen grafisch dargestellt. Zudem fanden großräumig angelegte Luftströmungen Beachtung. Grundlage bilden die Ergebnisse der Thermalbildbefliegung. Die Karte unterscheidet z.B. folgende Bereiche:

- Kaltluftabfluss- und Kaltluftsammelbereiche
- Flächenhafte Kaltluftabflüsse
- Strömungsbarrieren
- Flächen mit verstärkter Neigung zu Kaltluftstagnation
- Windoffene Luftleitbahnen

Insgesamt können die in der Klimafunktionskarte von 1996 dargestellten Funktionsabläufe durch die Untersuchungen bestätigt und weiter präzisiert werden → vgl. **Abbildung 21** (Klimafunktionskarte).

Im Verlauf windschwacher, lokalklimatisch relevanter Wetterlagen baut sich im Nordosten von Kaiserslautern sowohl ein regionales als auch ein lokales, ortsspezifisches Strömungsgeschehen auf, das mit auf die nächtliche Kaltluftentstehung über den stadtnahen vegetationsbedeckten Flächen und auf die Kaltluftbewegung über Hänge und entlang der Täler zurückzuführen ist. Aufgrund der Beckenlage des Stadtgebiets können sich über die Randbebauung zum Stadtzentrum gerichtete regionale Luftaustauschbewegungen ausbilden, die bei Strahlungswetterlagen in meist gleicher Ausprägung zu beobachten sind.

Über das Planungsgebiet ergeben sich ganztägig klimaökologische Positiveffekte. Am Tag können überregionale Luftströmungen (z.B. Südwestwinde) bodennah durchgreifen und reduzieren in den zugeordneten Wirkungsräumen (Gewerbegebiet Nordost), infolge des intensiveren vertikalen und horizontale Luftaustausches, an heißen Sommertagen die von der Bebauung ausgehenden bioklimatischen Belastungen. Zudem wird die lokale Immissionsbelastung entlang der vielbefahrenen Autobahn A 6 minimiert.

Nach Sonnenuntergang, wenn über landwirtschaftlich genutzten Flächen die Kaltluftproduktion einsetzt und sich in der Kaiserslauterer Senke eine Bodeninversion bildet, entwickelt sich entlang des unteren Hangbereiches des Rotenbergs ein von der großwetterlagenbedingten Höhenströmung entkoppeltes Strömungsgeschehen. Durch den meist steten Einfluss regionaler nordöstlicher Ausgleichsströmungen zwischen den Randhöhen und der Kaiserslauterer Senke werden die lokalen Kaltluftbewegungen häufig überlagert. Nur in Hangeinschnitten kann daher nach Sonnenuntergang ein nennenswerter, in Richtung Bebauung gerichteter Kaltluftabfluss registriert werden. Die betrifft vor allem den Bereich entlang des Wartenberger Wegs und die Hangmulde östlich des Hölzengrabens. Die vertikale Mächtigkeit der Hangabwinde ist in diesen Teilbereichen auf max. 6 – 8 m beschränkt. Die Abflussgeschwindigkeit liegt bei unter 1.0 m/s. Auf Höhe des Hertelsbrunnenrings dominiert bereits wieder der Einfluss der regionalen Nordostströmung, so dass bereits die Bebauung entlang der Mainzer Straße nur noch bedingt vom lokalen thermischen Ausgleichspotenzial der vegetationsbedeckten Hangzone des Rotenbergs profitiert. Zwischen dem Freiraum „Rotenberg“ und der Wohnbebauung südlich der Mainzer Straße ergeben sich nach Sonnenuntergang keine direkten klimaökologischen Wirkungsbeziehungen.

Anhand der Lufttemperaturverteilung während durch Hochdruck beeinflusster Wetterlagen werden die Auswirkungen lokaler Faktoren auf das Klima deutlich erkennbar (siehe Kap. 4.2 und 4.4). 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 regionale und 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 neben regional angelegten Ausgleichsströmungen zwischen den Randhöhen und der

Kaiserslauterer Senke auch lokale Luftströmungen, deren Existenz auf die Kaltluftproduktion der Freiräume und die Kaltluftbewegung über Hänge und Hangeinschnitte zurückzuführen ist, in bedeutendem Maße das Ventilationsgeschehen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld. Da diese lokalen Luftzirkulationen nur eng begrenzte horizontale und vertikale Reichweiten entwickeln, in ihrer Summenwirkung aber das Ventilationsgeschehen bei windschwachen, austauscharmen Wetterlagen mitbestimmen, ist dem Erhalt ihrer Entstehungsgebiete und ihrer bevorzugten Zugbahnen besondere Beachtung zu schenken.

6 Planungsempfehlungen

Die Erkenntnisse aus der vertiefenden Klimauntersuchung belegen, dass das Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ zwischen der AS Kaiserslautern-Ost und dem Gewann *Hölzengraben* Teil eines klimaökologisch bedeutsamen Ausgleichsraumes ist, der gantztägig einen intensiven Luftaustausch ermöglicht. Sowohl großräumig als auch regional/lokal angelegte Luftströmungen können bodennah durchgreifen und für die angrenzende Bebauung wesentliche klimaökologische Gunsteffekte bewirken.

Als Teilbereich des Freiraumgefüges zwischen der Autobahn A 6 und dem bestehenden Gewerbegebiet Nordost weist das potenzielle Planungsgebiet bezüglich seiner klimaökologischen Leistungsfähigkeit eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen in Form von Flächenversiegelung und Hochbau auf. Kleinräumige Modifikationen mögen bei isolierter Betrachtung keine gravierenden klimaökologischen Folgeerscheinungen erwarten lassen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch weitere Erschließungsmaßnahmen im Westen des Gewerbegebietes (siehe **Abbildung 1**) und durch bauliche Verdichtungen in der bestehenden Bebauung weitere klimaökologisch aktiv und passiv wirkende Freiflächen verloren gehen werden. Auch kleinräumige Flächennutzungsänderungen können daher zu einer weiteren nachhaltigen Modifikation der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe führen. Der Vermeidung von negativen Summationseffekten ist daher Beachtung zu schenken.

Im konkreten Fall der geplanten Gewerbebebauung bedeutet dies, dass die Planung auf die klimaökologischen Belange derart abgestimmt werden muss, dass negative klimaökologische Folgeerscheinungen weitgehend minimiert werden.

Aus Sicht der Klimaökologie ist bei Realisierung der Gewerbegebietserweiterung entscheidend, dass der von der Bebauung ausgehende „Wärmeineleffekt“ und die Barrierewirkung für regionale und lokale Strömungssysteme sowohl von ihrer Intensität als auch von ihrer räumlichen Ausdehnung möglichst gering bzw. eng begrenzt bleiben.

So wird z.B. bei Entwicklung einer ausgeprägten „Wärmeinsel“ die bodennah entstehende Kaltluft vermehrt turbulent mit wärmeren Luftmassen darüber liegender Luftschichten durchmischt, so dass der Abkühlungseffekt der nordöstlichen Regionalströmung für die südwestlich angrenzende innenstadtnahe Bebauung nachhaltig reduziert wird.

Für das Planungsgebiet ist daher wichtig, dass

- nicht nur bebauungsinterne Freiflächen zur Sicherung eines wirksamen Kalt- und Frischluftpotenzials (klimaökologische Aktivwirkung) erhalten bleiben, sondern dass auch funktionsfähige Ventilations- bzw. Belüftungsbahnen ausgewiesen werden, die zum Erhalt günstiger bodennaher Luftaustauscheffekte (klimaökologische Passivwirkung) beitragen
- dass der Freiflächenverbrauch durch versiegelte Parkierungsflächen und sonstige versiegelten Freianlagen eng begrenzt bleibt
- dass bei der Planung klimaökologisch wirksame grünordnerische Maßnahmen Berücksichtigung finden

Zielvorstellungen zur Sicherung günstiger Belüftungsverhältnisse im Planungsgebiet und in dessen Umfeld

Wie die Ergebnisse der vertiefenden Klimauntersuchung bestätigen, nimmt die in Strahlungsnächten sich entwickelnde nordöstliche Regionalströmung im ortsspezifischen Klimageschehen einen hohen Stellenwert ein. Die von ihr ausgehenden bioklimatischen Positiveffekte für die bestehende Bebauung südwestlich des Planungsgebietes sind weitgehend zu sichern.

Bei der Entwicklung von Nutzungsschablonen für die baulichen Gestaltung des Gewerbegebietes ist bedeutsam, dass neben der Ausgestaltung hangparalleler Ventilationsbahnen auch eine Querbelüftung in N-S-Richtung erfolgen kann. Die bebauungsinternen Ventilationsachsen können dabei an Erschließungsstraßen geknüpft sein, wie dies bereits in der bestehenden Bebauung realisiert wurde (Hertelsbrunnenring). Der freie Strömungsquerschnitt von Ventilationsachsen in ENE-WSW-Richtung ist dabei von der angrenzenden Gebäudeausformung abhängig, sollte jedoch eine Mindestbreite aufweisen, die dem ca. 3- bis 4-fachen der Höhe benachbarter Gebäude entspricht. Eine Breite von 30 m sollte jedoch nicht wesentlich unterschritten werden.

In N-S-Richtung sollte vor allem entlang des Wartenberger Wegs eine zentrale Belüftungssachse mit einer Mindestbreite von ca. 40 - 50 m Breite erhalten bleiben. Wie die Geländeuntersuchungen belegen, fungiert der Hangeinschnitt als Kaltluftammel- und Kaltluftabflussbereich für die aus dem Bereich *Krumme Äcker/Am Baalborner Pfad* zuströmende Kaltluft. Die Ventilationsachsen können von Laubbaumhochstämmen begleitet werden.

Zielvorstellungen zur Sicherung eines günstigen Eigenklimas innerhalb der geplanten Bebauung:

Zur Sicherung eines günstigen Eigenklimas im Planungsgebiet „Hertelsbrunnen“ ist eine möglichst netzartige Struktur von Frei- und Abstandsflächen zu empfehlen. Sie soll gewährleisten, dass bei klimaökologisch besonders relevanten Strahlungswetterlagen sowohl am Tag als auch in der Nacht eine ausreichende bodennahe Ventilation stattfinden kann. Während Erschließungsstraßen, Fußwege, Stellflächen und platzartige Aufweitungen des Straßenraumes dabei ausschließlich als Strömungsleitlinien dienen, funktionieren bebauungsinterne, vegetationsbedeckte Freizonen (Wiesen und Rasenflächen mit Gehölzbeständen) zudem als thermische Gunstflächen.

Sind in Teilbereichen des Planungsgebietes großflächige Baukörper geplant, die auf den betroffenen Grundstückspartellen keine klimaökologisch wirksame Grün- bzw. Freiflächengestaltung ermöglichen (z.B. Rasenflächen, Strauch- und Baumpflanzungen), sollten zur Minimierung thermischer Negativeffekte Dach- und/oder Fassadenbegrünungen festgesetzt werden.

Dachbegrünungen unterstützen die Gestaltung günstiger thermischer Umgebungsbedingungen. Sie bewirkt folgende klimaökologische 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%.

Bei der Befestigung von Parkierungsflächen ist die Verwendung von Rasengittersteinen zu empfehlen, da gegenüber Asphaltdecken die Aufheizung an warmen Sommertagen deutlich geringer ist.

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

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

Zielvorstellungen hinsichtlich der Gebäudeanordnung und den max. Gebäudehöhen

Unter Berücksichtigung der thermischen, lufthygienischen und ventilations-spezifischen Gegebenheiten empfiehlt sich eine Anordnung größerer Gewerbestrukturen im südlichen Teilbereich des Planungsgebietes, um am Nordrand durch kleinteilige Strukturen eine möglichst offene räumliche Verzahnung mit dem Freiland zu ermöglichen.

Die maximal zulässige Höhe der Baukörper sollte 15 m nicht überschreiten. Entlang des Wartenberger Wegs wären maximale Gebäudehöhen von ca. 9 – 12 m zu empfehlen. Punktuelle Ausnahmen können gestattet werden, wenn hierfür auf dem Grundstück ein entsprechender Bauvolumenausgleich stattfindet.

7 Zusammenfassung

Gegenstand des Klimagutachtens ist die Erarbeitung kleinräumiger klimatischer Grundlagendaten und die Beurteilung der klimaökologischen Folgeerscheinungen durch die geplante Erweiterung des Gewerbegebietes Nord-Ost in Kaiserslautern.

7.1 Untersuchungsmethodik

- a) *Bestandsaufnahme* mit Hilfe vorliegender Grundlagendaten - STEINICKE & STREIFENEDER 1998.
- b) *Vertiefende Untersuchung* der ortsspezifischen klimaökologischen Folgeerscheinungen mit Hilfe von 4 Temporärwärmestationen, kleinaerologischen Sondierungen und Lufttemperaturmessfahrten.
- c) *Bewertung und Planungsempfehlungen* auf Grundlage der o.a. Untersuchungen

7.2 Klimaökologische Funktionsabläufe

Die Luftaustauschbedingungen im Kaiserslauterer Becken sind im Allgemeinen als ungünstig zu bewerten (STEINICKE & STREIFENEDER 1998), weshalb bei städtebaulichen Entwicklungsmaßnahmen klimatischen Belangen verstärkt Beachtung zu schenken ist.

Mittlere Windgeschwindigkeiten von über 3.0 m/s, die eine intensive Durchlüftung ermöglichen, treten im langjährigen Mittel nur zu ca. 11% der Jahresstunden auf, wobei reliefbedingt westsüdwestliche und ostnordöstliche Windrichtungen dominieren.

Wie die Untersuchungsergebnisse dokumentieren, ergeben sich über das Planungsgebiet gantztägig klimaökologische Positiveffekte. Während innerhalb der Wohnbebauung südlich der Mainzer Straße tagsüber mittlere Windgeschwindigkeiten von nur 1.7 m/s gemessen werden (Station *Friedenstraße [4]*), stellen sich im Gewerbegebiet Nordost und in dessen Umfeld um ca. 18 – 30% höhere Windgeschwindigkeiten ein, wobei neben der bislang nahezu un bebauten Hangzone auch der Hertelsbrunnenring als Luftleitbahn fungiert (vgl. **Abbildung 21**). Hier können am Tag überregionale Luftströmungen (z.B. Südwest- und Nordostwinde) bodennah durchgreifen.

Infolge des intensiveren vertikalen und horizontalen Luftaustausches kommt es in den zugeordneten Wirkungsräumen (Gewerbegebiet Nordost, Wohnbebauung westlich der Linie Baalborner Weg) vor allem an heißen Sommertagen zu einer Abschwächung der lokalen bioklimatischen Belastungen. Der intensivere Luftaustausch mindert zudem die lokale Immissionsbelastung entlang der vielbefahrenen Autobahn A 6.

Nach Sonnenuntergang, wenn über landwirtschaftlich genutzten Flächen die Kaltluftproduktion einsetzt und sich in der Kaiserslauterer Senke eine Bodeninversion bildet, entwickelt sich entlang des unteren Hangbereiches des Rotenbergs ein von der großwetterlagenbedingten Höhenströmung entkoppeltes Strömungsgeschehen. Durch den meist steten Einfluss regionaler nordöstlicher Ausgleichsströmungen zwischen den Randhöhen und der Kaiserslauterer Senke werden die lokalen Kaltluftbewegungen jedoch häufig überlagert. Nur in Hang Einschnitten kann daher nach Sonnenuntergang ein deutlicher, in Richtung Bebauung gerichteter Kaltluftabfluss registriert werden. Dies betrifft vor allem den Bereich entlang des Wartenberger Wegs und die Hangmulde östlich des Hölzengrabens. Die vertikale Mächtigkeit der Hangabwinde beträgt in diesen Teilbereichen ca. 6 – 8 m. Die Abflussgeschwindigkeit liegt bei unter 1.0 m/s.

Auf Höhe des Hertelsbrunnenrings dominiert bereits wieder der Einfluss der regionalen Nordostströmung, so dass bereits die Bebauung entlang der Mainzer Straße nur noch bedingt vom lokalen thermischen Ausgleichspotenzial der vegetationsbedeckten Hangzone des Rotenbergs profitiert. Zudem bildet der Geländeeinschnitt der Bahntrasse eine Kaltluftbarriere.

Zwischen dem Freiraum „Rotenberg“ und der Wohnbebauung südlich der Mainzer Straße ergeben sich nach Sonnenuntergang keine direkten klimaökologischen Wirkungsbeziehungen. Hier bestimmt die örtliche Flächennutzung die thermischen Verhältnisse.

Die thermische Gunstwirkung des Planungsgebietes und der übrigen Hangzone zeigt sich daher vor allem im Gewerbegebiet Nordost und im Bereich der Bebauung westlich der Linie Baalborner Weg, die gegenüber den angrenzenden Freiräumen nur mäßig überwärmt sind. Mit der regionalen Nordostströmung wird die bodennahe Kaltluft nach Südwesten in innenstadtnahe Lagen transportiert und sorgt auch dort für eine Intensivierung der nächtlichen Abkühlung, was sich vor allem an warmen Sommertagen bioklimatisch positiv auswirkt.

7.3 Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung, Minimierung bzw. zum Ausgleich klimaökologischer Negativeffekte:

Durch die geplante Erweiterung des Gewerbegebietes Nordost kommt es zu einem großflächigen Verlust siedlungsnaher Kaltluftproduktionsflächen, zur Erhöhung der Oberflächenrauigkeit (→ Verminderung der bodennahen Durch- und Belüftung) und zu erhöhten lufthygienischen Belastungen. Die lufthygienische und bioklimatische Ausgleichsfunktion der Hangzone zwischen Autobahn A 6 und dem bestehenden Gewerbegebiet Nordost wird nachhaltig reduziert.

Aus Sicht der Klimaökologie ist daher bei Realisierung der Gewerbegebietserweiterung bedeutsam, dass der von der Bebauung ausgehende *Wärmeinseleffekt* und die *Barrierewirkung* für regionale und lokale Strömungssysteme sowohl von ihrer Intensität als auch von ihrer räumlichen Ausdehnung möglichst gering bzw. eng begrenzt bleiben (vgl. Kap. 6).

- a) Sicherung eines ca. 40 - 50 m breiten Freiraumkorridors entlang des Wartenberger Wegs. Der Freiraumkorridor dient als Ventilationsachse in N-S-Richtung und unterstützt zudem die Belüftung des Gewerbegebietes bei Winden aus östlichen und westlichen Richtungssektoren (**Abbildung 22**).

Textliche Festsetzungen:

Entwicklung eines ca. 40 - 50 m breiten Freiraumkorridors entlang des Wartenberger Wegs (Planstraße) in N-S-Richtung.

Die Freiflächen östlich und westlich der Straße sind einreihig mit Laubhochstämmen im Abstand von ca. 20 m zu pflanzen. Zur weiteren Begrünung der Freiflächen sind Extensivrasenflächen zu entwickeln.

- b) Zur Sicherung günstiger ortsspezifischer Be- und Durchlüftungsbedingungen sind zum einen bebauungsinterne Ventilationsachsen in WSW-ENE-Ausrichtung vorzusehen (diese können an Erschließungsstraßen geknüpft sein) und zum anderen sind die Längsachsen von Gebäuden möglichst in WSW-ENE-Richtung auszurichten.

Textliche Festsetzungen:

Entlang der Planstraße ist zwischen den Gebäudekörpern im Norden und Süden ein Mindestabstand von 30 m zu sichern (**Abbildung 22**).

Gebäudekörper mit eindeutiger Ausrichtung der Hauptfirstrichtung (Längsachse) sind in WSW-ENE-Richtung (70°/250°) anzuordnen. Abweichungen von 15° sind zulässig.

- c) Zur inneren Durchgrünung des Planungsgebietes sind innerhalb der öffentlichen Verkehrsflächen (Planstraße) Anpflanzungen von Laubhochstämmen vorzusehen.

Textliche Festsetzungen:

Innerhalb der öffentlichen Verkehrsflächen sind Baumreihen einer Baumart einseitig des Straßenkörpers im Abstand von ca. 20 m zu pflanzen. Für Zufahrten und/oder Zugänge sind axiale Verschiebungen entlang der Straßenfront zulässig. Die Baumscheiben sollten Größen von mind. 4 m² aufweisen und offengehalten werden.

