

**Kleinskalige klimatisch-
lufthygienische Untersuchungen
für das Gebiet A der Planung
„STUTTGART 21“**

- Entwürfe Jodry und Trojan -

IMPRESSUM:

Herausgeber:

Landeshauptstadt Stuttgart
Umweltschutz- und Ordnungsreferat
Amt für Umweltschutz
Abteilung Stadtklimatologie

Schutzgebühr DM 10.-

Bearbeitung:

Dipl. Met. R. Blazek, Dipl. Geogr. T. Nagel, Dr. rer. nat. G. Schädler,
Dr. Ing. W. Bächlin, Dr. Ing. A. Lohmeyer

Ing. Büro Lohmeyer, Karlsruhe

März 1998

im Auftrag des Amtes für Umweltschutz und des Stadtplanungsamtes

Druck: E. Kurz & Co, Stuttgart

Vorwort

Durch den Umbau des Stuttgarter Hauptbahnhofs zu einem tiefergelegten Durchgangsbahnhof mit Untertunnelung der innerstädtischen Zulaufstrecken entsteht auf dem nicht mehr benötigten Bahngelände inmitten Stuttgarts ein 100 ha großes Entwicklungsgebiet. Die Neuordnung von Flächen und ihre Umnutzung lassen zusammen mit den neuen Schienenwegen der Bahn verkehrstechnische, wirtschaftliche, ökologische und städtebauliche Synergieeffekte erwarten, deren zukunftsweisender Charakter durch den Projektnamen „Stuttgart 21“ hervorgehoben wird.

Die eisenbahntechnischen und städtebaulichen Planungen für das Projekt Stuttgart 21 sind mit Umweltuntersuchungen verbunden, denen eine große Vielfalt gutachtlicher Fragestellungen zugrunde liegt. Die zur Problemlösung angewandten Methoden reichen von computergestützten Modellrechnungen und Simulationen, über Experimente am maßstäblichen Modell im Windkanal bis zu den Messungen, Bohrungen, Kartierungen und Naturbeobachtungen im Plangebiet und seiner Umgebung.

Der Gemeinderat hat die erforderlichen Mittel für die im Zuständigkeitsbereich der Landeshauptstadt für notwendig erachteten Untersuchungen bewilligt, wobei es sich um die Bereiche Hydrogeologie, Naturschutz Luftreinhaltung, Klima und Lärmschutz handelt. Ferner gehören zusätzliche Altlastenuntersuchungen und die Entwicklung eines zukunftsorientierten Energiekonzepts auf Basis der lokalen Agenda 21 zu diesem hier nur grob umrissenen Untersuchungsprogramm.

Damit kommt die Landeshauptstadt Stuttgart über gesetzliche Vorgaben hinaus ihrer Verantwortung nach, zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen die Umweltauswirkungen des Projekts Stuttgart 21 umfassend zu ermitteln und zu bewerten.

Das Projekt Stuttgart 21 wird auch durch verschiedene Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit begleitet, die durch Informationsangebote und Veröffentlichungen eine effektive Bürgerbeteiligung als Voraussetzung einer nachhaltigen, dem Wohl der Einwohner verpflichteten Stadtentwicklung ermöglichen sollen.

zur Umwelt“ und die mit Nr. 1 beginnende, durchgehende Numerierung der Schriften führen zu einer übersichtlichen Gutachtensammlung, die auch Dokumentationszwecken gerecht wird.

In erster Linie jedoch wird auf diese Weise eine effiziente Verbreitung wissenschaftlicher Gutachten als Arbeitshilfe und Diskussionsgrundlage erreicht. Für den auswärtigen Leser mit geringerem Bezug zum Planungsgeschehen Stuttgart 21 mögen die methodischen Ansätze der verschiedenen Umweltgutachten von Nutzen sein.

Den Autoren der Reihe „Untersuchungen zur Umwelt“ - es sind dies in der Regel die jeweils von der Stadt beauftragten Gutachter - sei an dieser Stelle für die gute Zusammenarbeit an dem Projekt bestens gedankt.

J. Beck
Bürgermeister

von Zimmermann
Stadtdirektor

**KLEINSKALIGE KLIMATISCH-LUFTHYGIENISCHE
UNTERSUCHUNGEN FÜR DAS GEBIET A
DER PLANUNG STUTTGART 21**

- ENTWÜRFE JODRY UND TROJAN -

Auftraggeber: Stadtplanungsamt Stuttgart
Eberhardstraße 10
70173 Stuttgart

Dipl.-Met. R. Blazek

Dr.-Ing. W. Bächlin

Dezember 1997
Projekt 1035

INHALTSVERZEICHNIS

1 ZUSAMMENFASSUNG.....	1
2 AUFGABENSTELLUNG	7
3 VORGEHENSWEISE	9
4 EINGANGSDATEN	13
4.1 Bebauungsdaten.....	13
4.2 Winddaten	14
5 WINDSTRÖMUNGEN	17
5.1 Windkomfort	17
5.1.1 Untersuchungsmethode.....	17
5.1.2 Beschreibung der Sanderosionsexperimente.....	18
5.1.3 Flächenhafte Darstellung des Bodenwindfeldes - Sanderosionsexperimente	18
5.1.4 Punktuelle Quantifizierung der Windgeschwindigkeiten.....	24
5.1.5 Diskussion des Windkomforts.....	28
5.1.5.1 Windkomfortkriterien	28
5.1.5.2 Ergebnisse Windkomfort	30
5.2 Durchlüftung im Plangebiet.....	38
6 LUFTHYGIENE	41
6.1 Vorgehensweise	41
6.2 Immissionsprognose.....	42
6.2.1 Vorbelastung	46
6.2.2 Zusatzbelastung	47
6.2.3 Gesamtbelastung	48
6.3 Ergebnisse.....	49
6.3.1 Gesamtes Untersuchungsgebiet.....	50
6.3.2 Teilgebiet Heilbronner Straße	62

Dipl.-Geogr. T. Nagel
Dr. rer. nat. G. Schädler

Dr.-Ing. A. Lohmeyer

Dezember 1997
Projekt 1035

7 THERMISCHE UND BIOKLIMATISCHE VERHÄLTNISSE	69
7.1 Vorgehensweise	69
7.1.1 Betrachtete meteorologische Situationen.....	69
7.1.2 Verwendetes Modell	70
7.1.3 Rechengebiet	70
7.1.4 Verwendete Oberflächenparameter	71
7.1.5 Bewertungsmaßstäbe	75
7.2 Istzustand	77
7.2.1 Windgeschwindigkeit	78
7.2.2 Lufttemperatur, Tagsituation.....	78
7.2.3 PET und PMV, Tagsituation.....	78
7.2.4 Lufttemperatur, Nachtsituation.....	79
7.2.5 PMV und PET, Nachtsituation.....	79
7.3 Entwurf Jodry.....	87
7.3.1 Windgeschwindigkeit	87
7.3.2 Lufttemperatur, Tagsituation.....	87
7.3.3 PMV und PET, Tagsituation.....	88
7.3.4 Lufttemperatur, Nachtsituation.....	88
7.3.5 PMV und PET, Nachtsituation.....	89
7.4 Entwurf Trojan	96
7.4.1 Windgeschwindigkeit	96
7.4.2 Lufttemperatur, Tagsituation.....	96
7.4.3 PMV und PET, Tagsituation.....	96
7.4.4 Lufttemperatur, Nachtsituation.....	97
7.4.5 PMV und PET, Nachtsituation.....	97
8 BESCHATTUNGSVERHÄLTNISSE	104
8.1 Gebäudedarstellung für die Beschattungssimulation	104
8.2 Beurteilungskriterien	104
8.3 Berechnungsverfahren.....	111
8.4 Ergebnisse.....	112
8.4.1 Flächenhafte Ergebnisdarstellung.....	112
8.4.2 Punktuelle Ergebnisdarstellung - Horizontogramme	127

9 LITERATUR	147
ANHANG A: WINDSTRÖMUNGEN	150
A N H A N G A1: MODELLGESETZE	151
A N H A N G A2: VERSUCHSDURCHFÜHRUNG - REALISIERUNG DER MODELLGESETZE	154
A2.1 Beschreibung des Windkanals	155
A2.2 Nachbildung der atmosphärischen Grenzschicht im Windkanal	155
A2.3 Geschwindigkeits- und Turbulenzmessungen	160
A2.4 Konzentrationsmessungen	163
A N H A N G A3: QUALITÄTSSICHERUNG BEI DEN WINDKANALTESTS	164
A3.1 Geschwindigkeitsmessungen	165
A3.1.1 Einfluß der Mittelungszeit.....	165
A3.1.2 Anfahrergenauigkeit der Meßpunkte und Kalibrierung der Sonde	165
A3.1.3 Referenzpunkte	166
A3.2 Konzentrationsmessungen.....	169
A3.2.1 Überprüfung der Meßapparatur	169
A3.2.2 Gebäudereynoldszahl	169
A N H A N G A4: PRINZIP DER SANDEROSIONSVERSUCHE	171
A4 Windkanalversuche zur Sichtbarmachung der bodennahen Windgeschwindigkeitsverhältnisse z.B. in der Nähe eines Hochhauses	172
ANHANG B: LUFTHYGIENE	174
B1 Das numerische Modell MISKAM.....	175
B2 Kalibrierung des numerischen Modells.....	176
B2.1 Windkanalexperimente	177
B2.2 MISKAM-Rechnungen zur Kalibrierung.....	182
B2.3 Ergebnisse des Vergleichs	183

Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. In Kapitel 9 findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

1 ZUSAMMENFASSUNG

Die städtebaulichen Planungen im Zusammenhang mit dem Projekt STUTTGART 21 werden durch eine Vielzahl von Umweltuntersuchungen und -erhebungen vorbereitet und gutachtlich begleitet. Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens sind für den Bereich des heutigen Wagengutbahnhofs nördlich des Hauptbahnhofs, welcher durch die Heilbronner Straße (B 27/B 10), die Wolframstraße und den Mittleren Schloßgarten bzw. die Cannstatter Straße begrenzt wird (Teilgebiet A, siehe **Abb. 3.4**), Aussagen erarbeitet zu den Themen Windkomfort und Durchlüftung, Lufthygienische Verhältnisse, Bioklimatische Verhältnisse sowie Beschattungsverhältnisse im Bereich der geplanten wie auch der angrenzenden bestehenden Bebauung. Diese Betrachtungen wurden sowohl für die Planungsvarianten als auch für die derzeitige Bebauungssituation, den sogenannten Istzustand, durchgeführt. Der Vergleich der Ergebnisse bringt Auskunft über die durch künftige Bebauung zu erwartenden Änderungen.

Als näher zu untersuchende Planungsvarianten standen für die vorliegende Studie die Entwürfe von

- Jodry, Paris, nachfolgend mit Entwurf Jodry bezeichnet sowie
- Trojan, Trojan und Neu, Darmstadt, nachfolgend als Entwurf Trojan gekennzeichnet zur Diskussion.

Windströmungen

Die geplanten Bebauungen führen zu Änderungen bei den Windströmungen. Dabei werden vorwiegend in Bereichen höherer Bebauung die Windgeschwindigkeiten erhöht, u.U. verbunden mit eingeschränktem Windkomfort; andererseits kann eine massiv flächige Bebauung in Teilbereichen auch zu einer Reduktion der Windgeschwindigkeit führen und somit die Durchlüftungsverhältnisse reduzieren. Beide Veränderungen der Windströmungen können zu Nutzungseinschränkungen führen.

Die Untersuchung der Windströmungen wurde vorwiegend im Windkanal durchgeführt, wobei sowohl für den Istzustand als auch für die beiden Planungsvarianten jeweils mittels Sandersionsversuchen ein flächenhafter Überblick gewonnen und mittels Hitzdrahtmessungen die Windverhältnisse an kritischen Punkten quantifiziert wurden. Bei Fragen der Durchlüftung wurden diese Ergebnisse ergänzt durch Erkenntnisse aus den numerischen Berechnungen.

Bei beiden Planvarianten wurden die höchsten Windgeschwindigkeiten im Bereich des bestehenden Bankenareals sowie im Bereich des Geno-Hochhauses ermittelt. Im Plangebiet selbst ergaben sich bei beiden Entwürfen die höchsten Werte an der östlichen Flanke.

Die Planungsvariante Jodry zeigt vor allem nordöstlich des bestehenden Bankenareals sowie im nördlichen Bereich des Untersuchungsareals erhöhte Windgeschwindigkeiten, die zu entsprechenden Nutzungseinschränkungen, wie z.B. ungeeignet für Sitz- und Wartebereiche, führen.

Der Entwurf Trojan liefert neben den erhöhten Werten im östlichen Untersuchungsteil vor allen Dingen in der Umgebung der beiden geplanten höheren Gebäude nördlich des bestehenden Bankenareals höhere Windgeschwindigkeiten. In diesen Bereichen ist ebenfalls mit Nutzungseinschränkungen wie bei der Planvariante Jodry zu rechnen.

Der zweite Aspekt der Windströmungen betrifft die Durchlüftung. Aufgrund der geplanten Bebauung wird die Durchlüftung erwartungsgemäß gegenüber der derzeit nur leicht bebauten Fläche stark reduziert. Bei beiden Entwürfen sind die äußeren Teile der Plangebiete gut durchlüftet. In den ermittelten Zonen reduzierter Durchlüftung sollten Freisetzungen von Luftverunreinigungen, wie z.B. Abluftöffnungen von Tiefgaragen möglichst vermieden bzw. reduziert werden.

Der Entwurf Jodry liefert aufgrund der weniger stark ausgeprägten Innenhofbereiche eine verglichen mit dem Entwurf Trojan bessere Durchlüftung einzelner Quartiere. Die Lücken in der Randbebauung und die unterschiedlichen Gebäudehöhen induzieren entsprechende Strömungen und eine erhöhte Turbulenz. Demgegenüber ist die Durchlüftung der Innenhöfe beim Entwurf Trojan stark reduziert, die verglichen mit dem Entwurf Jodry reduzierte Varianz der Gebäudehöhen bewirkt reduzierten Turbulenzeintrag und somit reduzierte Durchlüftung.

Lufthygiene

Die lufthygienischen Auswirkungen der städtebaulichen Planungen wurden in Bezug auf straßenverkehrsbedingte Schadstoffe untersucht. Dazu wurden mit Hilfe des mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodells MISKAM flächendeckend Jahreskennwerte (Mittelwert und 98-Perzentil) der Belastung an NO₂, Benzol und Dieselruß berechnet. Das Untersuchungsgebiet enthält das Planungsgebiet A sowie die nähere Umgebung der Heilbronner Straße, der Wolframstraße und des Arnulf-Klett-Platzes. Neben den Gebäuden wurde auch die komplexe Topographie des Untersuchungsgebietes berücksichtigt. In einer Kalibrierungsphase wurden ausgewählte Experimente aus der parallel durchgeführten Windkanaluntersuchung mit MISKAM nachgerechnet und die Ergebnisse (normierte Konzentratio-

nen) zwischen Windkanal- und numerischem Modell verglichen. Durch die Variation verschiedener Steuerparameter des Modells MISKAM wurden die im Sinne des oben genannten Vergleichs optimalen Modellparameter ermittelt. Diese Parameter wurden in den im folgenden beschriebenen Immissionsrechnungen verwendet.

Mit Hilfe der Verkehrszahlen sowie den vom Umweltbundesamt (UBA) veröffentlichten Kfz-Emissionsfaktoren wurden für die Heilbronner Straße, die Wolframstraße und den Arnulf-Klett-Platz Emissionen der Schadstoffe NO_x , Benzol und Ruß für das Bezugsjahr 1995 bestimmt. Aus den mit diesem Modell durchgeführten Rechenläufen konnten statistische Jahreskennwerte der durch den Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet verursachten Schadstoffbelastung für den Istzustand und die zwei Planvarianten berechnet werden. Durch Überlagerung dieser Belastung mit Immissionswerten aus größerskaligen Rechnungen, die alle immissionsrelevanten Straßen in Stuttgart berücksichtigen, ergab sich ein detailliertes Bild der verkehrsbedingten Gesamtbelastung im Untersuchungsgebiet.

Für alle Bebauungsvarianten zeigte sich, daß in der näheren Umgebung der drei betrachteten Straßen hohe Schadstoffbelastungen vorherrschen. Am stärksten belastet ist die Heilbronner Straße und die Kreuzung Heilbronner Straße/Arnulf-Klett-Platz. Hier kommt es an einzelnen angrenzenden Gebäuden zu Überschreitungen des Orientierungswertes der 23. BImSchV von $10 \mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$. Etwas weniger kritisch in Bezug auf den Orientierungswert der 23. BImSchV sind die Rußbelastungen: Der Orientierungswert von $8 \mu\text{g Ruß}/\text{m}^3$ wird am höchstbelasteten Gebäude nicht erreicht. Auch der Jahresmittelwert der Stickstoffdioxidkonzentrationen lag unter dem Grenzwert der TA Luft von $80 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$. Überschreitungen sind nur direkt im Straßenraum anzutreffen. Ähnliches gilt für den Kurzzeitbelastungswert für NO_2 : Der Orientierungswert der 23. BImSchV von $160 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ wird nur vereinzelt im Straßenraum überschritten.