- d) Die nicht überbaubaren Grundstücksflächen sind derart grünordnerisch zu gestalten, dass sie als klimaökologisch wirksame Ausgleichsflächen fungieren.

Textliche Festsetzungen:

Die nicht überbaubaren Grundstücksflächen sind als Grünflächen anzulegen. 50% davon sind mit standortgerechten Laubgehölzen zu bepflanzen. Der Rest ist als Extensivrasenfläche oder Sukzessionsfläche zu entwickeln.

- e) Zur günstigen Gestaltung der thermischen Umgebungsbedingungen sollten Oberflächen nicht flächig versiegelt werden. Sie sind luft- und wasserdurchlässig zu gestalten. Zudem sind Dach- und Fassadenbegrünungen vorzusehen.

Textliche Festsetzungen:

Die befestigten Oberflächen auf privaten Grundstücken (Zufahrten, Weg, Höfe, Lagerplätze) sind – soweit vom Betriebsablauf möglich – mit wasserdurchlässigen Oberflächenmaterialien auszubauen (z.B. Rasenfugenpflaster, Dränpflaster). Bituminöse und betonierte Oberflächen sollten ausschließlich für Fahrbahnen, Grundstücks- und Gebäudezufahrten als auch für Lagerflächen zulässig sein, die für den Schwerverkehr zugänglich sind.

Größere fensterlose Fassaden sollten anteilig begrünt werden. Fassaden von über 30 m Länge sind durch Anpflanzung von Laubbäumen – soweit vom Betriebsablauf möglich – gliedernd zu gestalten.

Dächer mit Neigungen unter 15° sind extensiv zu begrünen.

gez. A. Burst
ÖKOPLANA

8 Literaturverzeichnis

GEIGER, R. 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig.

ÖKOPLANA 1999: Klimaökologische Analyse im Kernstadtgebiet von Marburg an der Lahn. Mannheim.

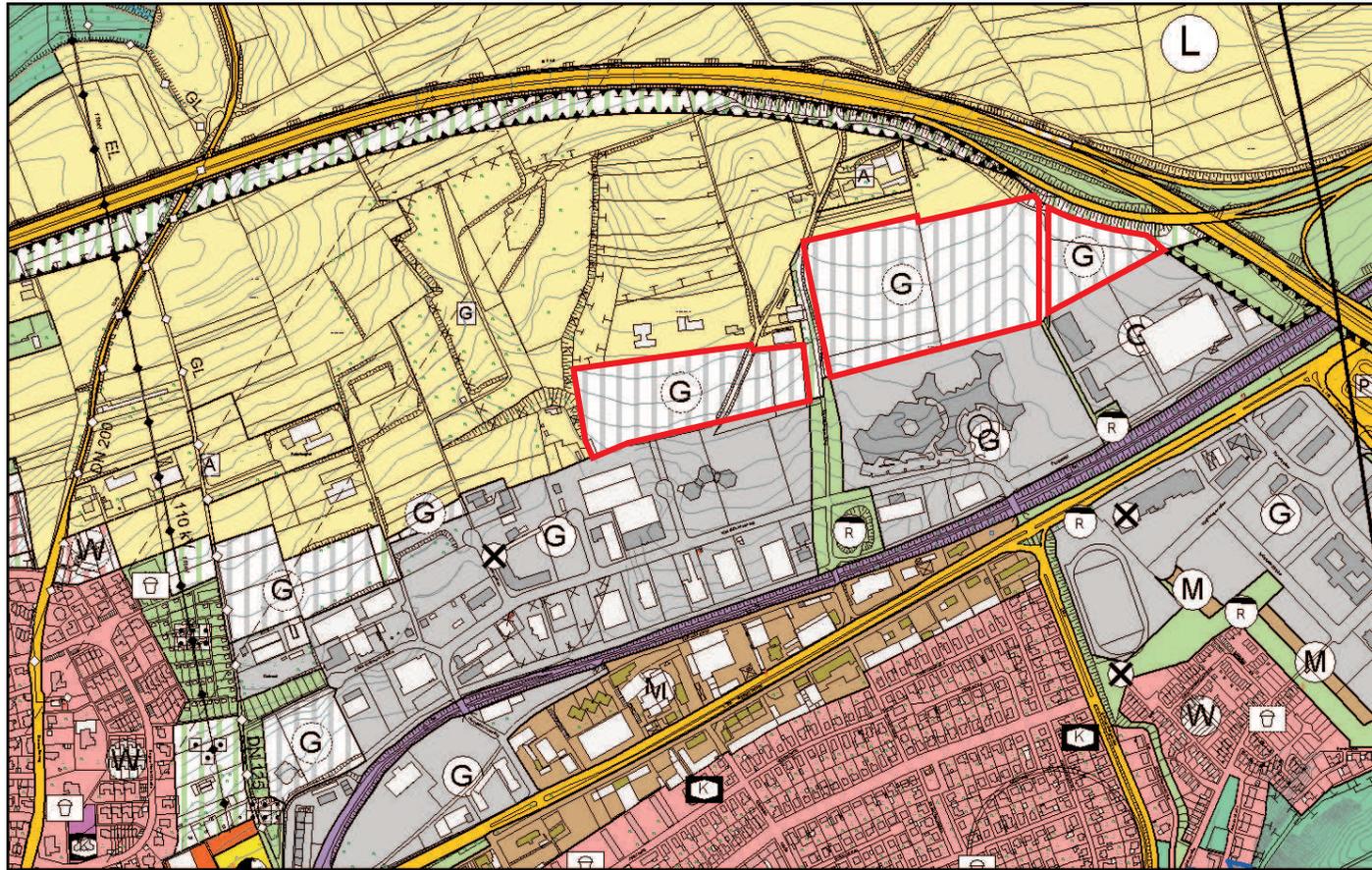
ÖKOPLANA 1993: Klimaökologische Analyse im Stadtgebiet Leonberg. Mannheim.

STEINICKE & STREIFENER 1996: Klimaökologischer Begleitplan zum Flächennutzungsplan 2010. Hrsg.: Stadtplanungsamt Kaiserslautern.

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

Internetinformationen: <http://www.dwd.de>

Abb. 1 Planungsgebiete im Bereich "Hertelsbrunnen" - Auszug aus dem Flächennutzungsplan 2010



 Planungsgebiete

Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern



M.:
0 100 400 m

ÖKOPLANA

 **Referat - Stadtentwicklung -**
Abteilung: Stadtplanung

Digitale Kartengrundlage (c) Referat Stadtentwicklung
Nur für den Dienstgebrauch

Planinhalt:	Flächennutzungsplan 2010
Bearbeiter:	Marita Denzer
Datum:	28.03.2006

Abb. 2 Luftaufnahme - Planungsgebiet "Hertelsbrunnen"



Luftbild bereitgestellt von:
Stadt Kaiserslautern

 Planungsgebiete

Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern



M.:
0 50 200 m

Abb. 3.1 Standorte der Klimamessstationen

Hertelsbrunnenring-Ost [1]



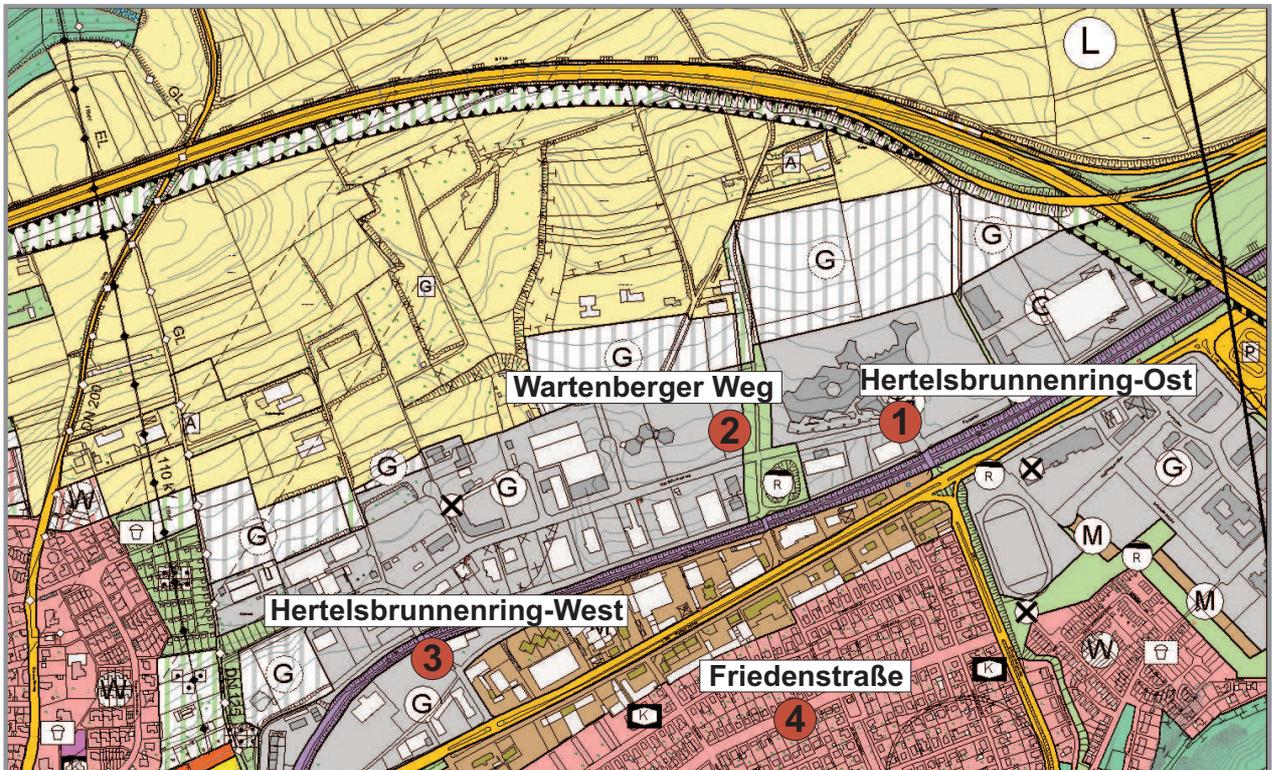
Wartenberger Weg [2]



Hertelsbrunnenring-West [3]



Friedenstraße [4]

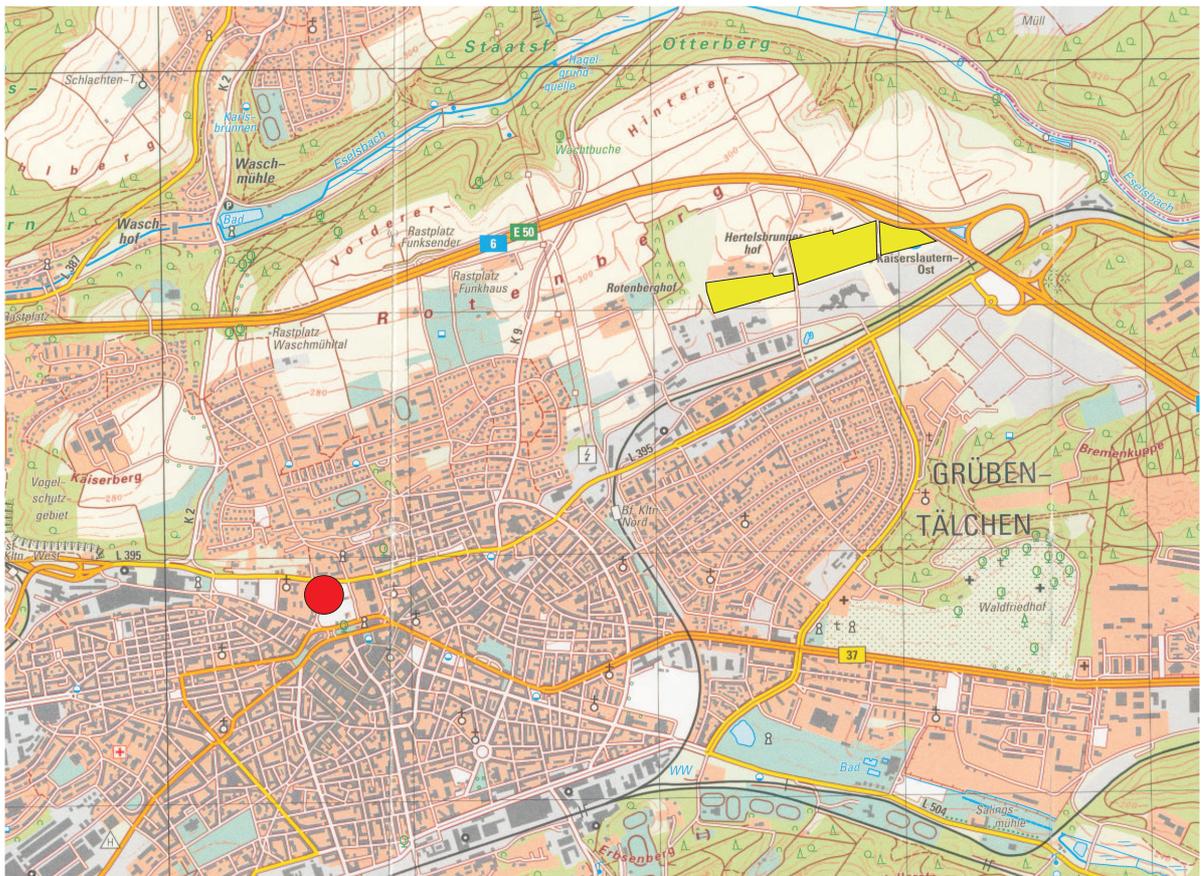


Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern



Abb. 3.2 Luftmessstation Kaiserslautern-Rathaus

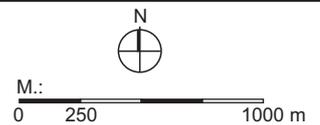
Luftmessstation Kaiserslautern-Rathaus



 Planungsgebiet

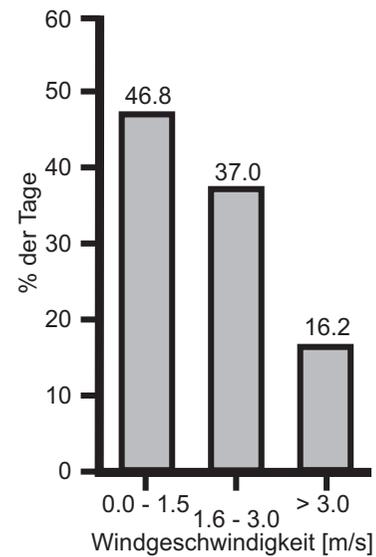
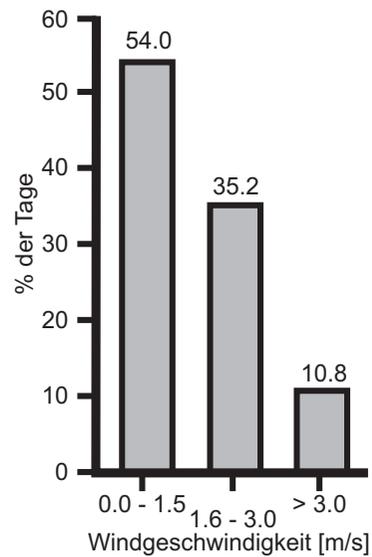
 Station Kaiserslautern-Rathaus des Luftmessnetzes Rheinland-Pfalz

Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern



ÖKOPLANA

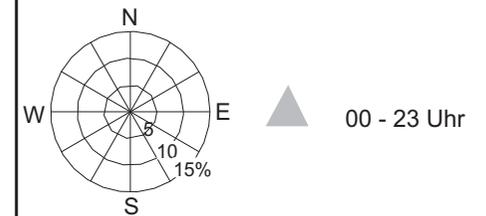
Abb. 4 Vergleich der Windverhältnisse / langjähriges Mittel - Kurzzeitraum 2006



Datenquelle:

Klimaökologischer Begleitplan
zum FNP 2010 (1996)

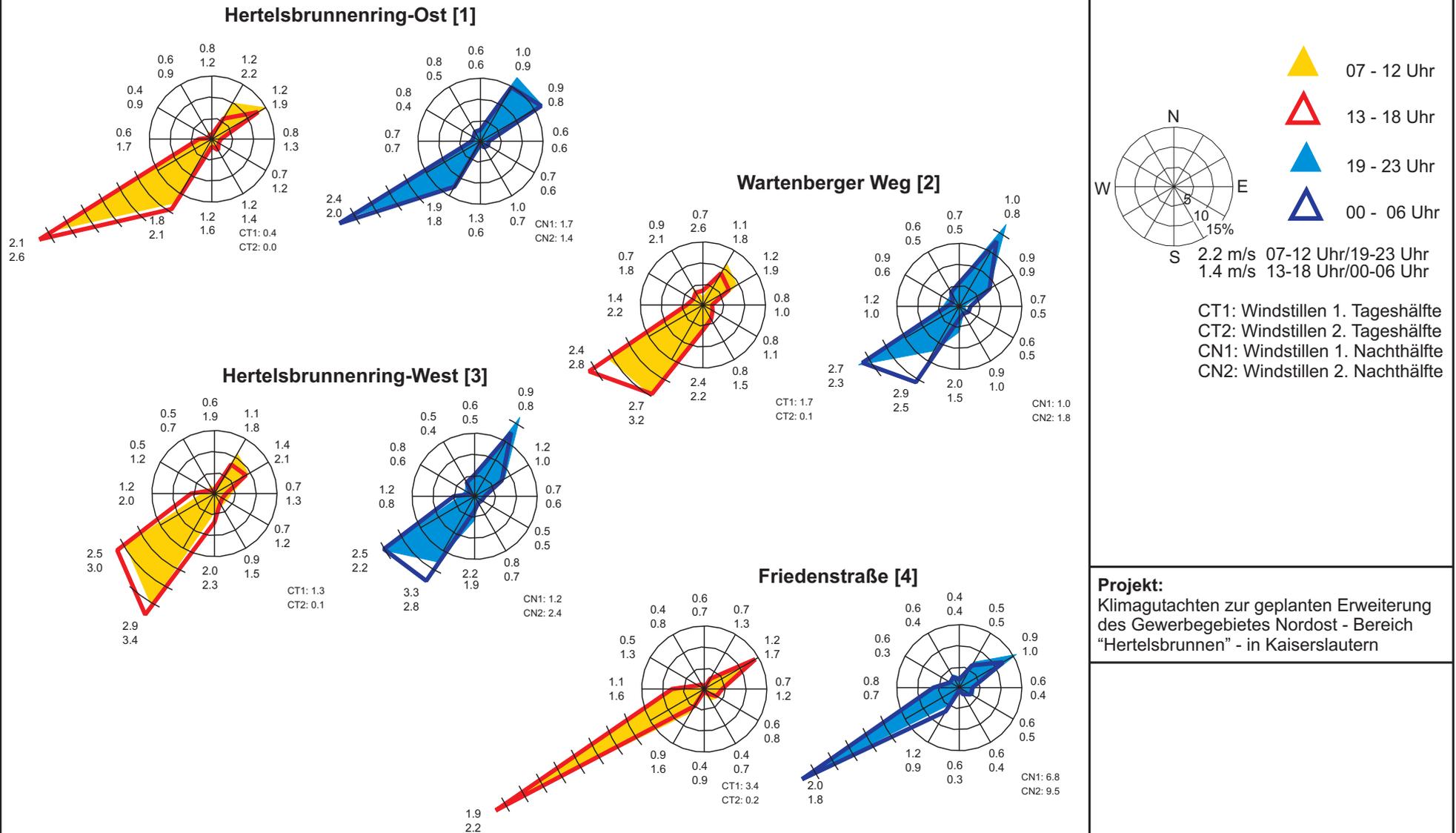
ÖKOPLANA



Projekt:

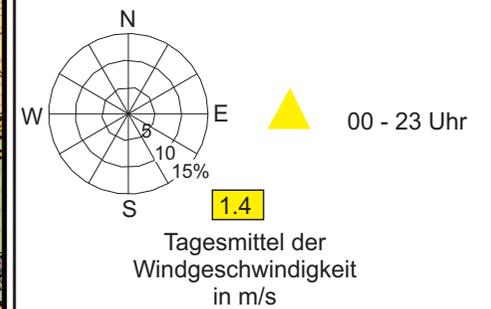
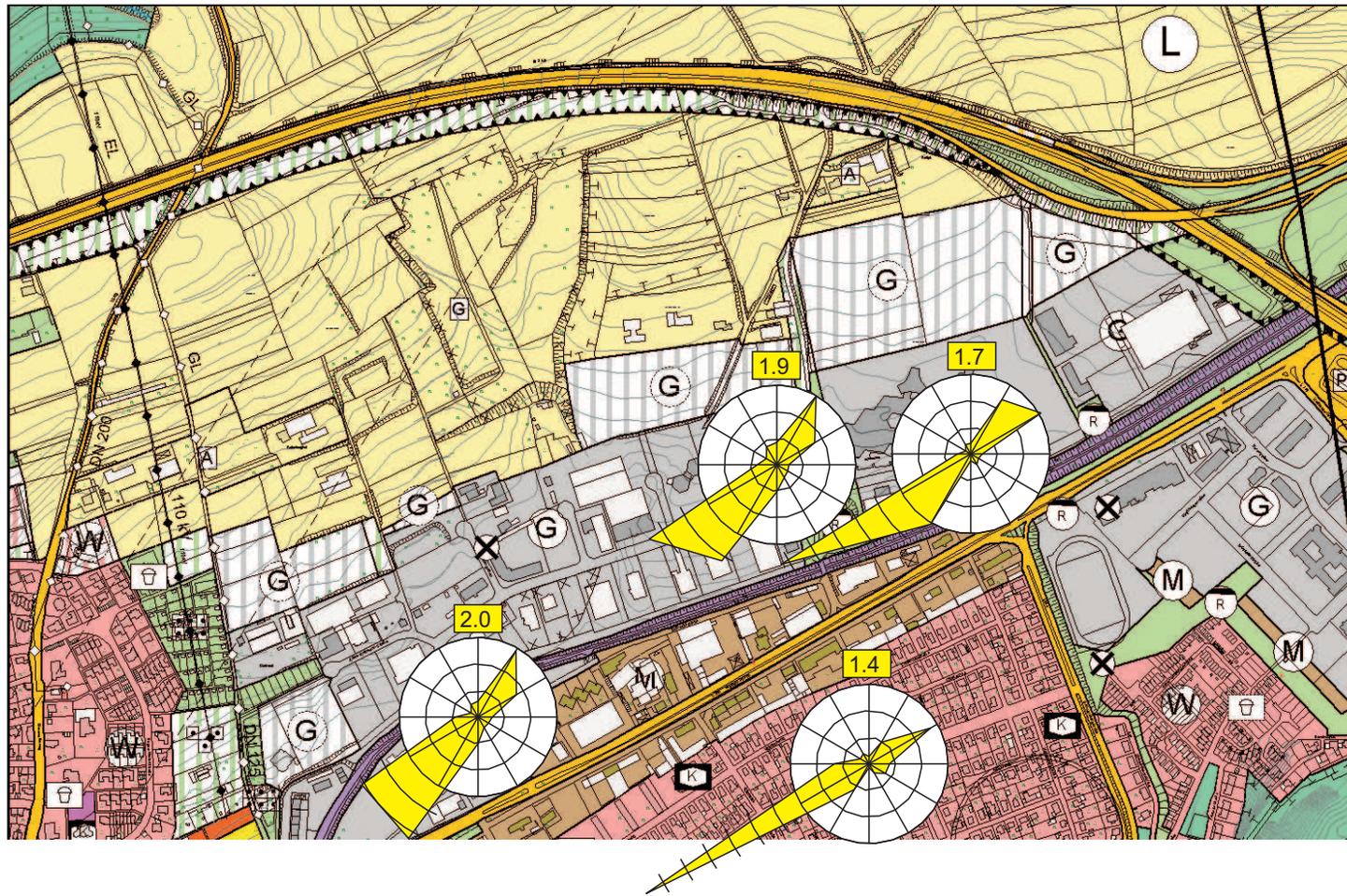
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

**Abb. 5.1 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittleren Geschwindigkeit
Zeitraum: 10.10. - 19.12.2006, alle Tage**



Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

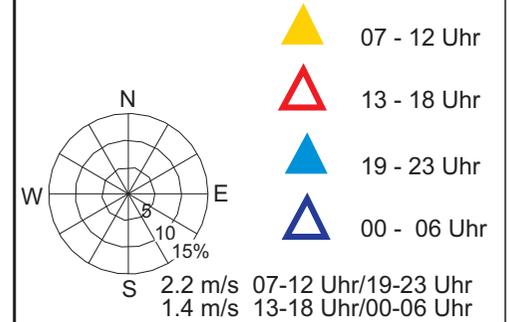
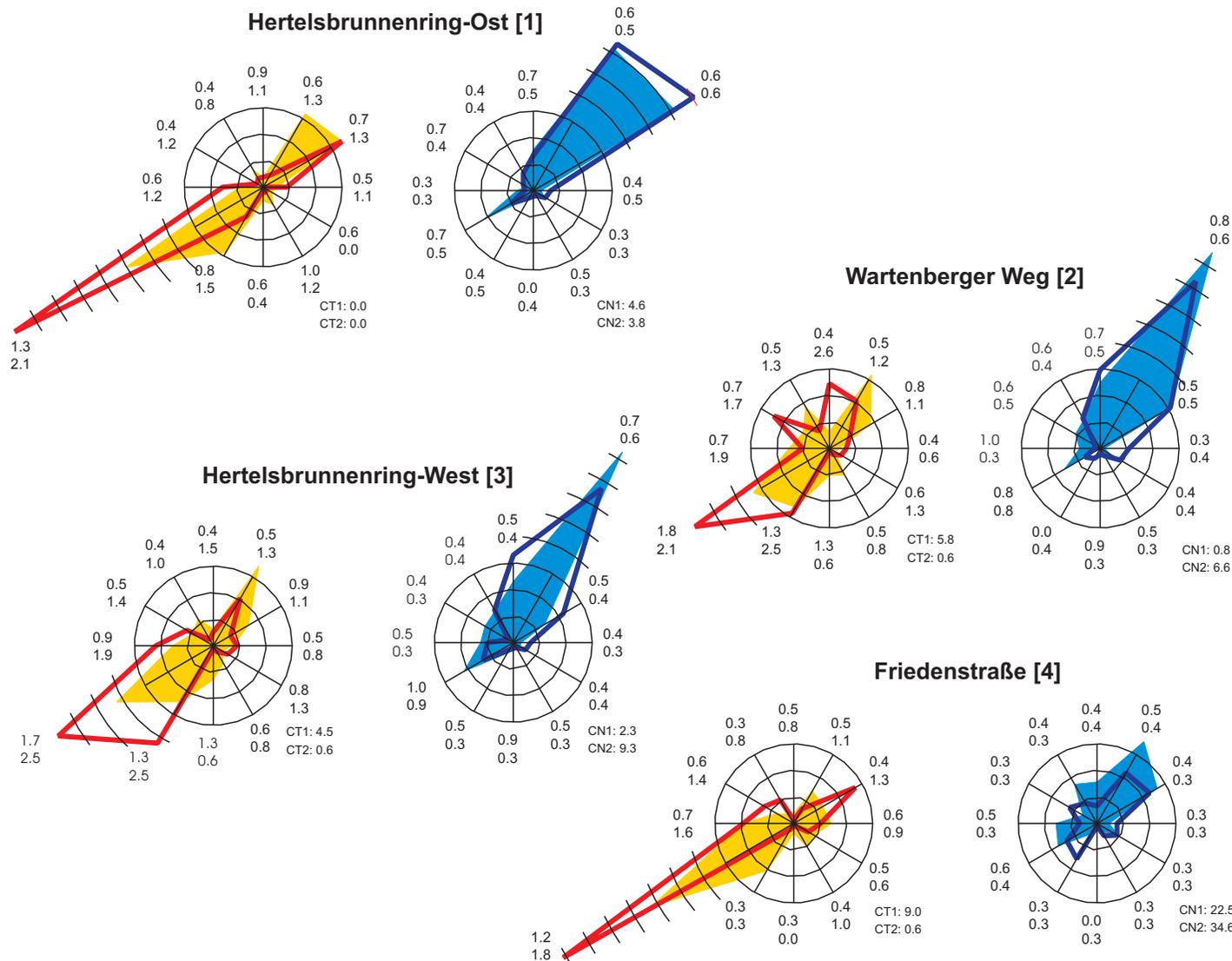
Abb. 5.2 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung
Zeitraum: 10.10. - 19.12.2006, alle Tage



Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Hertelsbrunnring
 im Stadtgebiet Kaiserslautern



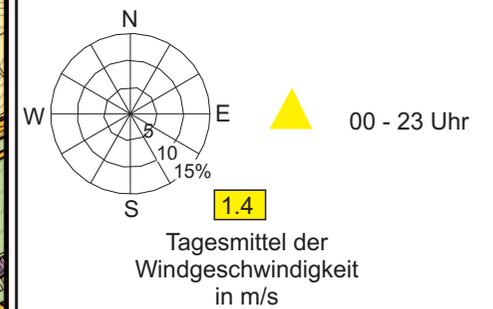
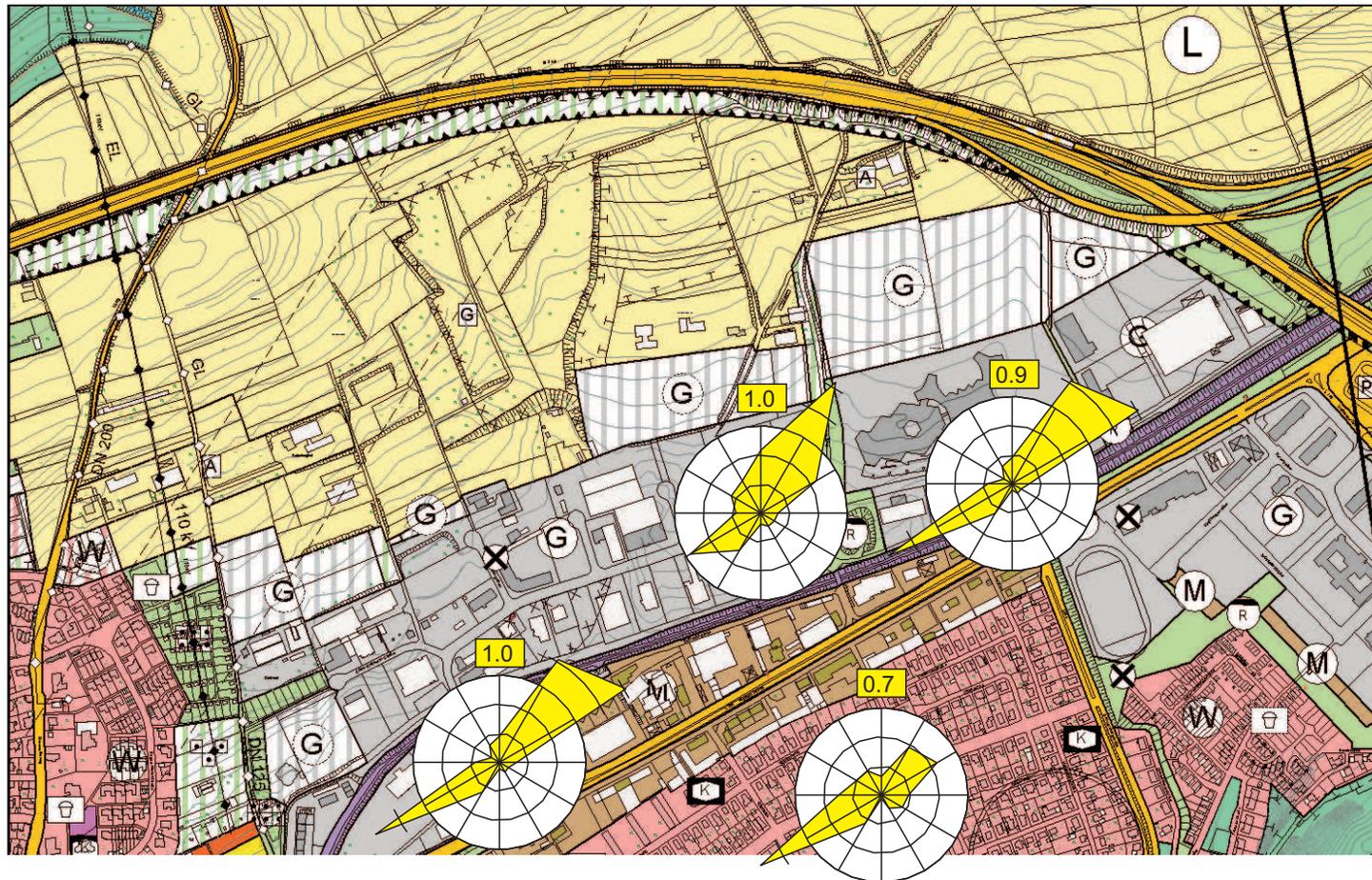
**Abb. 6.1 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittleren Geschwindigkeit
Zeitraum: 10.10. - 19.12.2006, Strahlungstage**



CT1: Windstillen 1. Tageshälfte
 CT2: Windstillen 2. Tageshälfte
 CN1: Windstillen 1. Nachhälfte
 CN2: Windstillen 2. Nachhälfte

Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 6.2 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung
Zeitraum: 10.10. - 19.12.2006, Strahlungstage

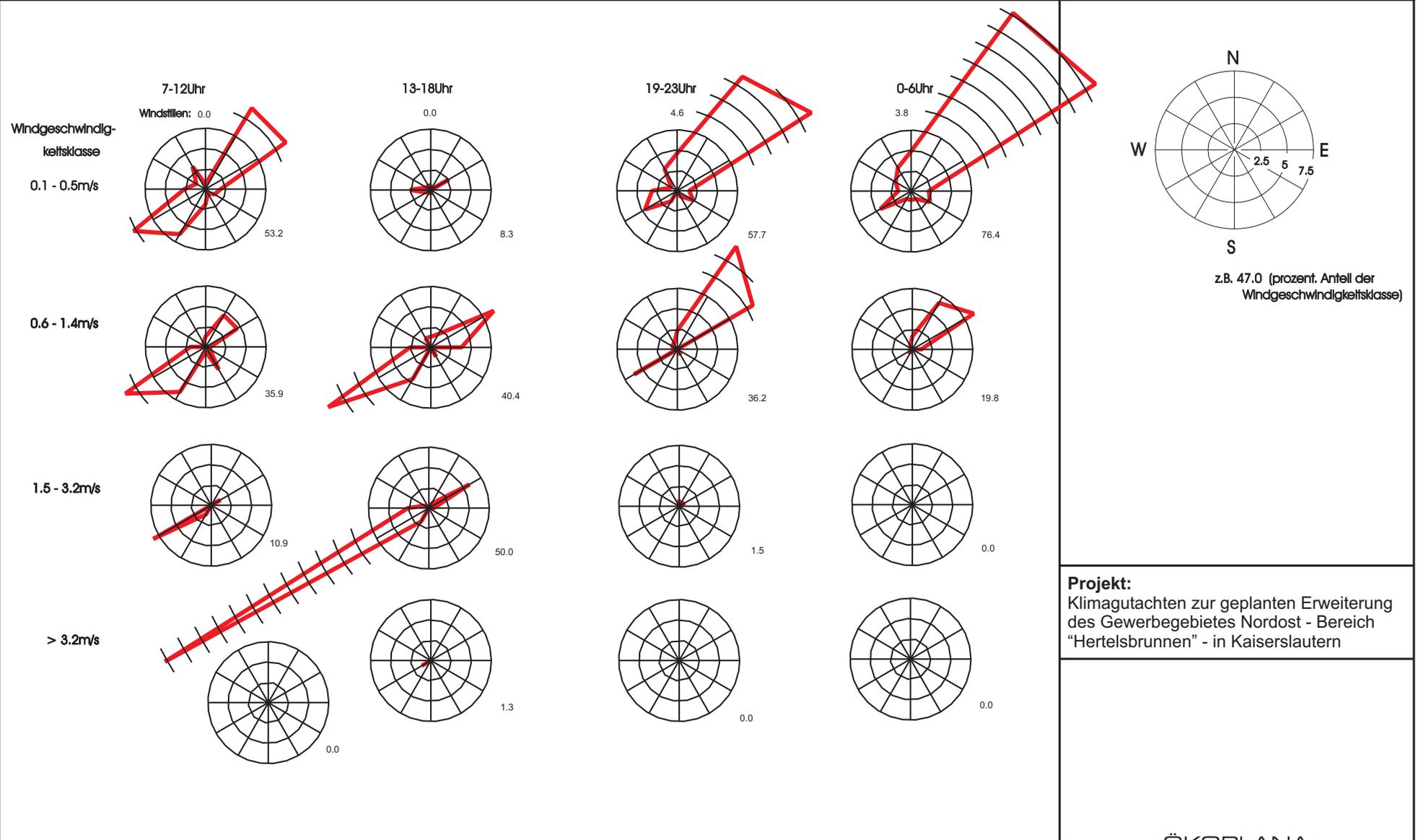


Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Hertelsbrunnenring
 im Stadtgebiet Kaiserslautern



Abb. 7.1 Tageszeitenwindrosen nach Geschwindigkeitsstufen
Zeitraum: 10.10. - 19.12.2006, Strahlungstage

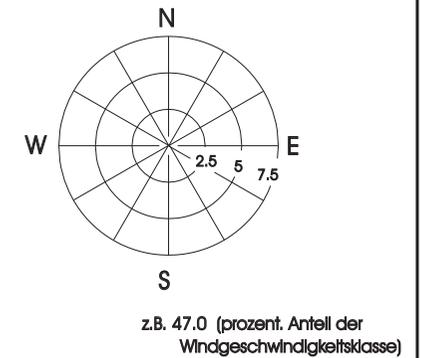
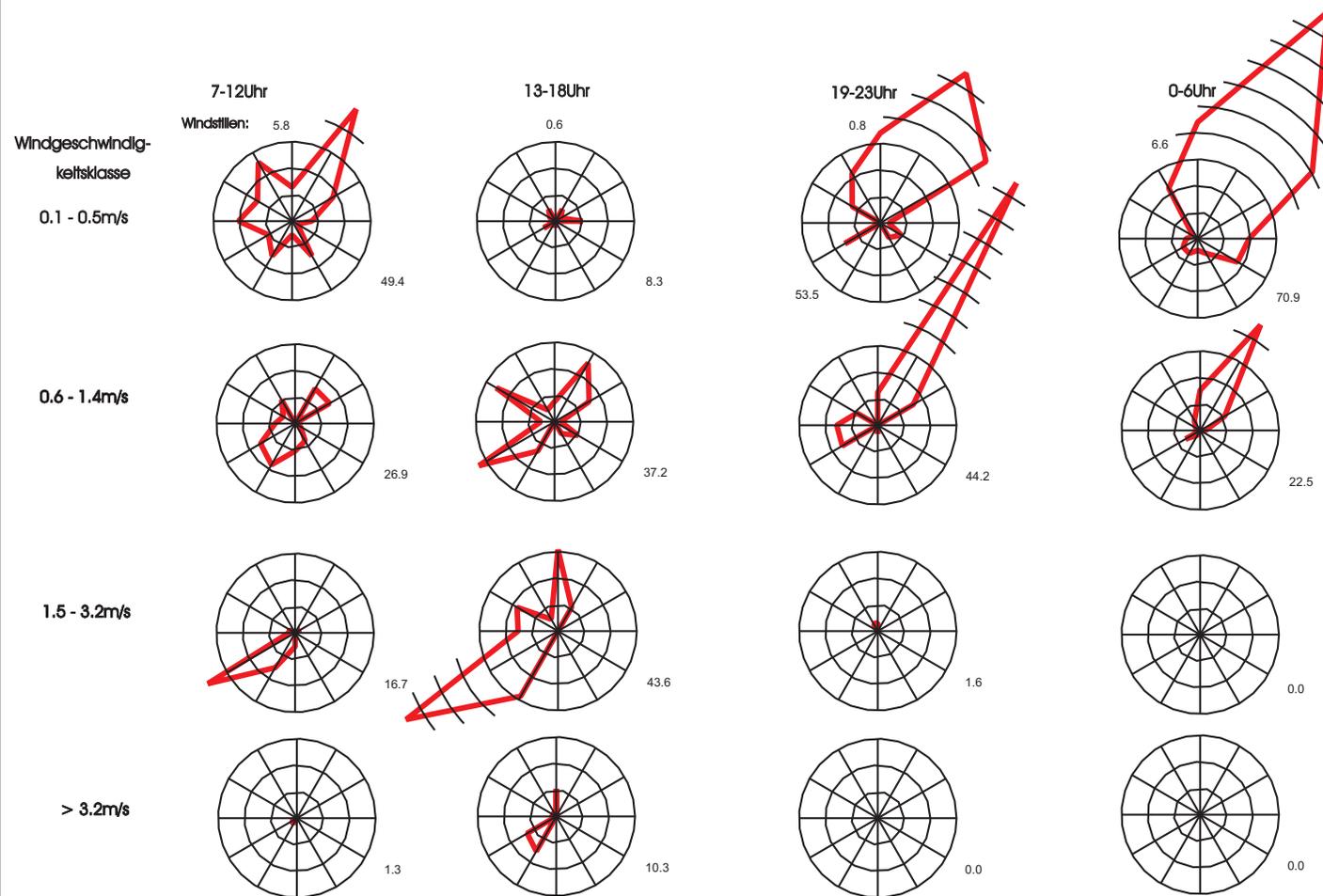
Station 1: Hertelsbrunnenring-Ost



Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 7.2 Tageszeitenwindrosen nach Geschwindigkeitsstufen
 Zeitraum: 10.10. - 19.12.2006, Strahlungstage

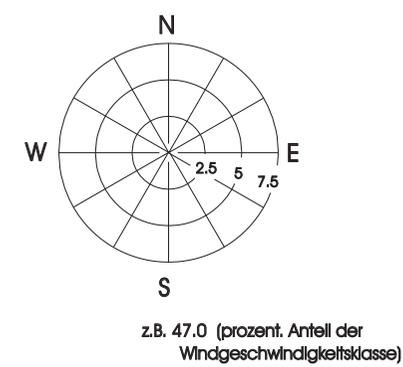
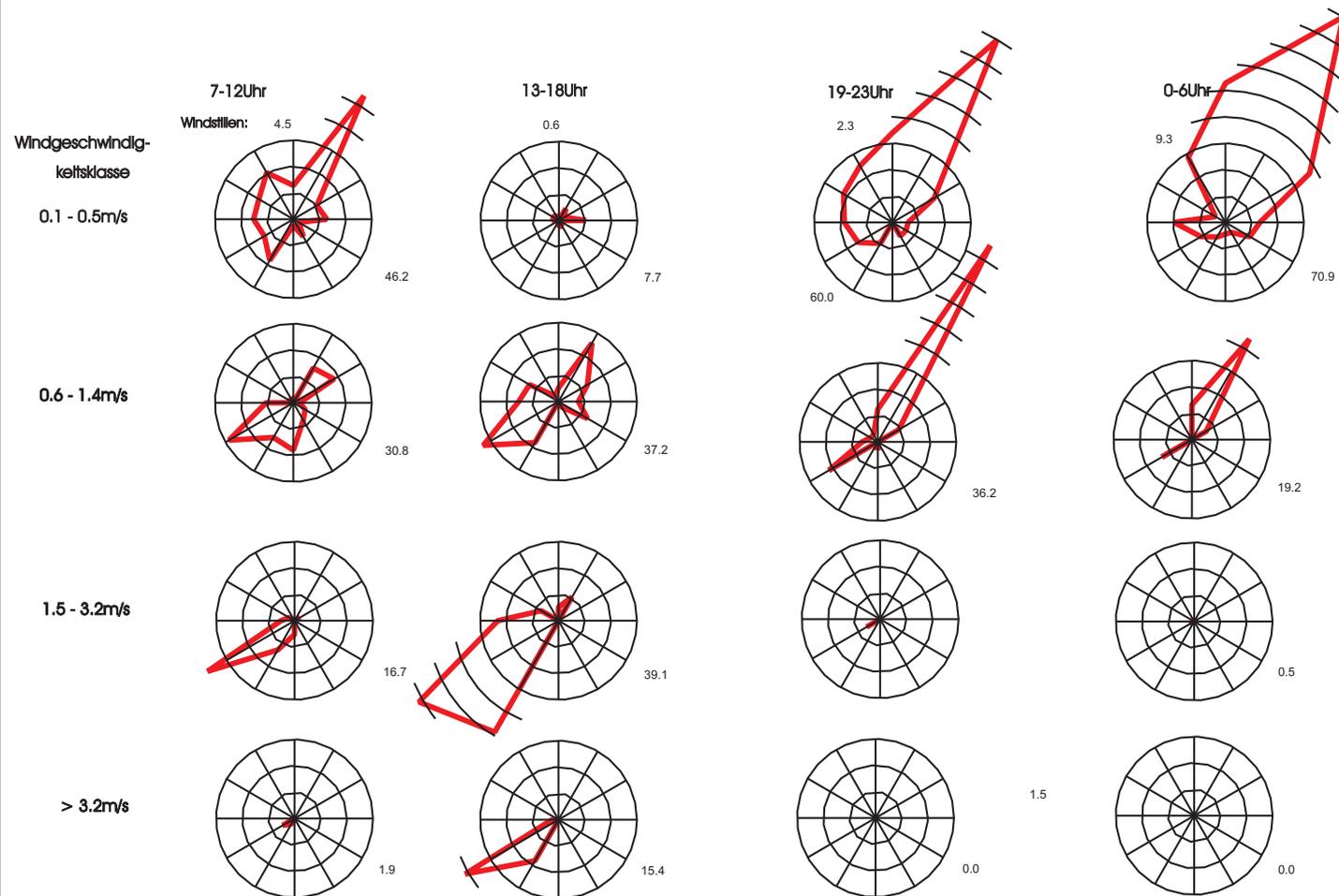
Station 2: Wartenberger Weg



Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 7.3 Tageszeitenwindrosen nach Geschwindigkeitsstufen
 Zeitraum: 10.10. - 19.12.2006, Strahlungstage

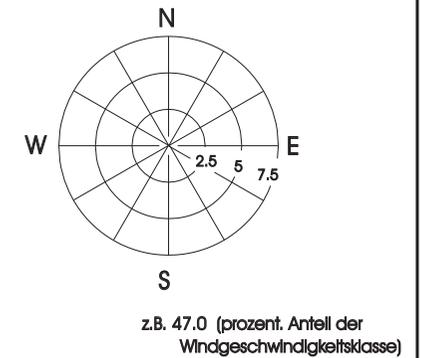
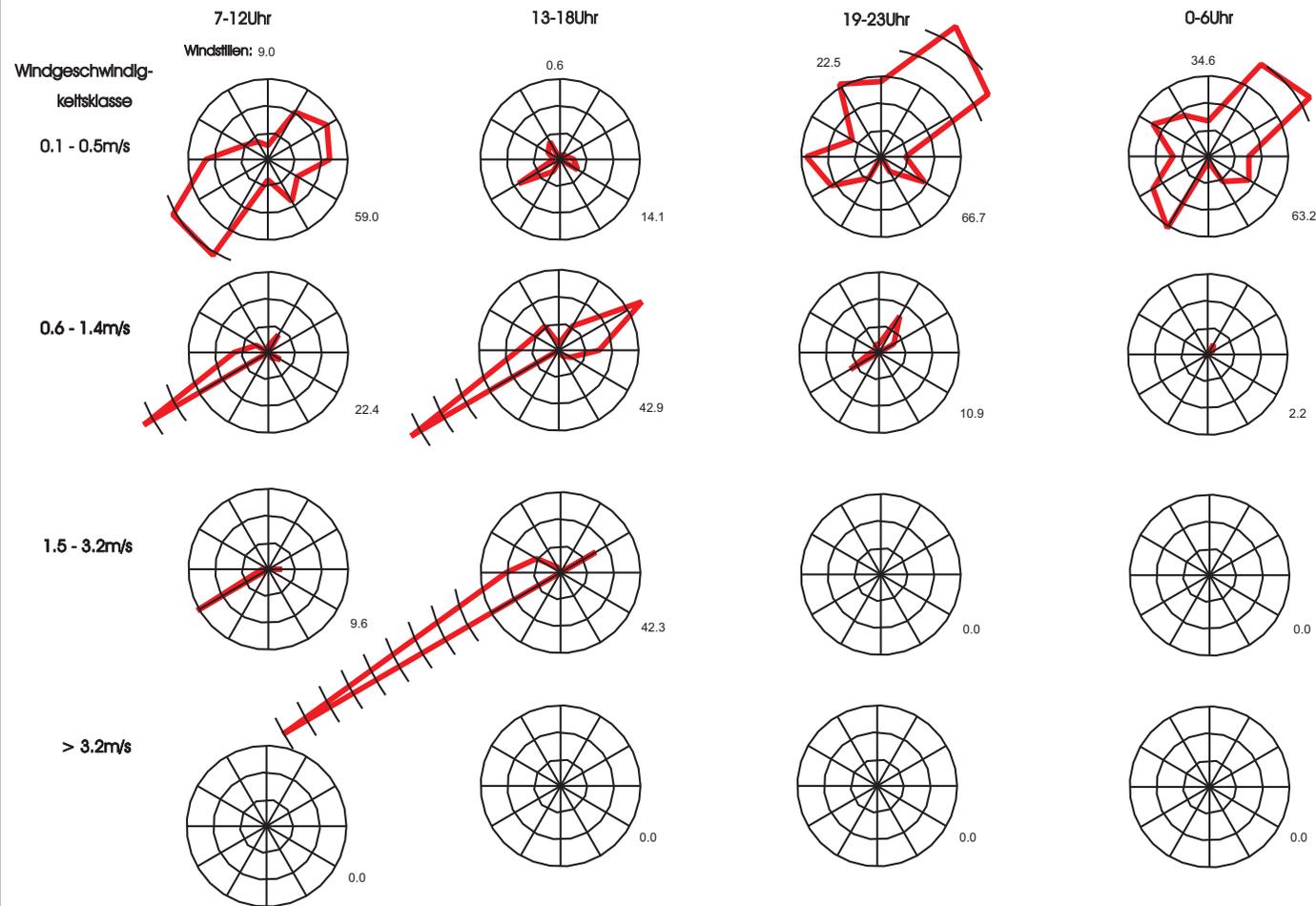
Station 3: Hertelsbrunnenring-West



Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

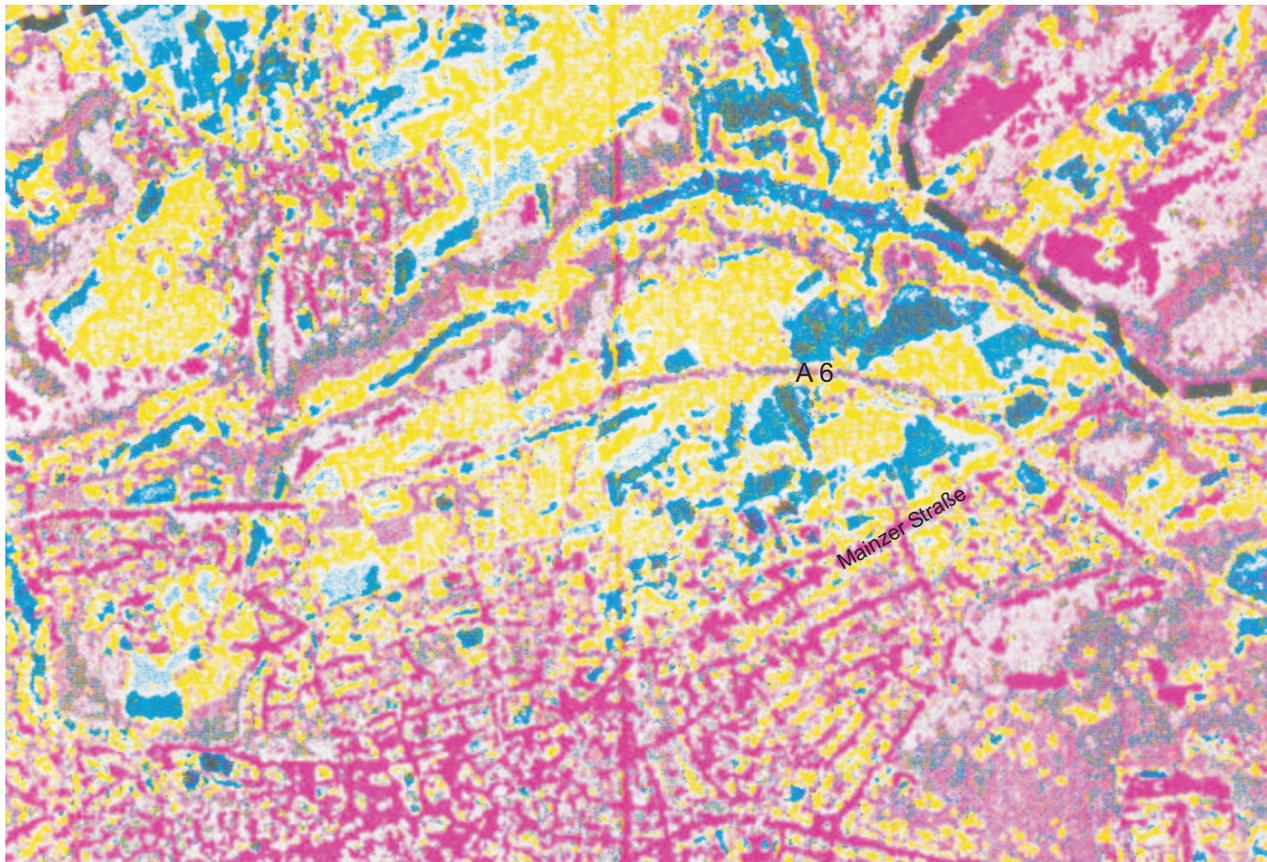
Abb. 7.4 Tageszeitenwindrosen nach Geschwindigkeitsstufen
Zeitraum: 10.10. - 19.12.2006, Strahlungstage

Station 4: Friedenstraße



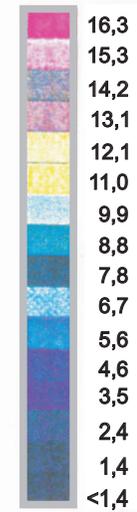
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 8.1 Oberflächentemperatur nach Thermalbefliegung - Abend



Aus: Steinicke & Streifeneder 1996

Oberflächentemperatur in °C

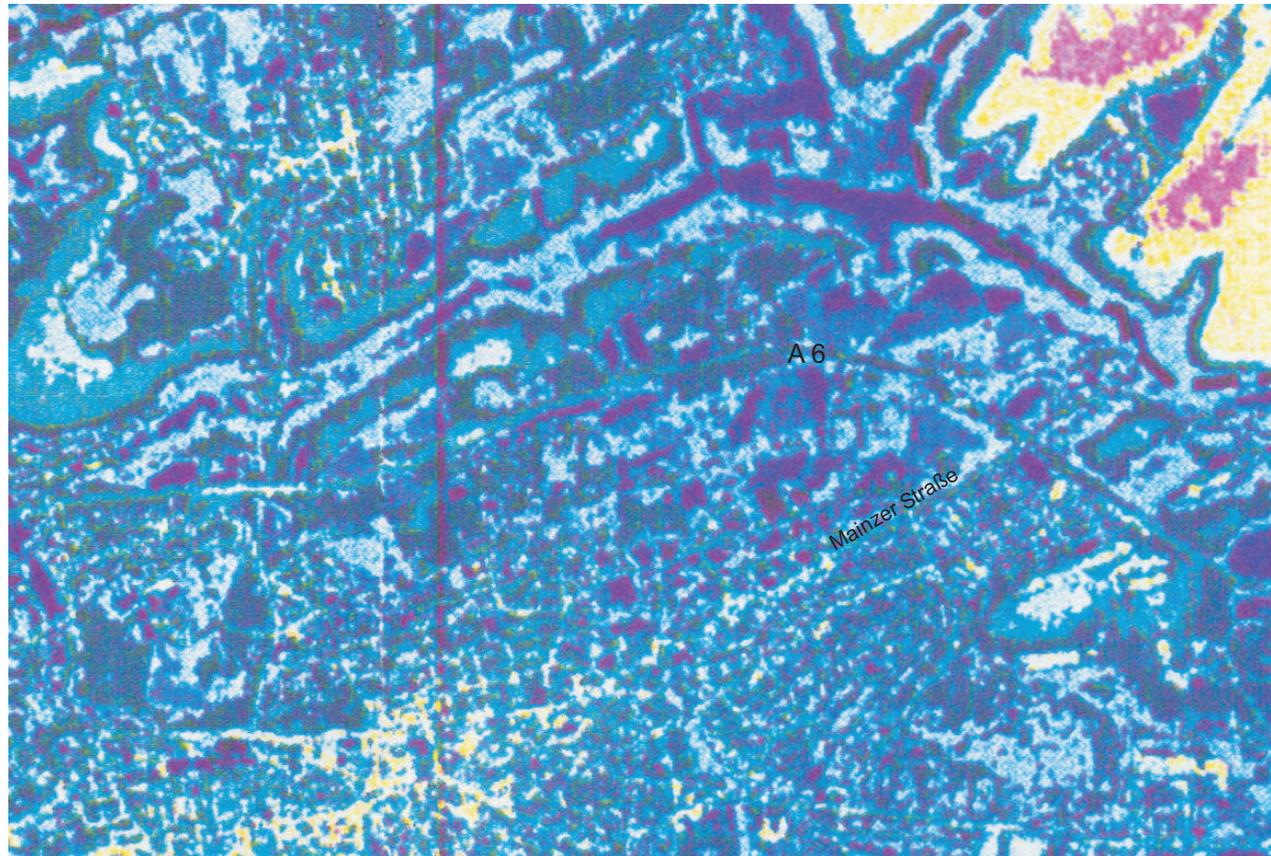


Projekt:

Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Hertelsbrunnenring
im Stadtgebiet Kaiserslautern

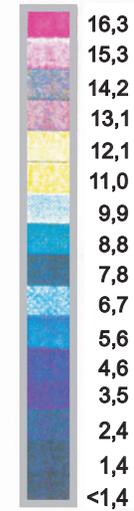


Abb. 8.2 Oberflächentemperatur nach Thermalbefliegung - Morgen



Aus: Steinicke & Streifeneder 1996

Oberflächentemperatur in °C

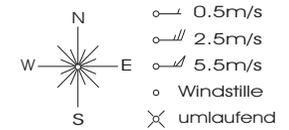
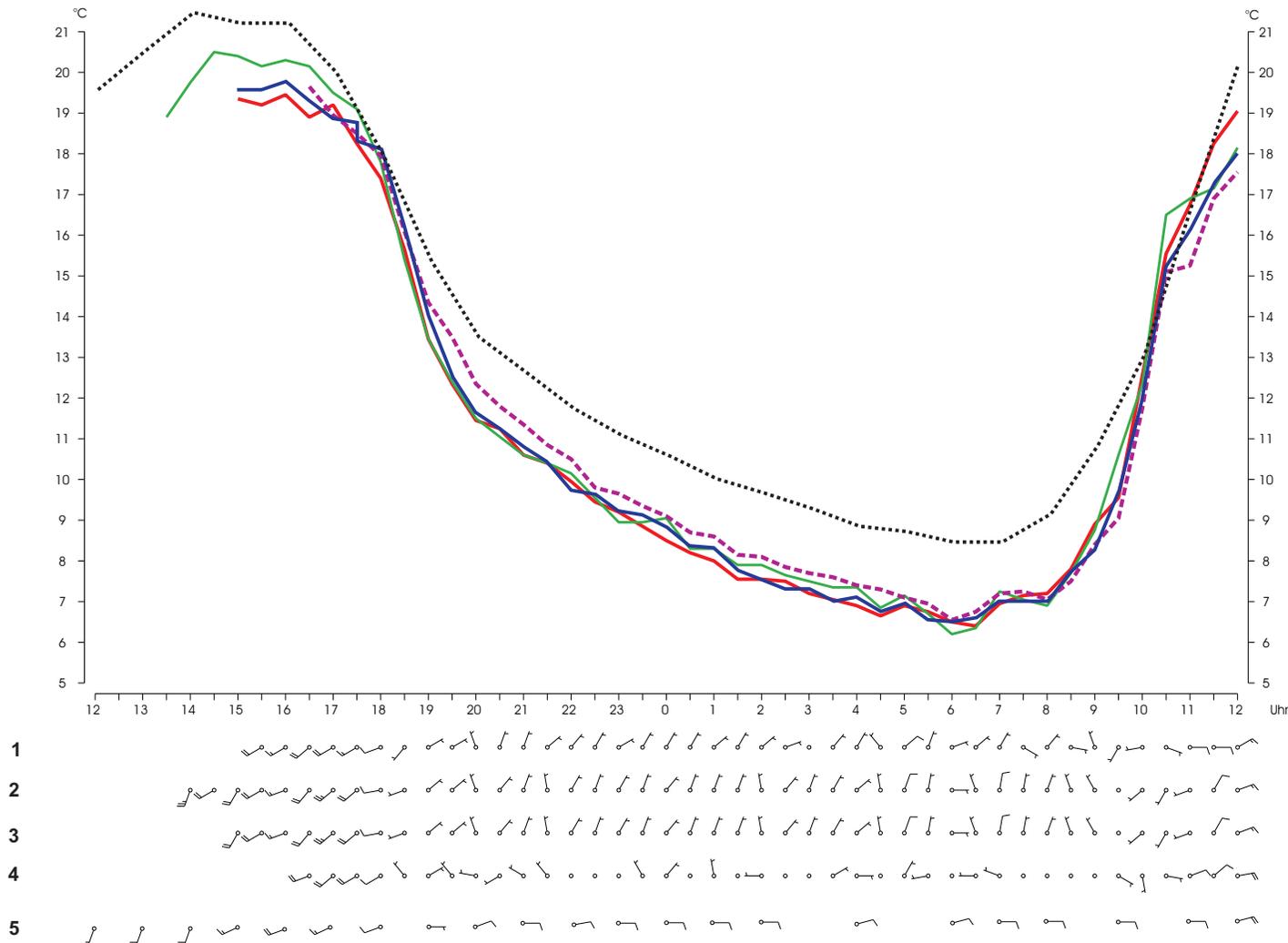