Der Variantenvergleich zeigt im Bezug auf die Lufthygiene im Bereich des Arnulf-Klett-Platzes nur sehr geringe Unterschiede in den Schadstoffkonzentrationen. Einzig bei der Variante „Jodry“ sind im Bereich des geplanten Hochhausturms auf dem Kurt-Georg-Kiesinger-Platz geringere Konzentration zu verzeichnen. Auch entlang der Heilbronner Straße ergeben sich nur vereinzelt Unterschiede in den berechneten Konzentrationen zwischen den drei Bebauungsvarianten. Auf dem Gelände des Geno-Hochhauses wurden die stärksten Änderungen (Konzentrationserhöhungen) durch die geplante Bebauung ermittelt. Im Bereich der Wolframstraße, insbesondere auf dem etwa 200 m langen Teilstück nordwestlich der Einmündung der Nordbahnhofstraße, sind größere Unterschiede zwischen den Varianten zu erwarten. Bei den Planvarianten sind in diesem Bereich im Vergleich zum Istzustand mit

geringeren Konzentrationen zu rechnen. Außerhalb der betrachteten Straßenbereiche sind die Änderungen durch die geplante Bebauung gering. Im Bereich der Cannstatter Straße werden die Schadstoffbelastungen bei den Planvarianten geringer, da beide Planungen die Entfernung der Cannstatter Straße als Verkehrsfläche vorsehen.

Bioklima

Für den Istzustand, den Entwurf Jodry und den Entwurf Trojan wurden die Wind-, Temperatur- und Bioklimaverhältnisse für eine sommerliche Strahlungswetterlage mit niedrigen Windgeschwindigkeiten (Tag- und Nachtsituation) betrachtet.

Bei beiden Entwürfen sind die Lufttemperaturen am Tage recht hoch. Wesentlich bedingt ist dies durch die solare Einstrahlung sowie die Eigenschaften der Oberflächen; nur in abgeschatteten Innenhöfen und in Parkanlagen treten niedrigere Temperaturen auf. Außerdem kühlen die bebauten Bereiche nachts nicht so stark ab, wie z.B. Grünflächen oder Gleisanlagen.

Die bioklimatischen Verhältnisse werden durch die Kennwerte PMV und PET beschrieben und verhalten sich sowohl qualitativ als auch hinsichtlich der jeweils resultierenden Beurteilung ähnlich, wobei oft die PMV-Darstellungen mehr Struktur aufweisen als die PET-Darstellungen. Dies ist bedingt durch die höhere Sensitivität von PMV bezüglich der Eingangswerte. Sowohl beim Entwurf Jodry als auch beim Entwurf Trojan werden alle Beurteilungsstufen von behaglich bis heiß erreicht, nachts alle Stufen von behaglich bis kalt. Heiße Bereiche liegen meist in der prallen Sonne, die kühleren Bereiche sind abgeschattete Innenhöfe und Grünanlagen. Nachts kehren sich die Verhältnisse um: u.a. aufgrund der Abstrahlung der Gebäude bleibt die bioklimatische Situation innerhalb der Bebauung behaglich, während z.B. Grünanlagen als kühl bis kalt empfunden werden. Aufgrund der geringeren Durchlüftung stellen sich beim Entwurf Trojan in Innenhöfen nachts höhere Temperaturen ein als beim Entwurf Jodry.

Beschattung

Für das gesamte geplante Untersuchungsgebiet wurden die Besonnungs- und Beschattungsverhältnisse aufgrund der bestehenden und geplanten Bebauung sowie der Geländehöhen für den Istzustand und die Entwürfe Jodry und Trojan betrachtet.

Für jede Variante wird ein dreidimensionales Gelände- und Gebäudemodell erstellt. Unter Berücksichtigung der täglichen Sonnenstände von Stuttgart findet eine Berechnung der Beschattung statt. Nachdem einheitliche Grenzwerte für die mögliche Besonnung nicht bestehen, orientiert sich die Beurteilung der Ergebnisse an den in der Literatur genannten Kriterien und Richtwerten. Für einen mittleren Wintertag und die Tag- und Nachtgleichen (Frühjahr, Herbst) wird eine flächenhafte Darstellung der bodennahen Verschattung zur Mittags-

zeit ausgewählt. Zudem liegen für 5 ausgewählte Punkte Horizontogramme vor, aus denen die ganzjährigen Besonnungsverhältnisse abzulesen sind.

Im Istzustand weist der gesamte Gleisbereich aufgrund fehlender Gebäude uneingeschränkte Sonneneinstrahlung auf. Bestehende Gebäude außerhalb der Bahnanlagen werden nicht durch diese beeinträchtigt. Die kompakte Blockbebauung mit Gebäuden bis zu 100 m Höhe beim Entwurf Jodry führt zu einer intensiven Verschattung der Innenhofbereiche und Straßenräume. Nur zwei Innenhofbereiche sind so groß, daß ab Frühjahr bis Herbst eine direkte Sonneneinstrahlung möglich ist. Im Winter finden sich nur wenige Bereiche mit direkter Sonneneinstrahlung. Der Entwurf Trojan weist eine kompakte Blockrandbebauung mit teilweise großräumigen Innenhöfen und Plätzen auf. In den Innenhöfen und auf den Plätzen ist größtenteils von Frühjahr bis Herbst eine direkte Besonnung in Bodennähe möglich. Im Winter reduziert sich die Besonnung auf kurze Zeiten in den Straßenräumen.

Die beispielhaft aufgezeigten Horizontogramme verdeutlichen, daß die mögliche tägliche Sonnenscheindauer während des Jahres bei den Planvarianten teilweise stark eingeschränkt ist. Die dichte Bebauung bei den Entwürfen Jodry und Trojan führen dazu, daß die Beurteilungswerte der zutreffenden DIN-Norm in Bodennähe teilweise nicht eingehalten werden.

2 AUFGABENSTELLUNG

Die städtebaulichen Planungen im Zusammenhang mit dem Projekt STUTTGART 21 werden durch eine Vielzahl von Umweltuntersuchungen und -erhebungen vorbereitet und gutachtlich begleitet. Im Rahmen dieser Studien sind für den Bereich des heutigen Wagenguthofbahnhofs nördlich des Hauptbahnhofs, welcher durch die Heilbronner Straße (B 27/B 10), die Wolframstraße und den Stadtgarten bzw. die Cannstatter Straße begrenzt wird (Planungsgebiet A), Stellungnahmen gefordert zu den Themen

- Windkomfort und Durchlüftung
- Lufthygienische Verhältnisse
- Bioklimatische Verhältnisse sowie
- Beschattungsverhältnisse

im Bereich der geplanten wie auch der angrenzenden bestehenden Bebauung. Diese Betrachtungen sind sowohl für die Planungsvarianten als auch für die derzeitige Bebauungssituation, den sogenannten Istzustand durchzuführen, um Auskunft über die durch künftige Bebauung zu erwartenden Änderungen zu erhalten.

Als näher zu untersuchende Planungsvarianten standen für die vorliegende Studie die Entwürfe von

- Jodry, Paris, nachfolgend mit Entwurf Jodry bezeichnet sowie
- Trojan, Trojan und Neu, Darmstadt, nachfolgend als Entwurf Trojan gekennzeichnet zur Diskussion.

Der Entwurf **Jodry** (siehe **Abb. 3.2**) weist eine kompakte Blockbebauung auf. Die Gebäudehöhen reichen von 3 m über Grund bis zu 100 m über Grund. Die 3 m hohen Gebäudeteile bestehen aus Sockelgeschossen, die als Verbindungen der Blockrandbebauung bzw. in den Innenhöfen ausgeprägt sind. Die größte Anzahl der Gebäude weist Höhen von 20 m bis 30 m auf. An den vom Bahnhof ausgehenden und nach Nordosten orientierten Straßen sind Gebäude mit Höhen von 30 m bis 55 m angeordnet. Das höchste Gebäude ist westlich des Bahnhofs gelegen und reicht bis 100 m über Grund.

Der Entwurf **Trojan** (siehe **Abb. 3.3**) sieht eine kompakte Blockrandbebauung mit meistens großzügigen Innenhöfen sowie einige freistehende Hochhäuser vor. Die überwiegende Anzahl der geplanten Gebäude weist Höhen von 28 m auf. Entlang dem Schloßgarten sind 6 relativ freistehende Hochhäuser mit ca. 40 m Höhe vorgesehen. Entlang der Heilbronner Straße reihen sich zwei Hochhäuser mit Gebäudehöhen von ca. 60 m auf. Nördlich der

Wolframstraße ist eine halbrunde Blockrandbebauung vorgesehen, die sich südlich um die bestehenden Häuser legt.

3 VORGEHENSWEISE

Für die Bearbeitung obiger Themenfelder gibt es unterschiedliche Untersuchungsmethoden und Vorgehensweisen. Für die Erfassung der derzeitigen Verhältnisse im Istzustand können Messungen vor Ort durchgeführt werden. Zukünftige Situationen können aber nur durch Simulationen beschrieben werden. Hierfür bieten sich sowohl numerische Modellierungen mittels mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle als auch physikalische Modellierungen in Grenzschichtwindkanälen an. In der vorliegenden Studie werden für den Planzustand und mit dem Ziel der besseren Vergleichbarkeit zur Abschätzung der Auswirkungen der Bebauung Simulationen auch für den Istzustand durchgeführt, wobei für die einzelnen Fragestellungen die jeweils geeignete Simulationsmethode eingesetzt wird. In **Abb. 3.1**, **Abb. 3.2** und **Abb. 3.3** sind die Modellvarianten Istzustand sowie Entwurf Jodry und Entwurf Trojan im Windkanal dargestellt. **Abb. 3.4** zeigt den Istzustand mit den Straßennamen, Gebäudebezeichnungen etc., die im Text erwähnt werden.

Für die Beschreibung des Windkomforts, also der zukünftig im Bereich der Bebauung örtlich zu erwartenden Windverhältnisse, ist eine sehr detaillierte Erfassung der Bebauungsstrukturen Voraussetzung. Hier bietet sich als Untersuchungsmethode der Grenzschichtwindkanal an, da im physikalischen Modell die Bebauung nahezu beliebig detailliert nachgebildet werden kann. Durch Sanderosionsversuche (nähere Beschreibung in Kap. 5.1.2) erhält man einen flächenhaften, vorwiegend qualitativen Überblick bzgl. der Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet. An den so ermittelten kritischen Punkten bzw. an Punkten sensitiver Nutzung (z.B. Schulen, Kindergärten, Parks u.ä.) werden punktuell Windgeschwindigkeitsmessungen im Modell durchgeführt und die zu erwartenden Windverhältnisse unter Berücksichtigung der relevanten Windstatistik quantifiziert.

Zur Erfassung der lufthygienischen Verhältnisse und der Durchlüftung ist eine Kombination aus physikalischer und numerischer Modellierung vorgesehen. Im Grenzschichtwindkanal werden Ausbreitungsexperimente für ausgewählte Situationen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen dienen der Kalibrierung des mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodells MISKAM. Das kalibrierte Modell bietet die Möglichkeit, Ausbreitungsrechnungen für unterschiedliche Emissionsszenarien mit vertretbarem Aufwand durchzuführen.

Aus einer Vielzahl von Rechenläufen werden statistische Jahreskennwerte der durch den Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet verursachten Schadstoffbelastung für den Istzustand und die beiden Planvarianten berechnet. Durch Überlagerung mit Immissionswerten aus größerskaligen Rechnungen, die alle immissionsrelevanten Straßen in Stuttgart berück-

sichtigen, ergibt sich ein detailliertes Bild der verkehrsbedingten Gesamtbelastung im Untersuchungsgebiet.



Abb. 3.1: Istzustand – Ansicht des Modells im Windkanal





Abb. 3.3: Entwurf Trojan – Ansicht des Modells im Windkanal

Durch die geplante Bebauung werden sich sowohl die thermischen und die bioklimatischen Verhältnisse als auch die Beschattungsverhältnisse ändern. Für diese Entwürfe sollen daher anhand einzelner meteorologischer Situationen sowohl die sich einstellenden thermischen und die bioklimatischen Verhältnisse als auch die Beschattungsverhältnisse diskutiert und mit dem derzeitigen Zustand verglichen werden. Zur Beurteilung der thermischen und der bioklimatischen Verhältnisse werden jeweils für zwei ausgewählte meteorologische Situationen die Wind-, Temperatur-, Feuchte- und Strahlungsverhältnisse mit einer erweiterten Version des mikroskaligen Modells MISKAM berechnet und aus diesen Daten die bioklimatischen Beurteilungsgrößen PMV (Predicted Mean Vote) und PET (Physiologic Equivalent Temperature) berechnet. Diese Größen sind im Entwurf der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 als bioklimatische Beurteilungsgrößen enthalten.

Die Besonnungs- bzw. Beschattungsverhältnisse werden für jede Variante unter Berücksichtigung eines dreidimensionalen Gelände- und Bebauungsmodells und den täglichen Sonnenständen von Stuttgart berechnet. Die Beurteilung der Beschattungsverhältnisse stützt sich auf die DIN 5034, Teil 1.

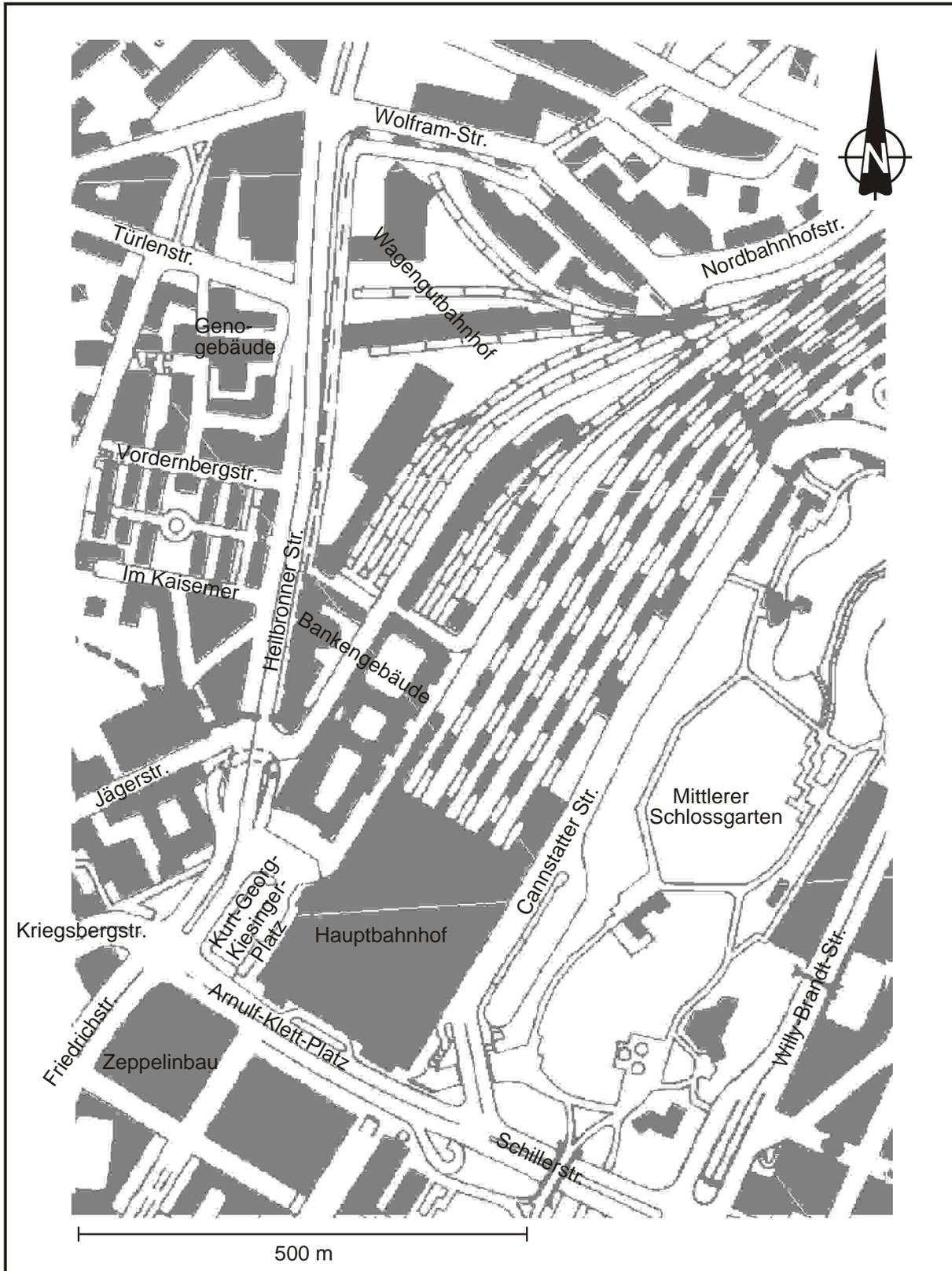


Abb. 3.4: Lageplan des Untersuchungsgebietes mit Kennzeichnung der Straßen- und Gebäudenamen, die im Text erwähnt werden

4 EINGANGSDATEN

4.1 Bebauungsdaten

Als Grundlage für die Erstellung des Windkanalmodells bzw. der digitalen Bebauungsdatei für das numerische Modell dienten für die Untersuchung des Istzustandes die über das Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Stuttgart zur Verfügung gestellten Pläne des Stadtmessungsamtes, Abt. Ingenieurvermessung, die im einzelnen umfaßten:

STUTTGART 21 - Arnulf-Klett-Platz/Schillerstraße /M. 1:500/ vom 20.03.1996

STUTTGART 21 - City-Nord Teil 1 /M:1:500/ vom 06.02.1996

STUTTGART 21 - City-Nord Teil 2 /M:1:500/ vom 06.02.1996

Im Rahmen von Schallausbreitungsrechnungen im Plangebiet "Stuttgart 21" wurde von der TÜV-ECOPLAN Akustik GmbH eine digitale Höhen- und Gebäudedatei auf der Grundlage der Stadtkarte erstellt. Diese Datei mit Angaben über Lage und Höhe der Gebäude wurde durch die TÜV-ECOPLAN Akustik GmbH bereitgestellt. Ferner wurde die an das geplante Bebauungsareal angrenzende nähere Umgebung teilweise in Form eines Holzmodells (Maßstab 1:500; dieses wurde auch den Architekten des Wettbewerbs als Vorgabe geliefert) zur Verfügung gestellt. In der oben genannten Datei fehlende Höhenangaben wurden diesem Modell entnommen.