Projekt:

Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Hertelsbrunnenring
im Stadtgebiet Kaiserslautern



Abb. 9 Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 09./10.10.2006



Stationen

1 Hertelsbrunnenring-Ost

2 Wartenberger Weg

3 Hertelsbrunnenring-West

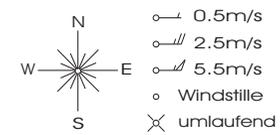
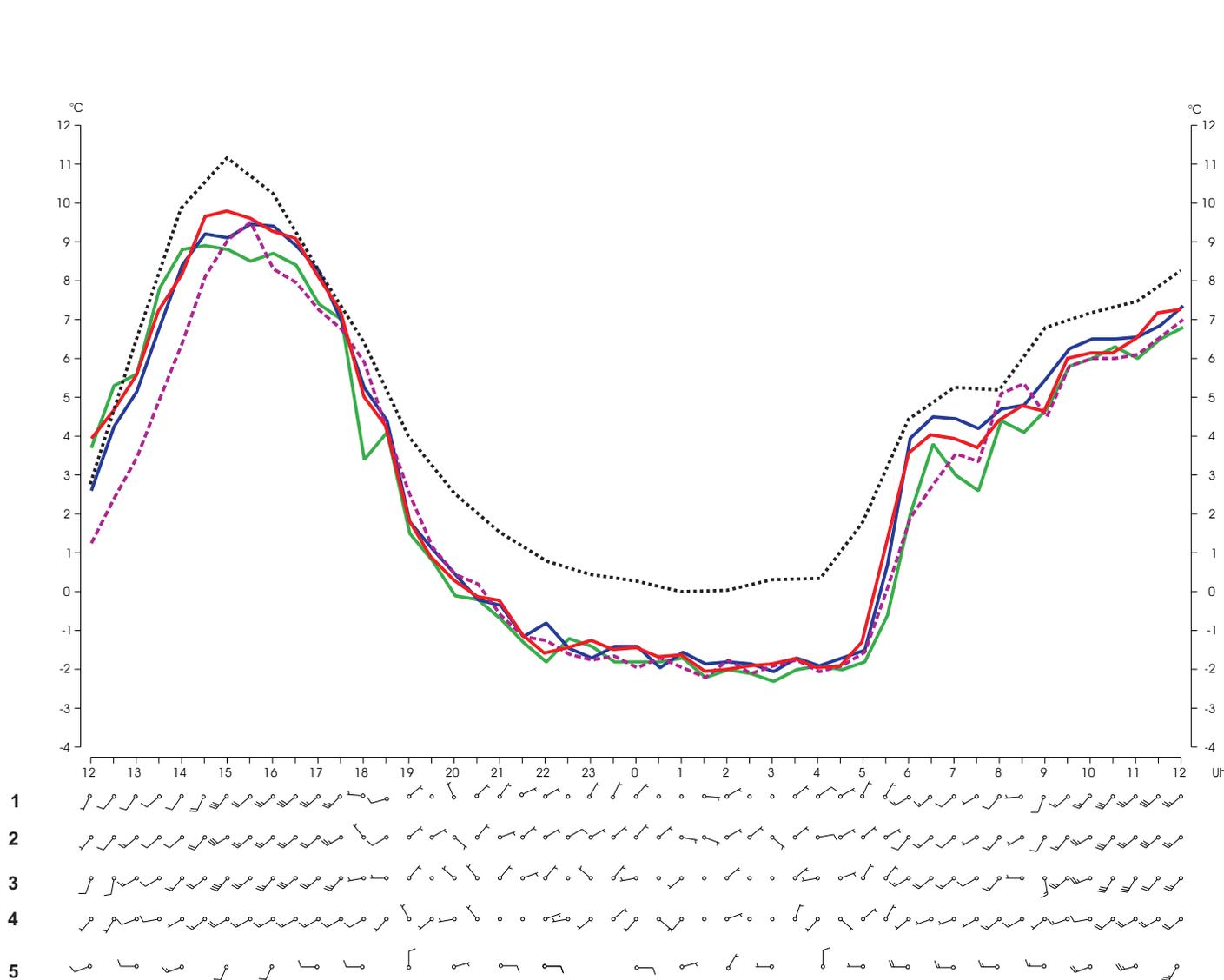
4 Friedenstraße

5 Luftmessstation KL-Rathaus

Projekt:

Klimagutachten zur geplanten Erweiterung des Gewerbegebietes Nordost - Bereich "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 10 Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 15./16.12.2006



Stationen

1 Hertelsbrunnenring-Ost

2 Wartenberger Weg

3 Hertelsbrunnenring-West

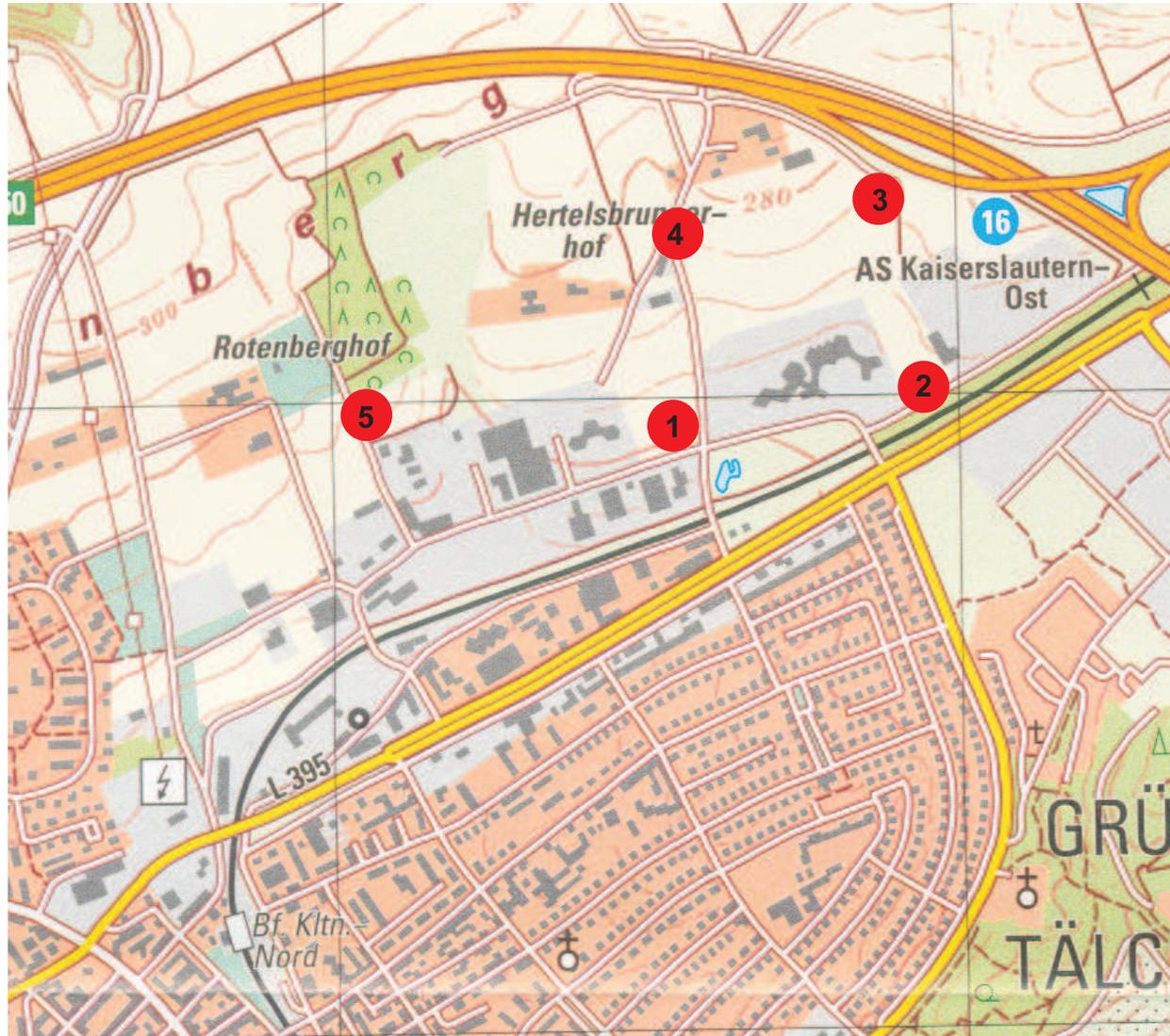
4 Friedenstraße

5 Luftmessstation KL-Rathaus

Projekt:

Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 11 Standorte der Fesselballonaufstiege

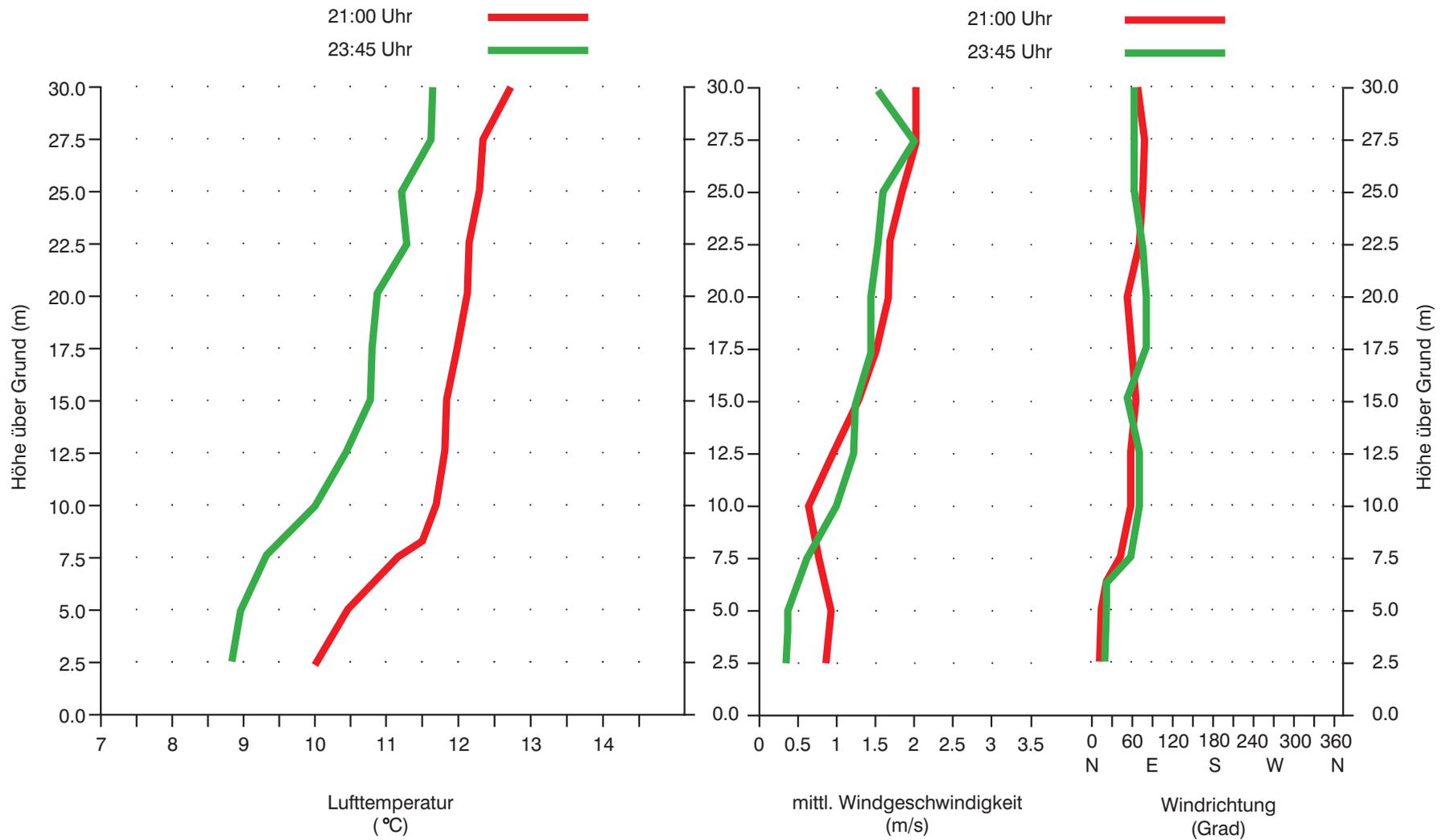


- 1 Parkplatz
- 2 Flickerstal
- 3 Autobahn
- 4 Hertelsbrunner Hof
- 5 Rotenberg Hof

Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

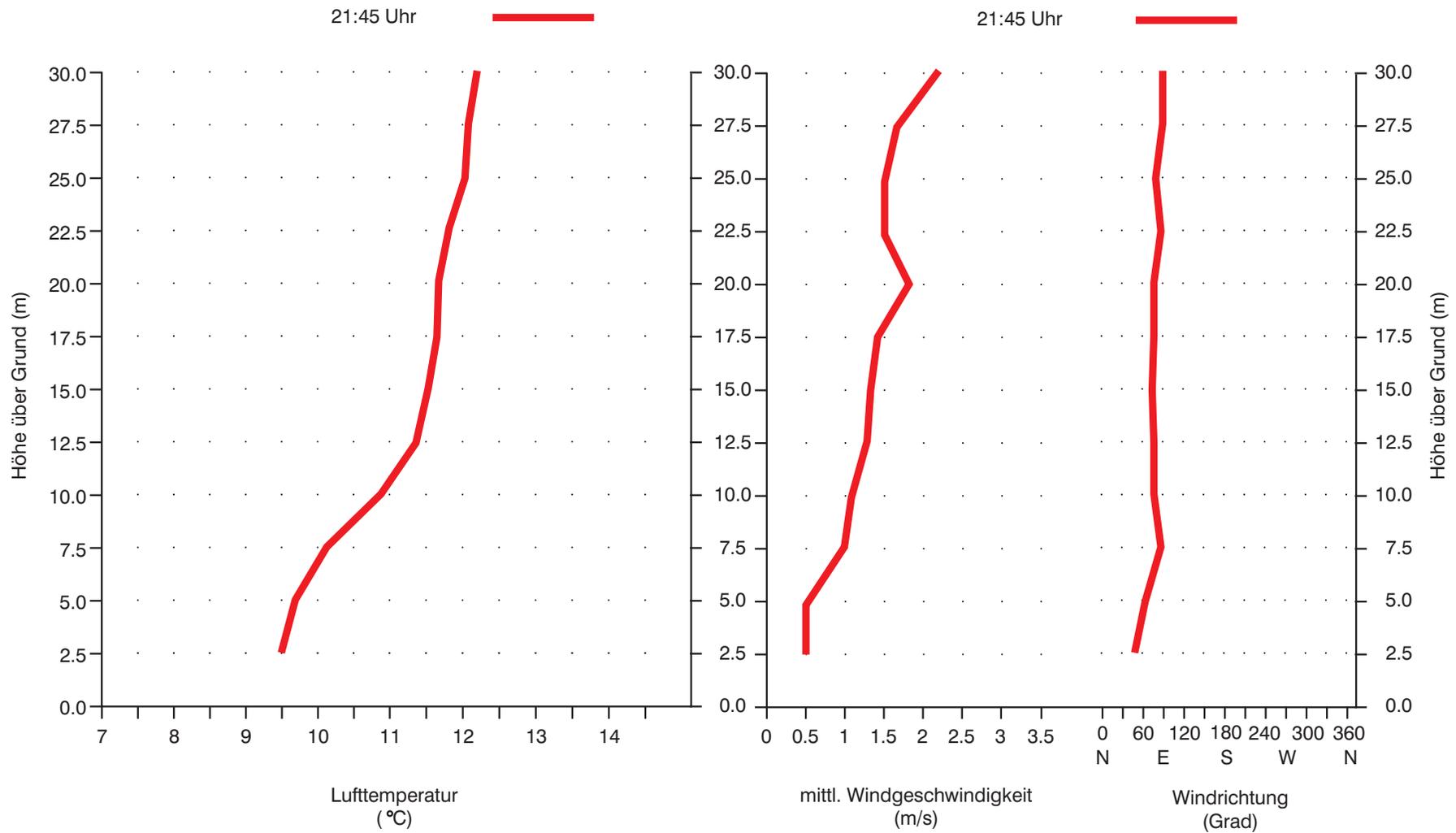


Abb. 12.1 Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 09.10.2006 - Standort 1 (Parkplatz)



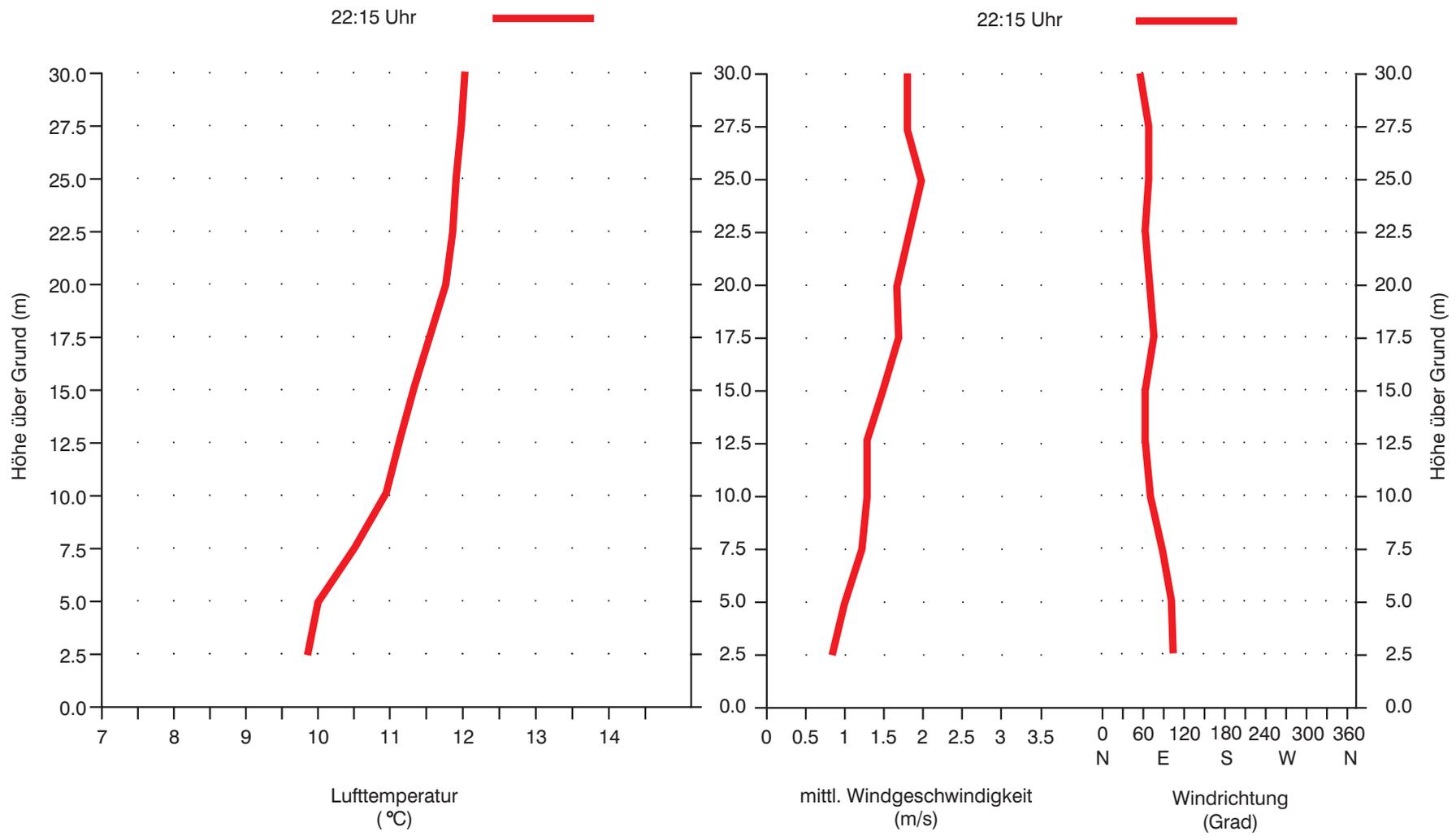
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 12.2 Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 09.10.2006 - Standort 2 (Flickerstal)