Die Grundlagen für die beiden Planungsvarianten von Jodry und Trojan lieferte der Bericht "Städtebauliches Gutachten Stuttgart 21 - Vorprüfbericht" vom Juli 1996 sowie die zur Verfügung gestellten Pläne von

STUTTGART 21 -Architekturbüro J.-F. Jodry /M: 1:1000/ vom Juli 1996 und

STUTTGART 21 - Architekten Trojan, Trojan + Neu, Darmstadt / M:1:1000/ vom Juli 1996.

Ergänzend zu den aufgeführten Planunterlagen wurden die Höhenmaße den Modellen der Entwürfe vor Ort in Stuttgart entnommen. Bei dem Entwurf Trojan wurde das Bahnhofsgebäude nach Vorgabe des Auftraggebers ersetzt durch den Entwurf von Klein - Breucha, Dipl.-Ing. Freie Architekten BDA, Stuttgart.

4.2 Winddaten

Für das Untersuchungsgebiet wurden als repräsentative Windstatistiken die der Station "Schwabenzentrum" sowie die synthetische Statistik „Stuttgart 21“ aus der Untersuchung „Verkehrsbedingte Luftschadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung “Stuttgart 21““ (Amt für Umweltschutz, 1996b) ausgewählt. An der Station „Schwabenzentrum“ erfolgen Windmessungen über Dach in der Höhe 31 m, wobei der Windmesser ca. 6 m über der Oberkante des Daches des Schwabenzentrums liegt; die Gebäudehöhe beträgt ca. 25 m. Die synthetische Windstatistik „Stuttgart 21“ wurde in einer weiteren Untersuchung „Kaltluft- und Windfeld-Berechnungen für den Raum Stuttgart im Zusammenhang mit der Planung für das Projekt Stuttgart 21“ (Amt für Umweltschutz, 1996a) erstellt. Sie repräsentiert die Windverhältnisse in 10 m über Grund im Planungsgebiet von „Stuttgart 21“.

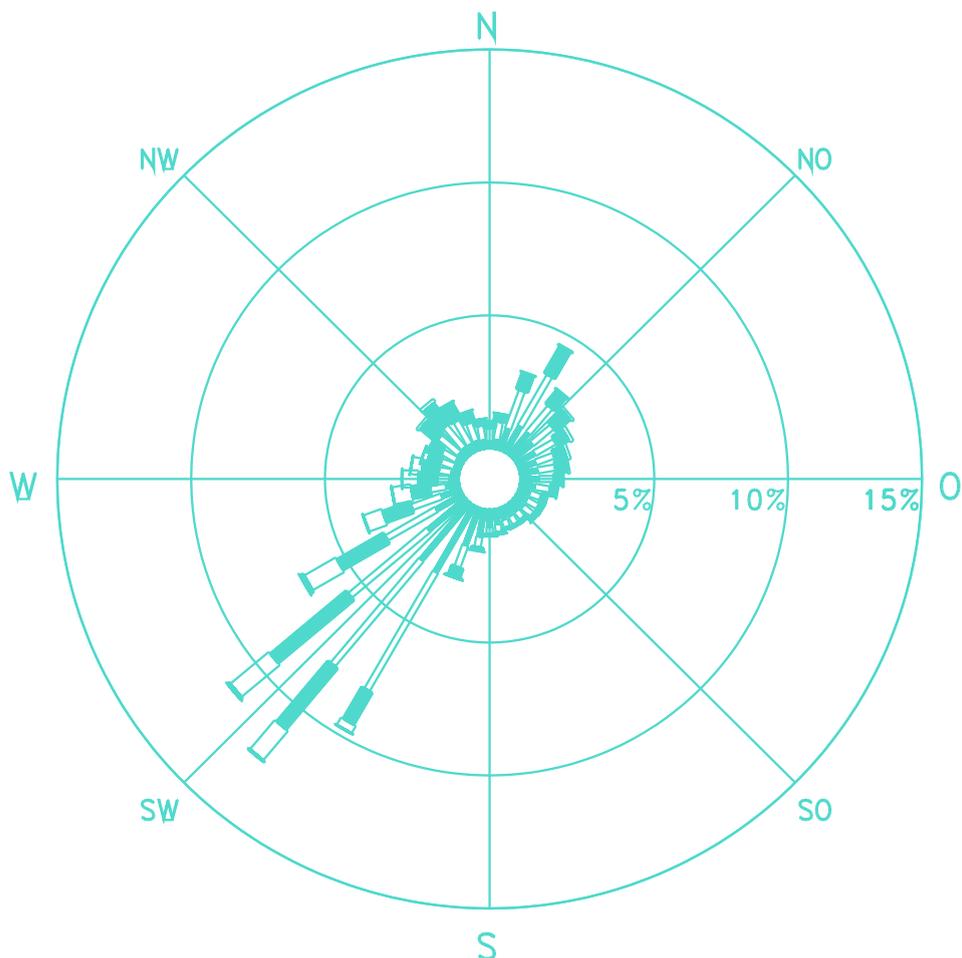
In **Abb. 4.1** ist die Stärkewindrose an der Station „Schwabenzentrum“ für den Zeitraum 1991 bis 1995 dargestellt. Das aufgrund der Talausrichtung ausgeprägte Maximum liegt bei der Windrichtung 220 Grad mit einem wesentlich schwächer ausgeprägten Nebenmaximum bei ca. 30 Grad. Die höchsten Windgeschwindigkeiten wurden registriert für Windrichtungen aus dem Sektor 210 Grad bis 250 Grad. Vergleiche der Windstatistik Schwabenzentrum mit synthetischen Statistiken für das Untersuchungsgebiet zeigten eine befriedigende Übereinstimmung.

In **Abb. 4.2** ist die synthetische Windstatistik „Stuttgart 21“ als Stärkewindrose dargestellt. Durch die Lage am nördlichen Rand des Talkessels sind nahezu alle Windrichtungen häufig vertreten. Nördliche Winde sind am seltensten. Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten bei westlichen bis südlichen Winden auf. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 1.4 m/s.

Die Betrachtung des Windkomforts erfolgte im Sinne einer konservativen Abschätzung mit der Windstatistik „Schwabenzentrum“, da hier ausgeprägte Maxima mit entsprechend hohen Windgeschwindigkeiten vorliegen.

Die Windstatistik „Stuttgart 21“ wird bei der Berechnung der Jahreskenngrößen der verkehrsbedingten Luftschadstoffkonzentrationen verwendet. Sie wurde ausgewählt, um konsistente Ergebnisse im Vergleich zur oben genannten Studie „Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung “Stuttgart 21““ zu erzielen.

Schwabenzentrum Stuttgart



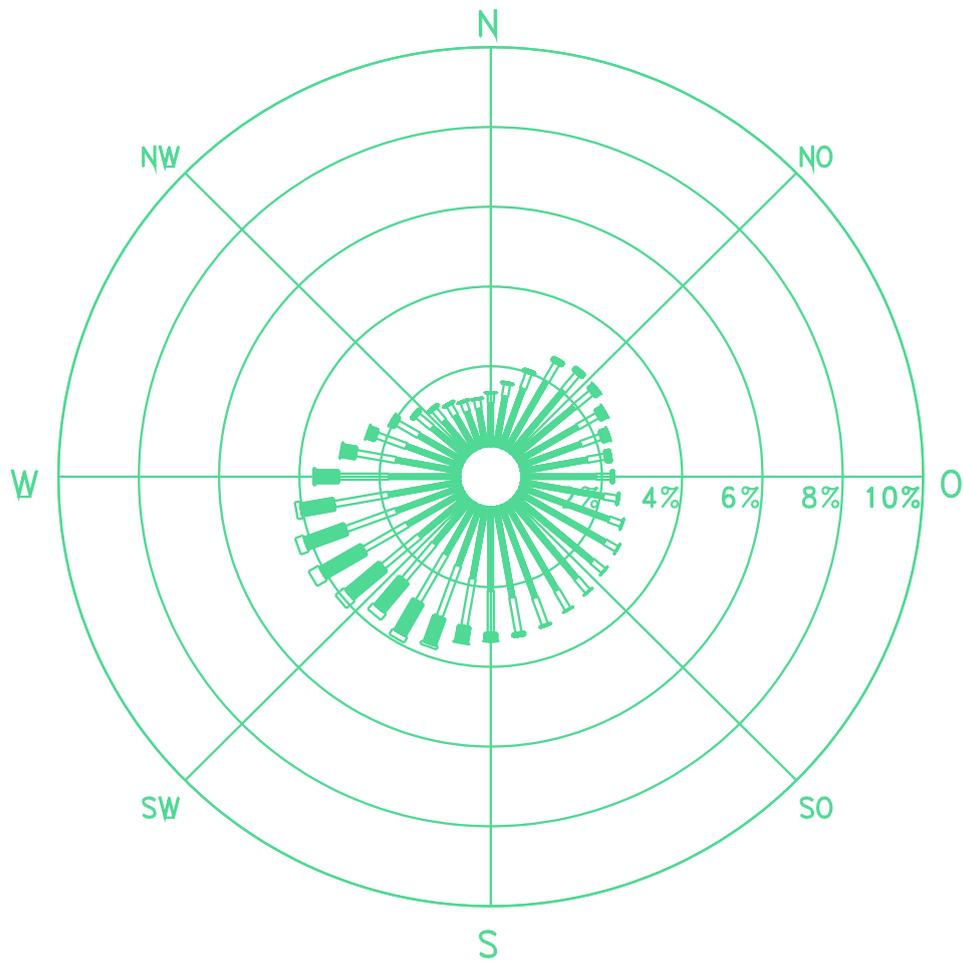
Station : Schwabenzentrum
Mephöhe : 31 m
Zeitraum : 1991 - 1995
m.Geschw.: 2.1 m/s