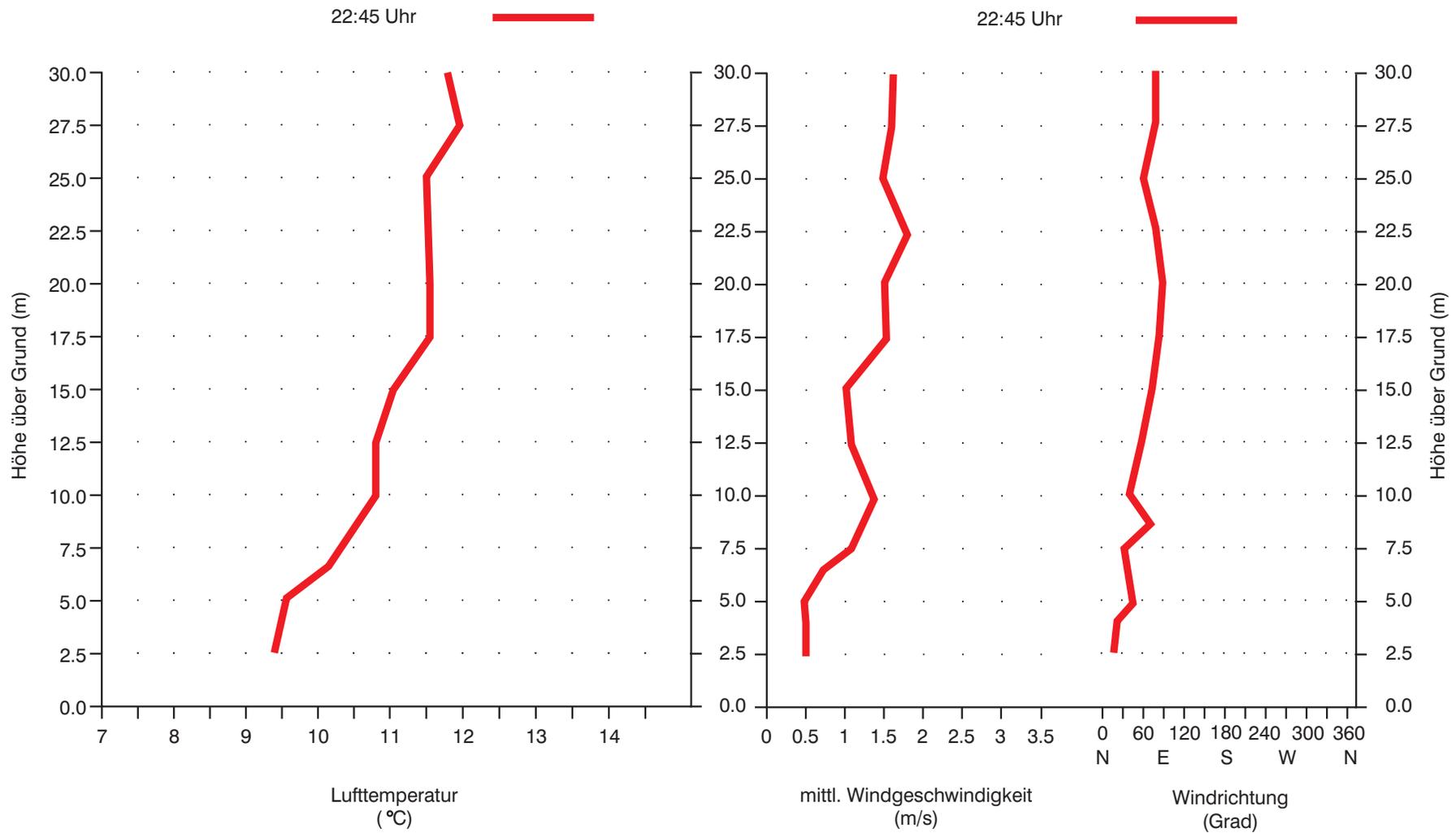
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 12.3 Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 09.10.2006 - Standort 3 (Autobahn)



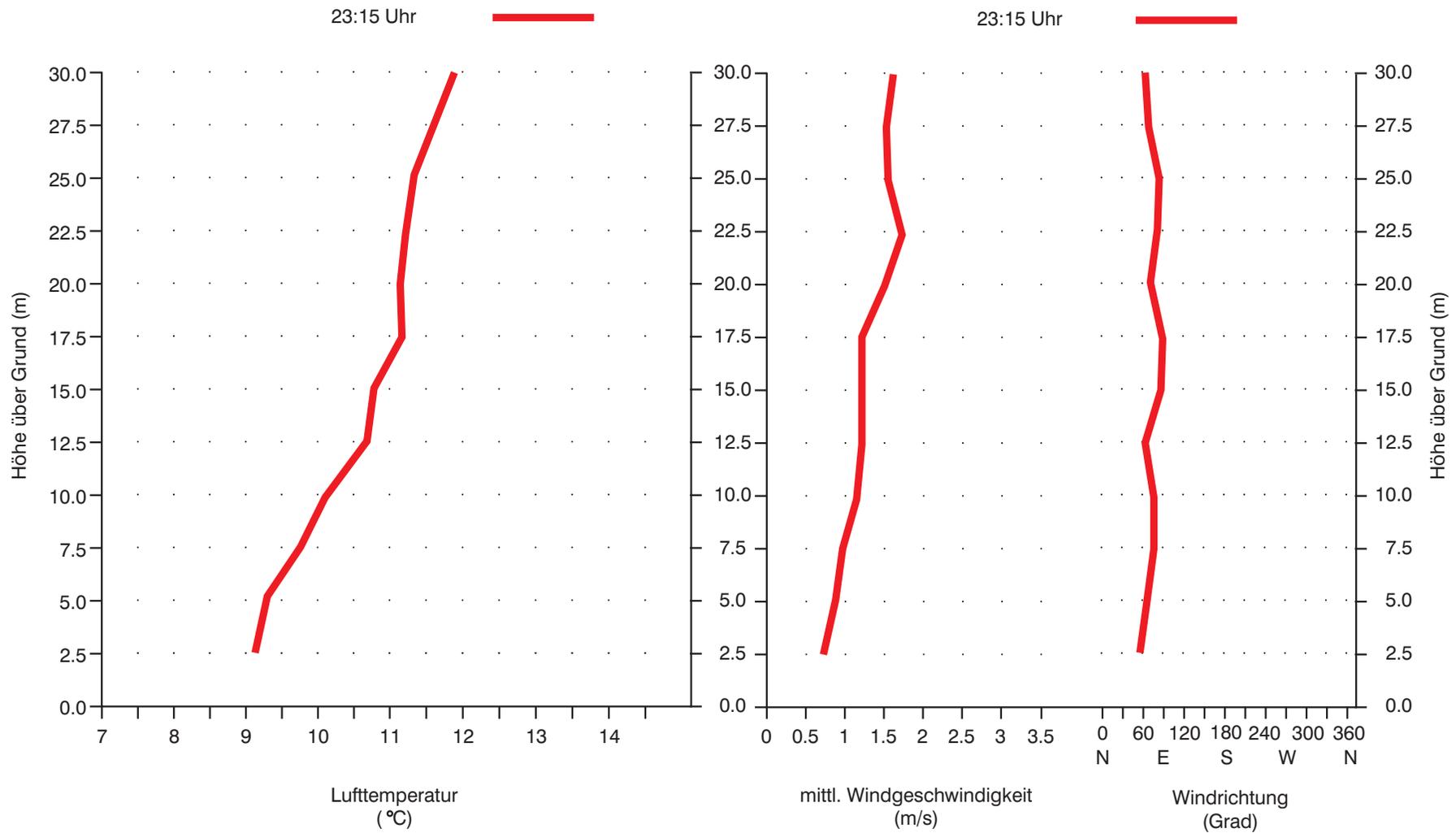
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 12.4 Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 09.10.2006 - Standort 4 (Hertelsbrunner Hof)



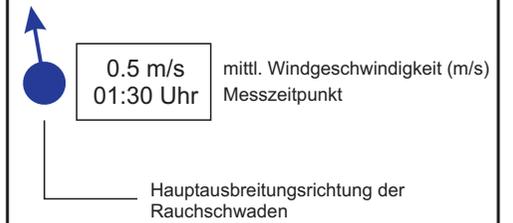
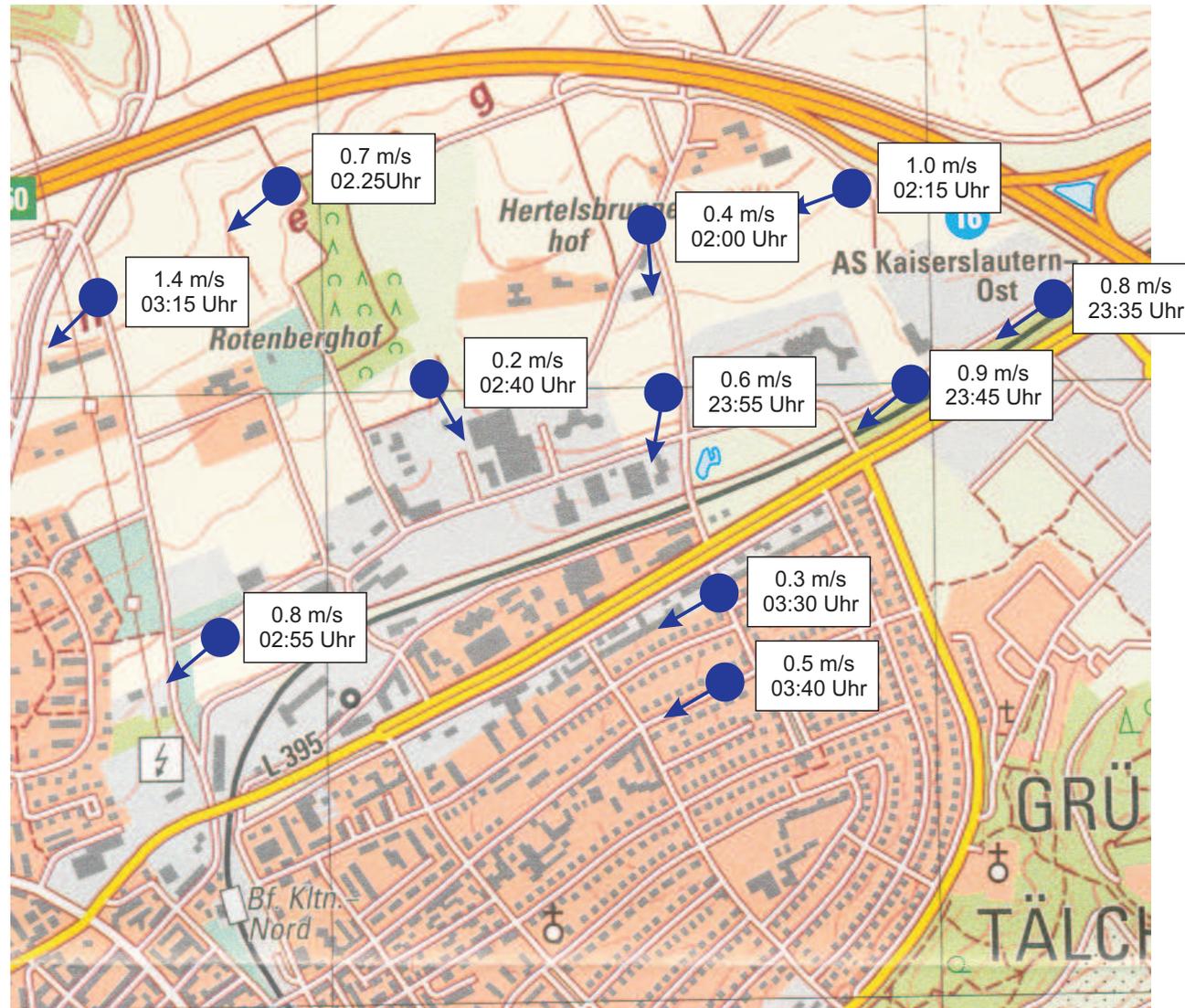
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 12.5 Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 09.10.2006 - Standort 5 (Rotenberghof)



Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 13 Ergebnisse von Rauchschwadenbeobachtungen am 09./10.10.2006



Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

**Abb. 14 Rauchschwadenausbreitung am 09.10.2006, 23:25 Uhr
am Standort "Parkplatz/Wartenberger Weg"**

Blick nach Westsüdwesten
*Kaltluftzustrom über den
Hangeinschnitt "Wartenberger
Weg/Hertelsbrunnen"*



Blick nach Südsüdwesten

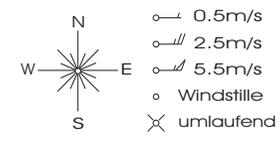
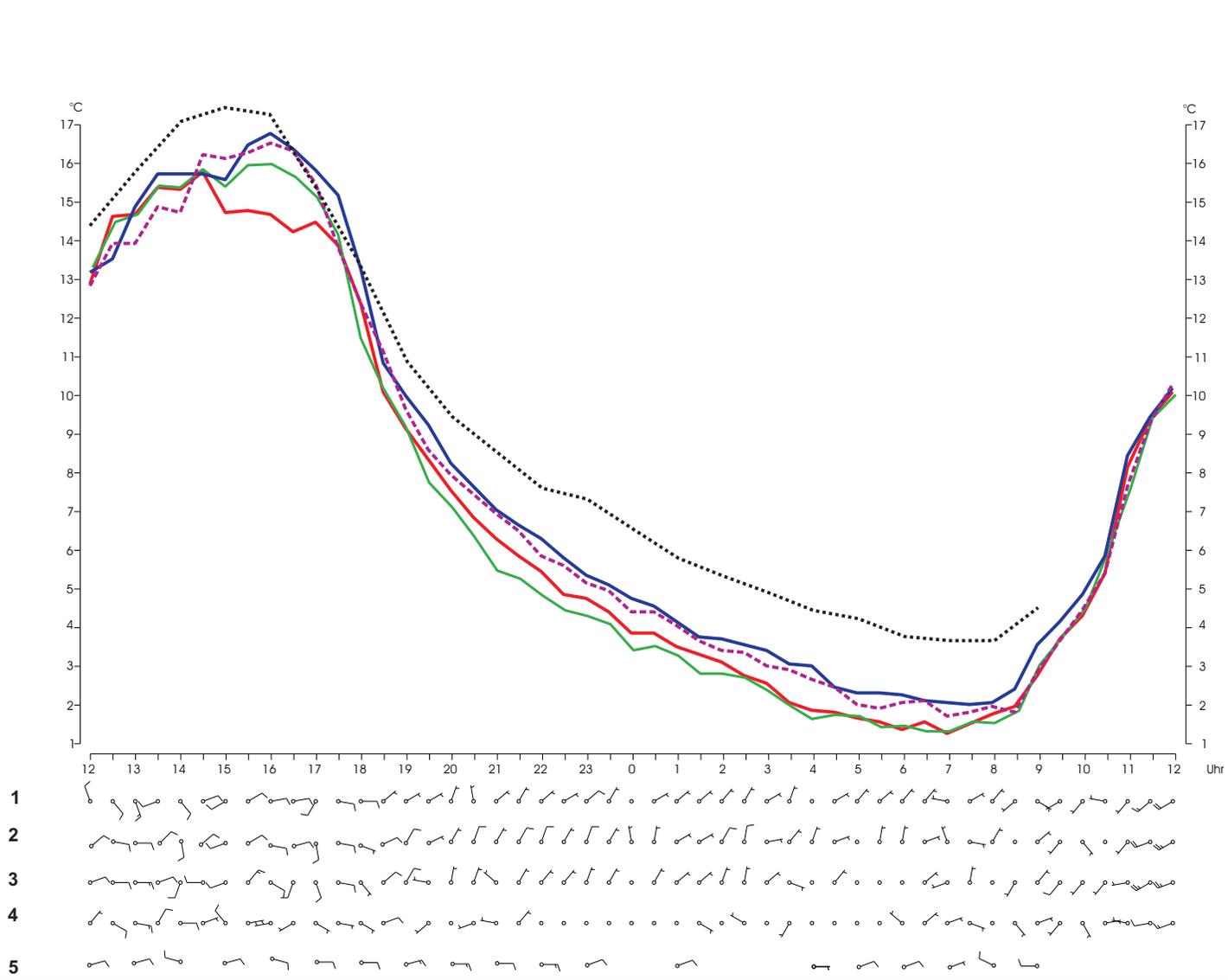


Blick nach Südsüdwesten
*Nach Westsüdwesten abknickende
Kaltluftbewegung am Hertelsbrunnenring*



Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 15 Tagesgang der Lufttemperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am 30./31.10.2006

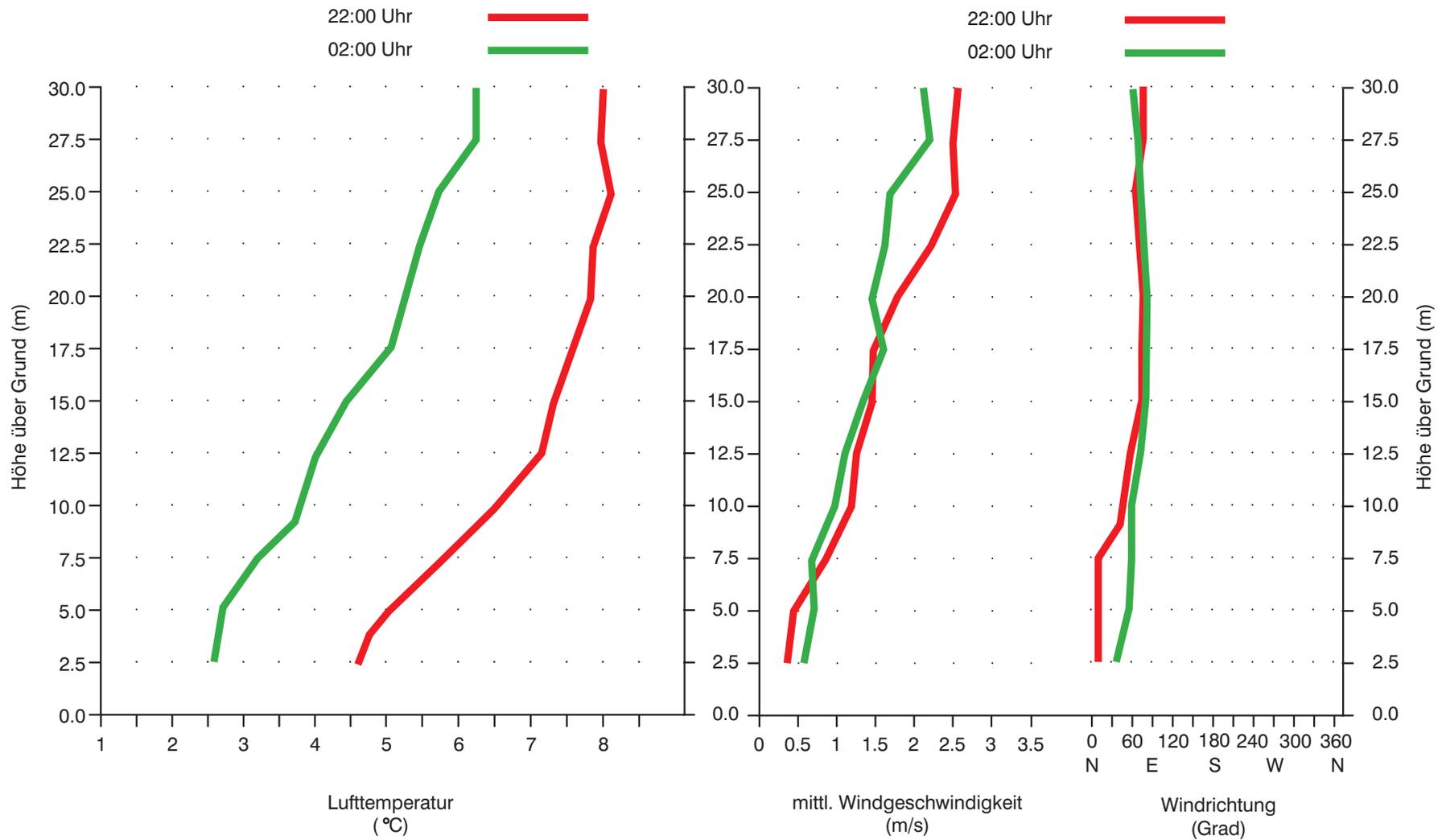


Stationen

- 1 Hertelsbrunnenring-Ost
- 2 Wartenberger Weg
- 3 Hertelsbrunnenring-West
- 4 Friedenstraße
- 5 Luftmessstation KL-Rathaus

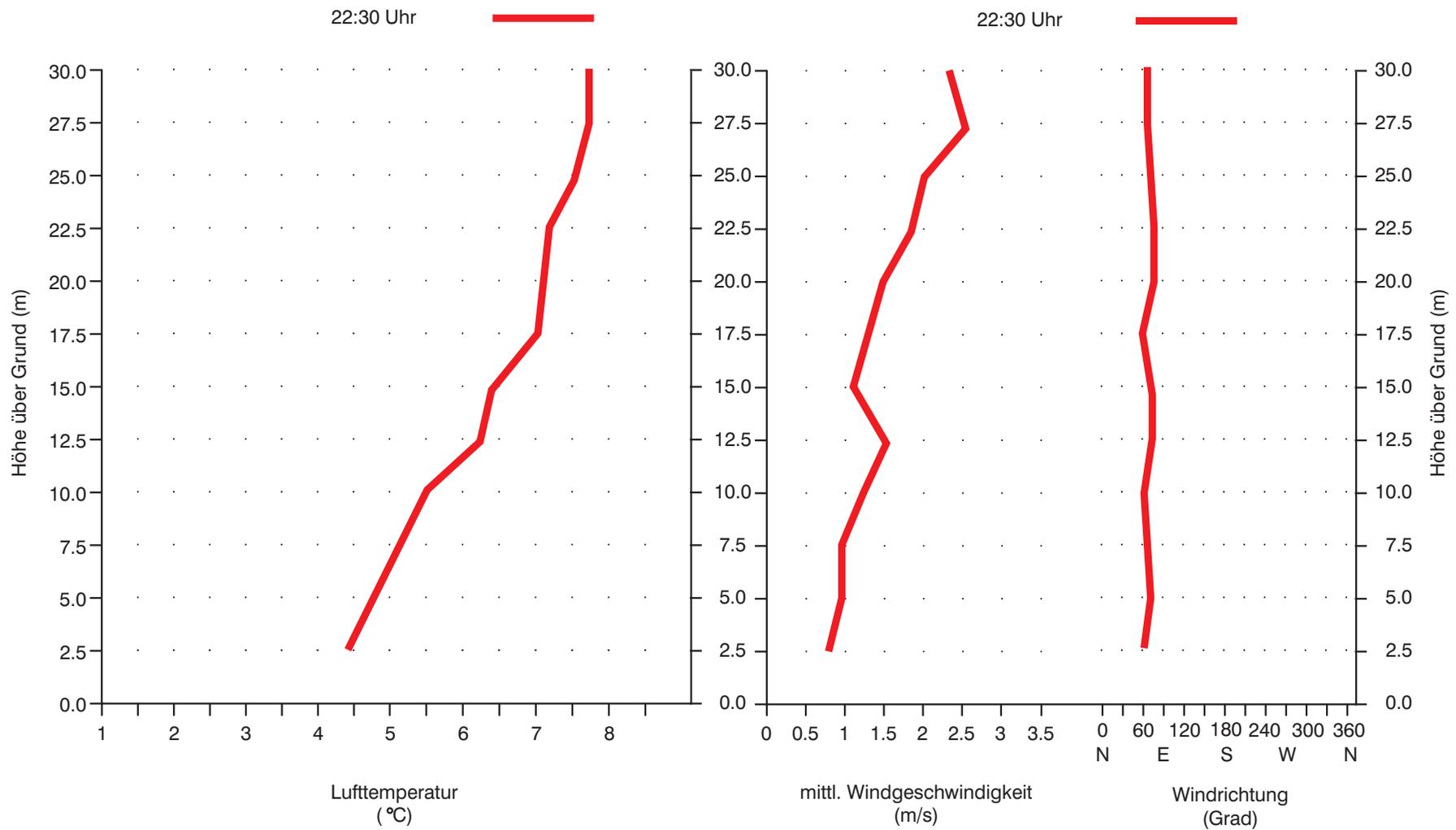
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 16.1 Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 30./31.10.2006 - Standort 1 (Parkplatz)



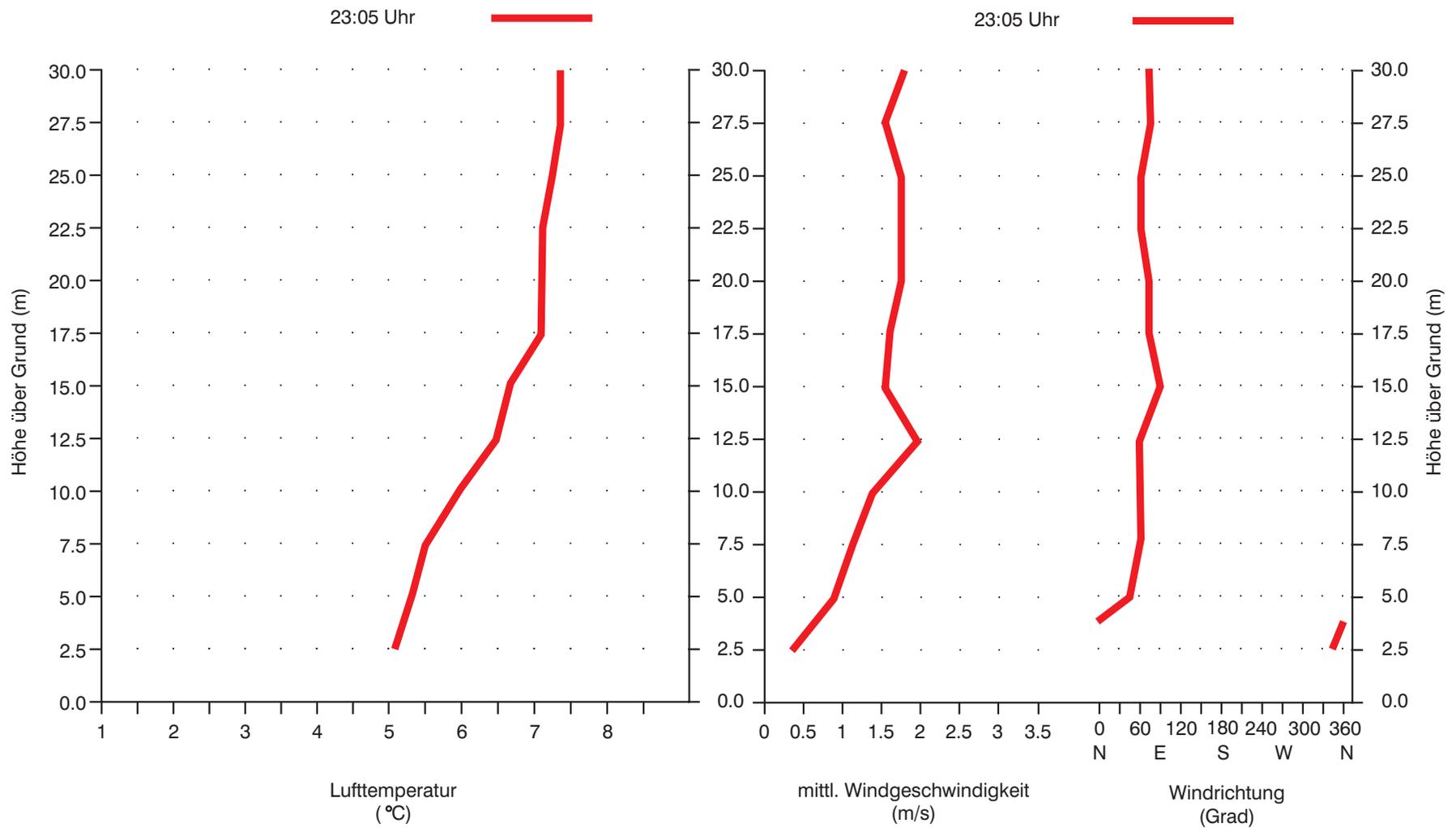
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 16.2 Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 30./31.10.2006 - Standort 2 (Flickerstal)



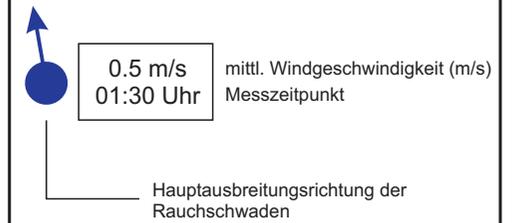
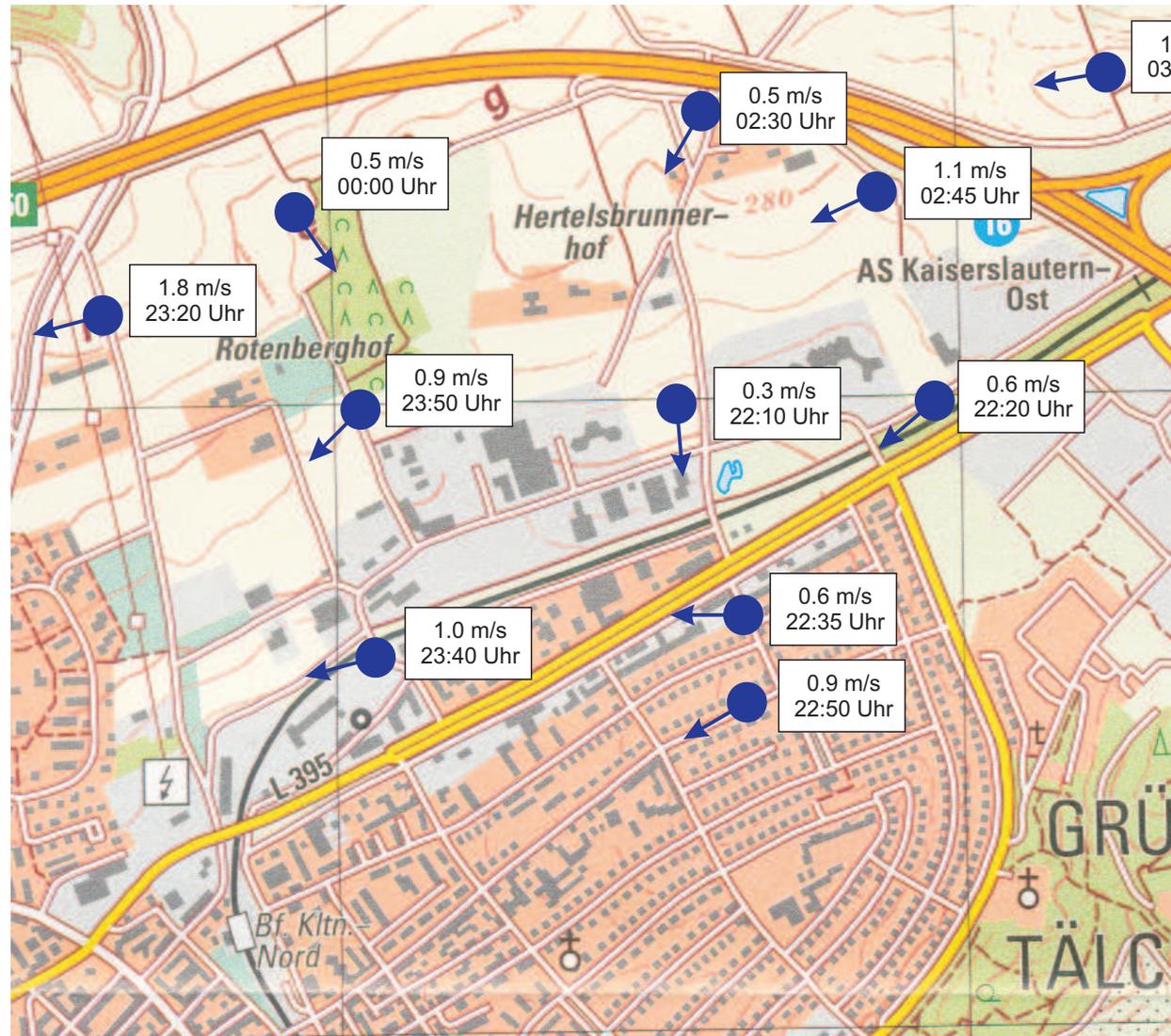
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 16.3 Ergebnisse der Fesselballonaufstiege am 30./31.10.2006 - Standort 4 (Hertelsbrunner Hof)



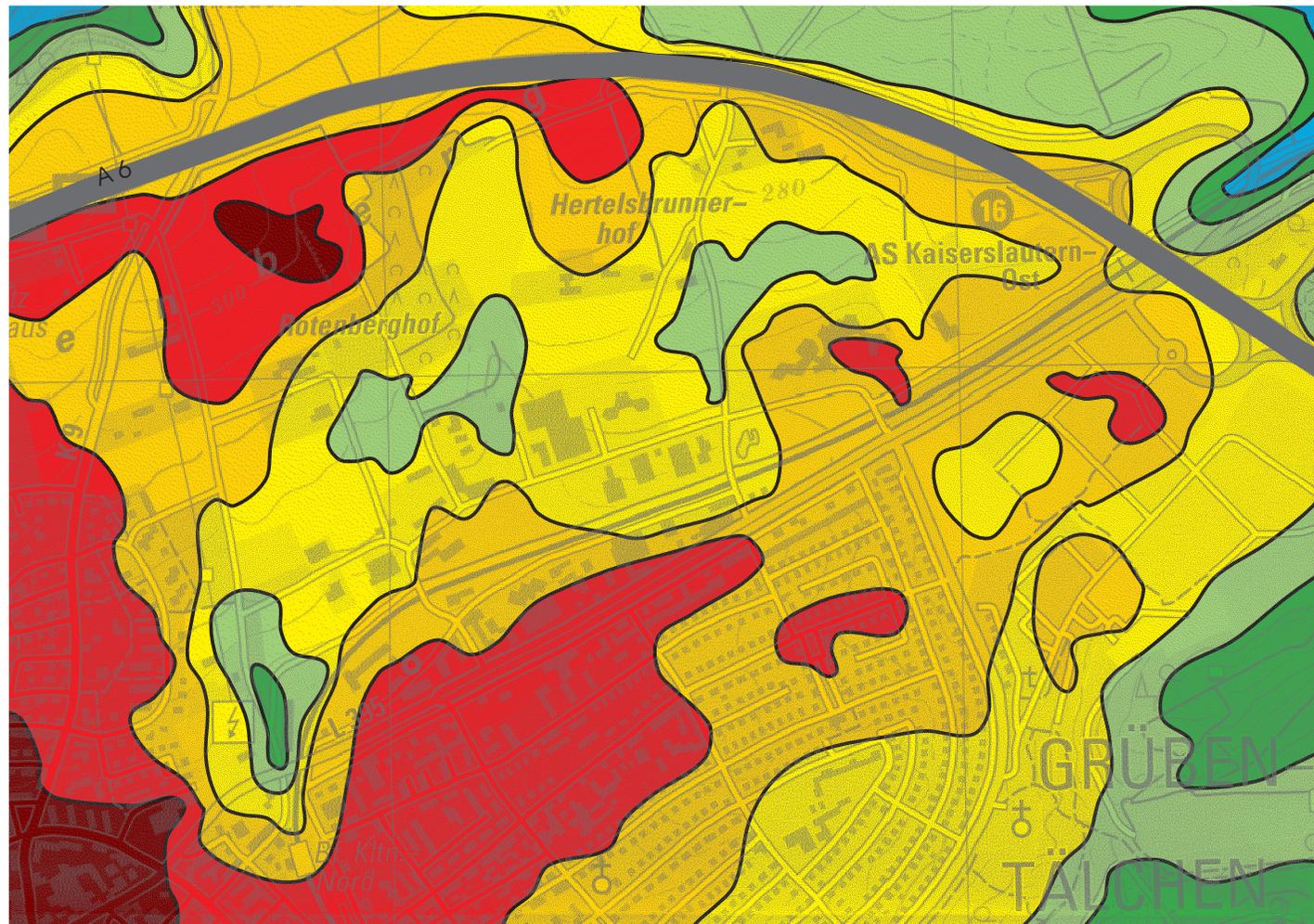
Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

Abb. 17 Ergebnisse von Rauchschwadenbeobachtungen am 30./31.10.2006

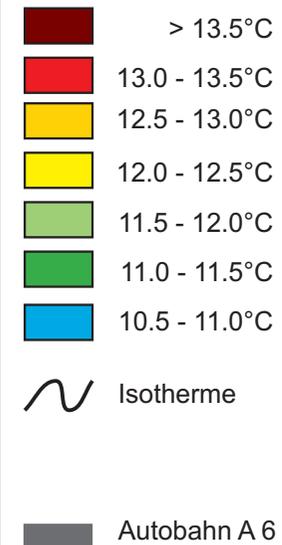


Projekt:
 Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
 des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
 "Hertelsbrunnertal" - in Kaiserslautern