-  kleiner 1.4 m/s
-  1.4 bis 2.3 m/s
-  2.4 bis 3.8 m/s
-  3.9 bis 6.9 m/s
-  7.0 bis 10 m/s
-  größer 10 m/s



Abb. 4.1: Windrose für das Untersuchungsgebiet

Stuttgart 21



Station : Stuttgart 21
 Höhe : 10 m
 Zeitraum : synthetisch
 m.Geschw.: 1.4 m/s

- kleiner 1.4 m/s
- 1.4 bis 2.3 m/s
- 2.4 bis 3.8 m/s
- 3.9 bis 6.9 m/s
- 7.0 bis 10 m/s
- größer 10 m/s



Abb. 4.2: Synthetische Windrose für Lufthygieneuntersuchung

5 WINDSTRÖMUNGEN

Die Windströmungen im Untersuchungsgebiet sind unter den folgenden Themen bzw. Fragestellungen zu betrachten:

- **Windkomfort** - ergeben sich aufgrund der geplanten großflächigen Bebauung Zonen stark erhöhter Windgeschwindigkeiten mit Nutzungseinschränkungen?
- **Durchlüftung** - wie sind die Durchlüftungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet, gibt es Zonen eingeschränkter Durchlüftung?

5.1 Windkomfort

Für die Beurteilung der beiden Planungsvarianten von Jodry und Trojan sind bezüglich Windkomfort zwei Aspekte relevant:

- a) In welchen Gebieten innerhalb des Untersuchungsgebietes wird die Windgeschwindigkeit besonders hoch sein und an welchen Stellen treten besonders häufig hohe Windgeschwindigkeiten auf? Die Information über besonders windexponierte Bereiche wird benötigt, um über die zukünftige Nutzung von derzeit noch unbebautem Gelände entscheiden zu können. Straßencafés, Parkanlagen, Wartebereiche oder andere Nutzungsmöglichkeiten, in denen sich Menschen längere Zeit aufhalten, wird man zum Beispiel nicht in Gebieten anlegen, in denen häufig besonders hohe Windgeschwindigkeiten zu erwarten sind.
- b) Wie wird sich das Windfeld in den angrenzenden Bereichen der geplanten Baumaßnahmen im Vergleich zum jetzigen Zustand verändern? Durch den Vergleich von Planungs- und Istzustand kann beurteilt werden, inwieweit durch die geplante Bebauung eine zusätzliche Windbelastung im bestehenden Areal verursacht wird.

5.1.1 Untersuchungsmethode

Der Themenkomplex Windkomfort wurde mit Hilfe von Experimenten in einem Grenzschichtwindkanal des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe erfaßt. Den Bau des Windkanalmodells, die Messungen im Windkanal und die Qualitätskontrollen der Meßergebnisse führte Dr.-Ing. Theurer, Ingenieurbüro Theurer, im Auftrag durch. Dabei wurde das zu betrachtende Gebiet im Maßstab 1:500 modelliert und unter Beachtung der Ähnlichkeitsgesetze im Windkanal untersucht. Es gilt, die Anströmverhältnisse, charak-

terisiert durch das Anströmwindprofil und die Turbulenzverhältnisse, naturgetreu zu simulieren. Die zu berücksichtigenden Modellgesetze sind in Anhang A1 näher beschrieben.

Da manche Forderungen aufgrund der Modellgesetze nur näherungsweise umgesetzt werden können, ist in Anhang A2 die Realisierung der Modellgesetze erläutert. Zur Gewährung gewisser Qualitätsstandards im experimentellen Bereich, die einerseits geprägt werden durch die eingesetzten Versuchs- und Meßgeräte und andererseits durch das Versuchspersonal, werden derartige Experimente begleitet von ständigen Qualitätstests. Dazu gehören vor allen Dingen Reproduzierbarkeitstests, d.h. Wiederholung der Experimente bei unterschiedlichen Randbedingungen, Gerätetests u.ä.. Die Ergebnisse solcher Qualitätssicherungstests sind in Anhang A3 beschrieben.

Zur Untersuchung der durch die geplante Bebauung zu erwartenden Änderung des Bodenwindfeldes wurden in der vorliegenden Studie

- zur qualitativen flächendeckenden Beurteilung Sanderosionsversuche und
- zur quantitativen Untersuchung einzelner, besonders windexponierter Punkte Windgeschwindigkeitsmessungen mit Hilfe von Hitzdrahtsonden durchgeführt.

5.1.2 Beschreibung der Sanderosionsexperimente

Das Prinzip der Sanderosionsexperimente wird in Anhang A4 näher erläutert. Sanderosionsversuche werden durchgeführt, um die Größe der bodennahen Windgeschwindigkeit sowie deren Änderung durch bauliche Maßnahmen flächendeckend sichtbar zu machen. Dazu wird das zu untersuchende Stadtmodell mit einer Sandauflage in den Windkanal eingebaut. Von denjenigen Flächen, auf denen besonders hohe Windgeschwindigkeiten vorliegen, wird der Sand weggeblasen, auf den Flächen mit niedrigeren Windgeschwindigkeiten bleibt er liegen.

Im Experiment wird die Windgeschwindigkeit stufenweise erhöht, wobei die Sanderosionsbilder nach jeder Stufe graphisch festgehalten werden.

5.1.3 Flächenhafte Darstellung des Bodenwindfeldes - Sanderosionsexperimente

Die Sanderosionsexperimente wurden sowohl für die beiden Planungsvarianten als auch für den Istzustand durchgeführt. Dabei wurde bei diesen Versuchen auf die Modellierung der