Abb. 18.1 Isothermenkarte nach Messfahrten am 09.10.2006, 19:00 - 20:15 Uhr



Lufttemperatur



Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnertal" - in Kaiserslautern

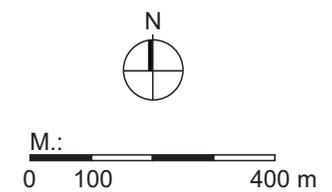
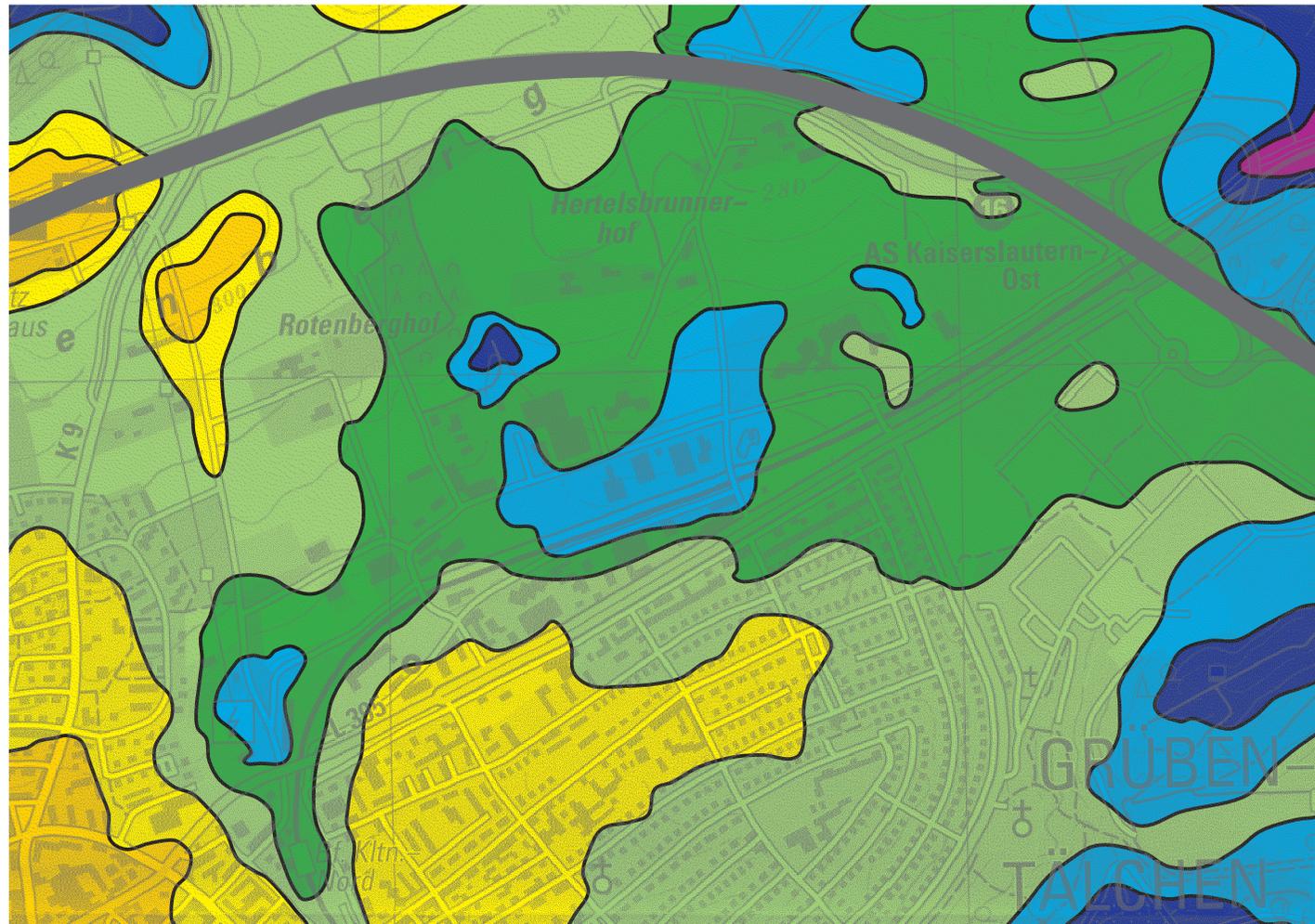
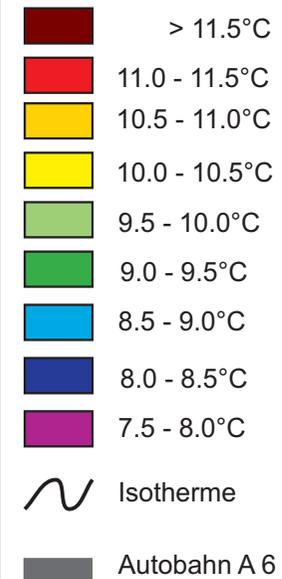


Abb. 18.2 Isothermenkarte nach Messfahrten am 10.10.2006, 00:30 - 01:45 Uhr



Lufttemperatur



Projekt:

Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunn" - in Kaiserslautern

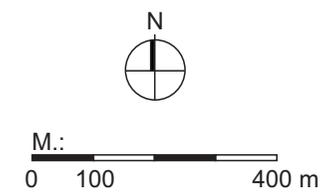
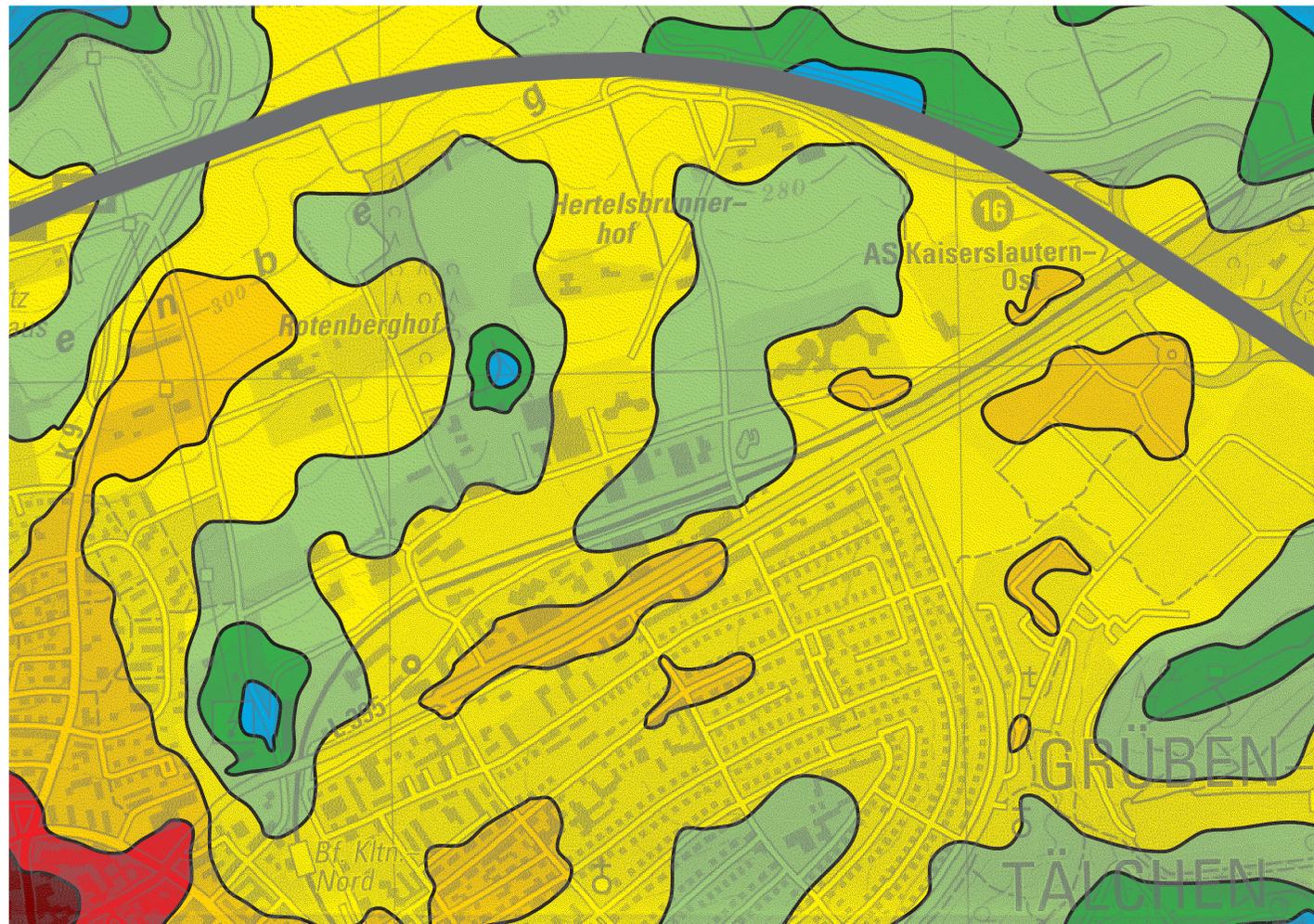
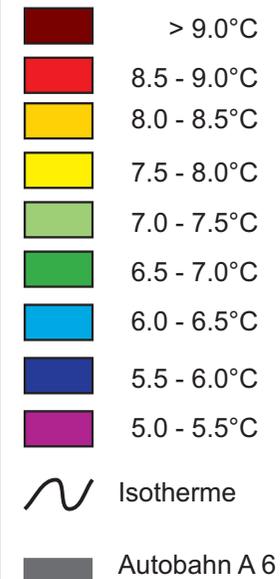


Abb. 19.1 Isothermenkarte nach Messfahrten am 30.10.2006, 19:45 - 21:10 Uhr



Lufttemperatur



Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnertshof" - in Kaiserslautern

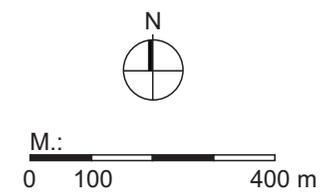
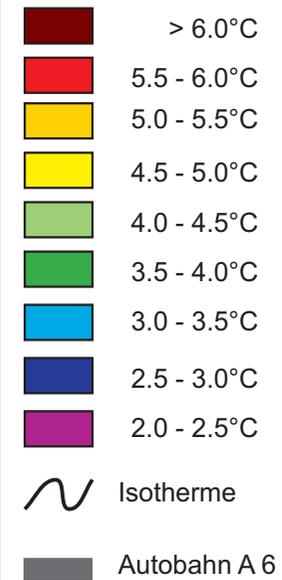


Abb. 19.2 Isothermenkarte nach Messfahrten am 31.10.2006, 00:00 - 01:50 Uhr



Lufttemperatur



Projekt:

Klimagutachten zur geplanten Erweiterung des Gewerbegebietes Nordost - Bereich "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern

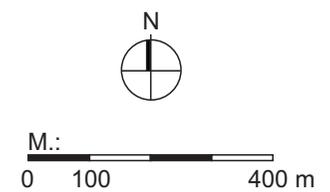
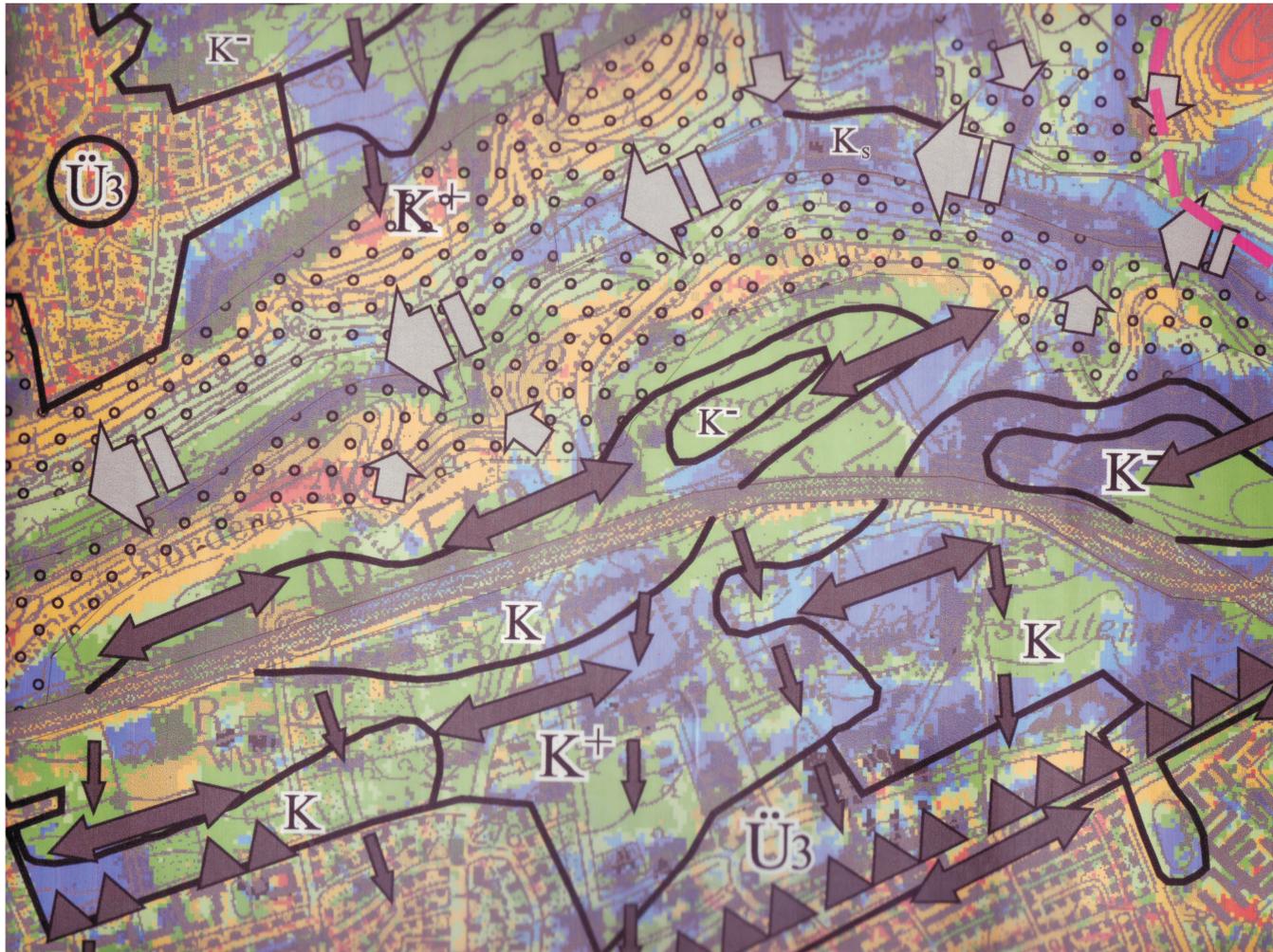
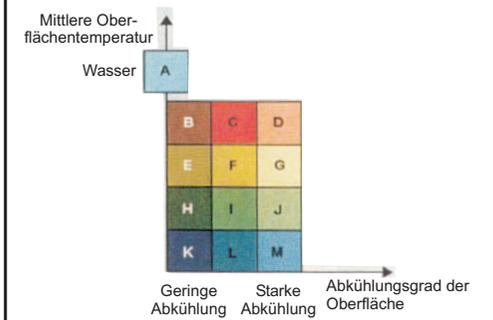


Abb. 20 Klimatopkarte



Grafik:
Steinicke & Streifeneder 1996



- K⁺ Kaltluftentstehungs- und Abflussbereiche
 - K Mäßige Abflussmöglichkeiten
 - K⁻ Eingeschränkte Abflussmöglichkeiten
 - K_s Kaltluftsammelbereiche
 - Ü₃ Geringfügig überwärmter Peripheriebereich
- ↔ Luftleitbahn
 - ↘ Intensive Kaltluftabflüsse (Talabwind)
 - ↙ Verzögerte Kaltluftabflüsse (Talabwind)
 - ← Flächenhafte Kaltluftabflüsse (Hangabwind)
 - ▲▲▲ Strömungsbarrieren

Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Hertelsbrunnerring
im Stadtgebiet Kaiserslautern

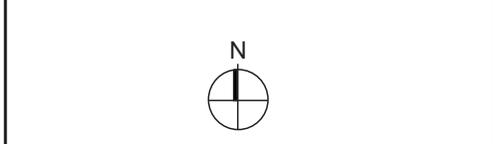


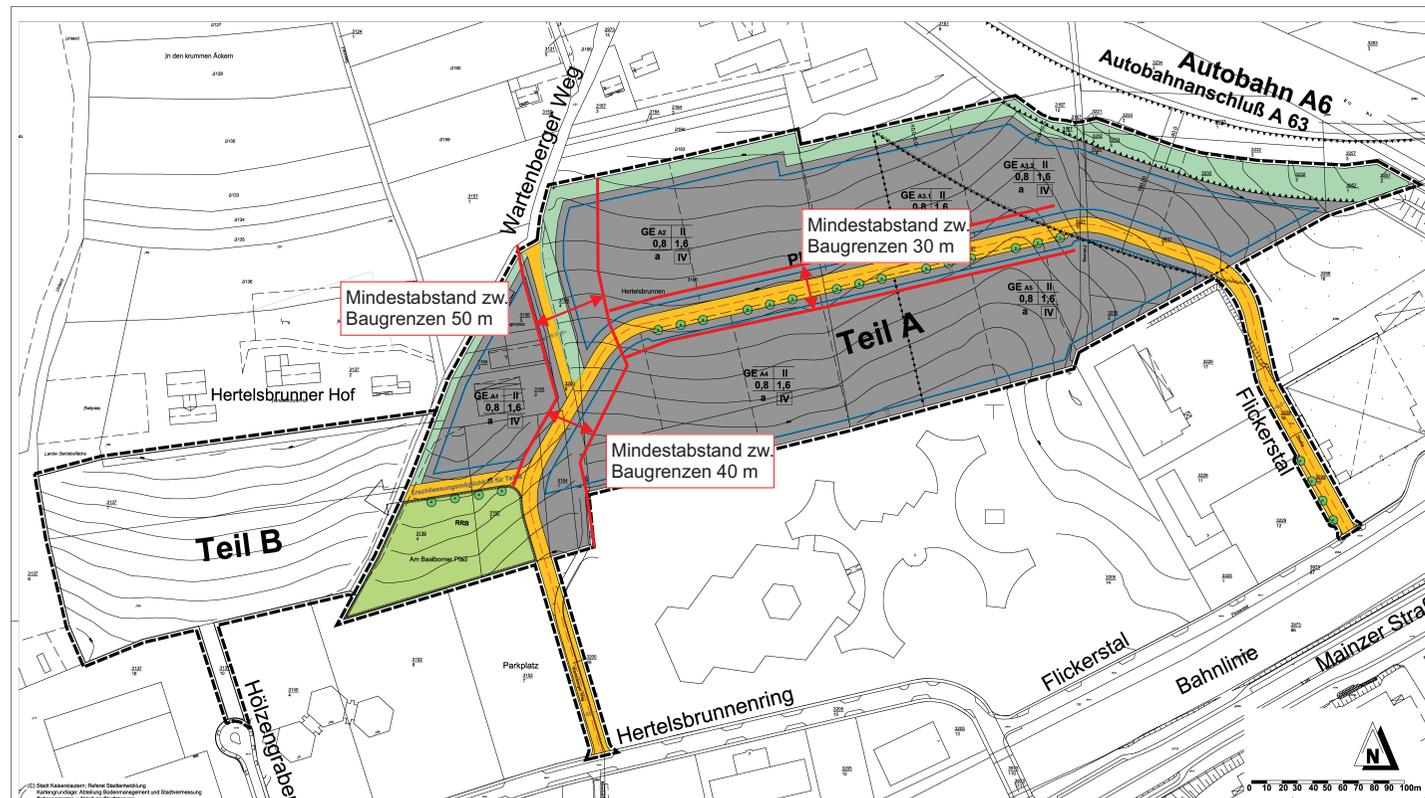
Abb. 21 Klimafunktionskarte

Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung
des Gewerbegebietes Nordost - Bereich
"Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern



-  Barrierewirkung für bodennahe Kaltluft (Damm, Wirbelschleppen von Kfz), hohe Immissionsbelastung
-  Hauptverkehrsachse mit mäßiger bis mittlerer Immissionsbelastung
-  Strömungsbarriere für bodennahe Kaltluft Geländeerschnitt
-  Bebauung mit deutlich ausgeprägtem "Wärmeisellekt"
-  GE-Bebauung mit ausgeprägtem "Wärmeisellekt"
-  GE-Bebauung mit schwach ausgeprägtem "Wärmeisellekt"
-  Bebauung mit schwach ausgeprägtem "Wärmeisellekt" (vorwiegend durchgrünte Wohnbebauung)
-  Sukzessionsflächen mit mittlerer bis hoher nächtlicher Abkühlung
-  Waldflächen mit mittlerer nächtlicher Abkühlung
-  Wiesen und Ackerflächen mit intensiver nächtlicher Abkühlung (Kaltluftmächtigkeit ca. 3 - 4 m)
-  Wiesen und Ackerflächen mit abgeschwächter nächtlicher Abkühlung (Kaltluftmächtigkeit unter 3 m)
-  Gerichteter Kaltluftstrom mit vertikaler Mächtigkeit > 4 m
-  Luftleitbahn für regional und überregional angelegte Winde außerhalb der Bebauung
-  Luftleitbahn innerhalb der Bebauung für regional und überregional angelegte Winde
-  Möglichkeit zur intensiven bodennahen Ventilation innerhalb der Bebauung
-  Erhöhte Neigung zu Kaltluftstagnation

Abb. 22 B-Planentwurf "Gewerbegebiet Nord-Ost, Erweiterung 2", Teil A



Notwendige Abstandsflächen zur Sicherung günstiger Be- und Durchlüftungsverhältnisse

Projekt:
Klimagutachten zur geplanten Erweiterung des Gewerbegebietes Nordost - Bereich "Hertelsbrunnen" - in Kaiserslautern