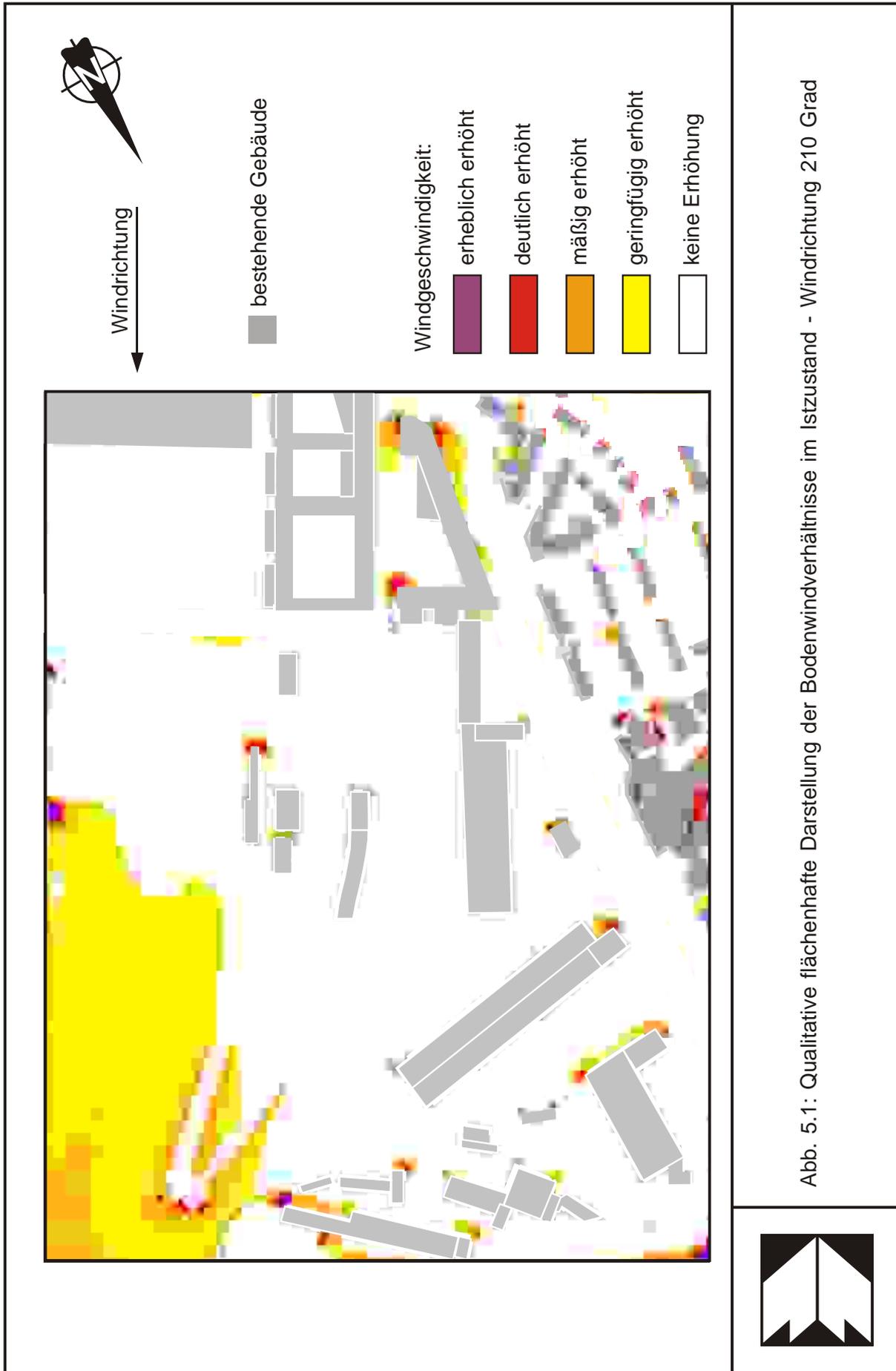
Vegetation verzichtet, bei den punktorientierten Windgeschwindigkeitsmessungen dahingegen (siehe Kap. 5.1.4) wurde die Vegetation entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers berücksichtigt. Exemplarisch sind in **Abb. 5.1** die Ergebnisse in Ausschnitten für den Istzustand für die Windrichtung 210 Grad dargestellt, **Abb. 5.2** und **Abb. 5.3** zeigen die entsprechenden Resultate für die beiden Planungsvarianten. Dabei sind den bei den entsprechenden Windgeschwindigkeitsstufen freigelegten Flächen Farben zugeordnet worden. Lila sind die Flächen mit den höchsten zu erwartenden Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet, rot die Flächen der nächsten Stufe, orange diejenigen der dritten Stufe und die erodierten Flächen der letzten Geschwindigkeitsstufe sind als gelbe Flächen dargestellt. Die weißen Flächen zeigen die Bereiche, bei denen im Versuch kein Sand erodiert wurde und kennzeichnen somit Flächen mit niedrigen Windgeschwindigkeiten. Die in **Abb. 5.1** bis **Abb. 5.3** den einzelnen Farbtönen zugeordneten Bewertungen beziehen sich auf einen Bezugspunkt oder -bereich im offenen bestehenden Bahngelände außerhalb örtlicher Gebäudeeinflüsse.

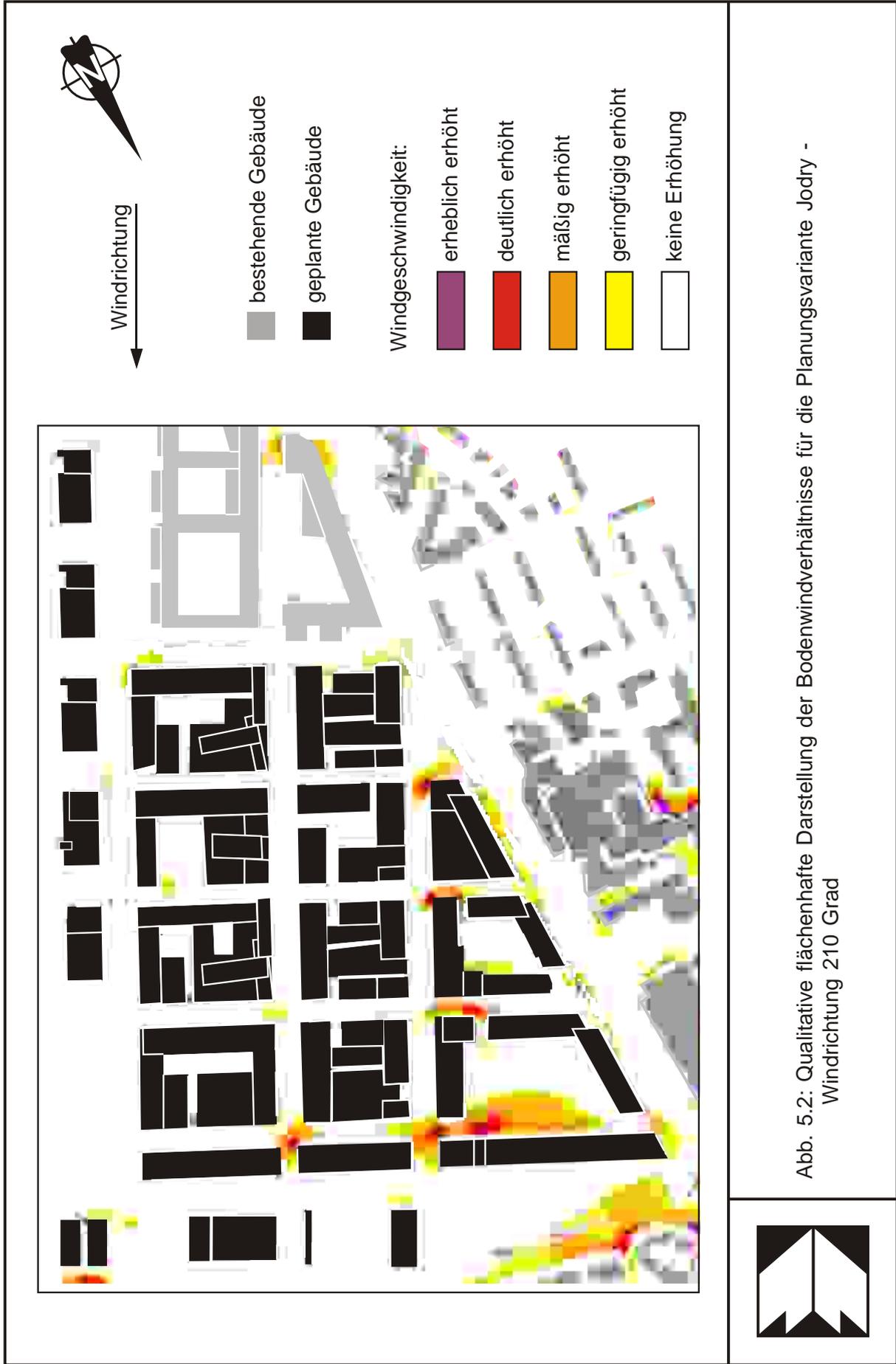
Im Istzustand (**Abb. 5.1**) zeigt sich im Nordosten eine größere gelbe Fläche. Aufgrund der bei der hier betrachteten Windrichtung großen luvseitigen Fläche des Bahngeländes mit geringerer Bodenrauigkeit ergeben sich gegenüber der Umgebung erhöhte Geschwindigkeiten. Höhere Geschwindigkeiten zeigten sich im Bereich des östlich auf dem Bahngelände gelegenen Stellwerks sowie im Bereich des bestehenden Bankengebäudes (Definition siehe **Abb. 3.4**). Des weiteren sind bei verschiedenen Bauwerken an den Gebäudeecken die zu erwartenden Zonen erhöhter Geschwindigkeit zu erkennen.

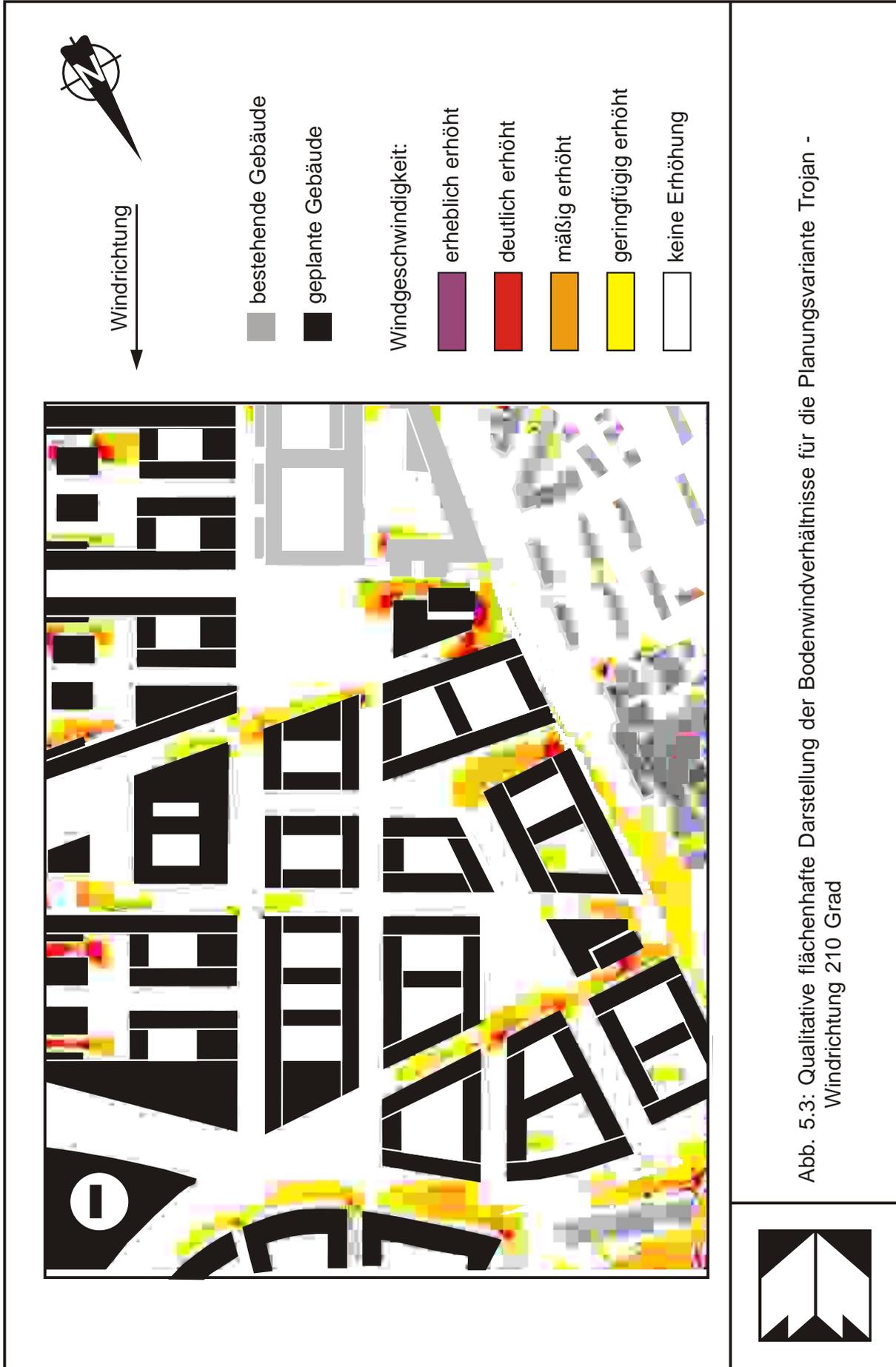
Bei den Planungsvarianten ist die zuvor erwähnte größere erodierte Fläche im Nordosten nicht mehr vorhanden. Aufgrund der jetzt wesentlich höheren Bodenrauigkeit infolge der Bebauung sind bei der Planungsvariante Jodry (**Abb. 5.2**) nicht flächenhaft leicht erhöhte sondern punktuell starke Geschwindigkeitserhöhungen erkennbar. Bei der hier exemplarisch gezeigten Windrichtung 210 Grad lagen die Zonen der höchsten zu erwartenden Windgeschwindigkeiten im nördlich gelegenen Bebauungsareal mit punktuell stark erhöhten Werten.

Bei der Planungsvariante Trojan (**Abb. 5.3**) ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Variante Jodry, wobei die Gebiete höherer Windgeschwindigkeiten örtlich anders verteilt sind. Dies gilt für die Gebäude angeordnet entlang des Mittleren Schloßgartens sowie nördlich des bereits bestehenden Bankengebäudes. Bei der hier betrachteten Windrichtung ist auch im Bereich der Heilbronner Straße zwischen geplanter Bebauung und Genogebäude gegenüber dem Istzustand eine Fläche erhöhter Windgeschwindigkeiten zu erkennen.

Die beschriebenen Abbildungen **5.2** und **5.3** zeigen die flächenhaften Ergebnisse für eine ausgewählte Windrichtung. Derartige Experimente wurden für die vier Windrichtungen 30 Grad, 120 Grad, 210 Grad und 300 Grad, jeweils für Istzustand und beide Planungsvarianten durchgeführt.







Aus allen diesen Sanderosionsbildern wurden die Starkwindbereiche bzw. -stellen bestimmt, die höhere Windgeschwindigkeiten erwarten lassen, und die Windverhältnisse punktuell quantifiziert.

5.1.4 Punktuelle Quantifizierung der Windgeschwindigkeiten

Auf der Basis der Ergebnisse aus den Sanderosionsversuchen wurden insgesamt ca. 60 Punkte verteilt auf Istzustand und die beiden Varianten identifiziert, an denen die höchsten Windgeschwindigkeiten zu erwarten sind. Ihre Positionen sind in **Abb. 5.4** bis **Abb. 5.6** definiert. An diesen Punkten wurden bei 6 verschiedenen Windrichtungen sowohl für den Ist-, als auch für die beiden Planzustände die Windgeschwindigkeiten in ca. 2 m Höhe über Grund punktuell vermessen. Dabei wurden jeweils die Komponenten mittlere Windgeschwindigkeit und Standardabweichung der Geschwindigkeit erfaßt und Verstärkungsfaktoren bezogen auf einen Referenzpunkt der ungestörten Strömung gebildet. Die Versuchsbedingungen sind in Anhang A2 näher beschrieben.

Bei der Beurteilung der Windsituation sind windrichtungsbezogen die Häufigkeit von Starkwinden und die ermittelten Verstärkungsfaktoren zu verknüpfen. Für die Beurteilung des Windkomforts werden für jeden dieser Punkte die jährlichen Überschreitungshäufigkeiten vorgegebener Grenzgeschwindigkeiten ermittelt.

Aus den Meßergebnissen des Windkanalexperimentes wird für jeden betrachteten Punkt die sogenannte Böengeschwindigkeit ermittelt, die sich zusammensetzt aus

$$\hat{u} = \bar{u} + 3 * \sigma_u$$

mit

- \hat{u} = Böengeschwindigkeit
- \bar{u} = mittlere Windgeschwindigkeit
- σ_u = Standardabweichung der Windgeschwindigkeit.

Unter Berücksichtigung der örtlichen Windstatistik (siehe Kap. 4.2) werden für jeden Punkt die jährlichen Überschreitungshäufigkeiten bestimmter Schwellenwerte der Windgeschwindigkeit bestimmt.





Abb. 5.5: Windkomfortmesspunkte Entwurf Jodry



Abb. 5.6: Windkomfortmesspunkte Entwurf Trojan



5.1.5 Diskussion des Windkomforts

Im folgenden werden zunächst die Kriterien des Windkomforts dargelegt, anschließend werden die gewonnenen Ergebnisse für die ca. 60 Meßpunkte anhand dieser Windkomfortkriterien diskutiert.

5.1.5.1 Windkomfortkriterien

Zur Veranschaulichung der Wirkung von verschiedenen Windgeschwindigkeiten, ist in der **Tab. 5.1** der Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit und der Windwirkung anhand einiger Beispiele aufgezeigt. Wie man aus der **Tab. 5.1** entnimmt, sind zum Teil schon beeinträchtigende Windwirkungen ab einer Geschwindigkeit von ca. 6 m/s vorhanden.

Die in der Literatur angegebenen Windkomfortkriterien unterscheiden sich dahingehend, daß sie sich entweder auf den Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit \bar{u} oder auf die Böenwindgeschwindigkeit \hat{u} beziehen. Es sind Komfortkriterien beschrieben, die bei Überschreitung bestimmter Windgeschwindigkeiten Einschränkungen bei entsprechenden Nutzungen angeben.

Windgeschwindigkeit [m/s]	Effekt
bis ca. 1.5	Ruhe, keine merkliche Luftströmung
ca. 1.6 - ca. 3.3	im Gesicht fühlbare Luftströmung
ca. 3.4 - ca. 5.4	Wind bewegt leichte Fahnen
ca. 5.5 - ca. 7.9	Papier fliegt auf, Frisur wird zerstört
ca. 8.0 - ca. 10.7	Windkraft am Körper deutlich spürbar
ca. 10.8 - ca. 13.8	Regenschirme nur mit Mühe zu benutzen
ca. 13.9 - ca. 17.1	Schwierigkeiten beim Gehen

Tab. 5.1: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Wirkung des Windes nach Stiemer (1977)

Tab. 5.2 zeigt die der vorliegenden Studie zugrunde gelegten Kriterien im zusammenfassenden Überblick. Als Bezugsgeschwindigkeit wurde die in Kap. 5.1.4 definierte Böengeschwindigkeit herangezogen. Teilweise existieren mehrere Kriterien zur Beurteilung des Windkomforts. In diesen Fällen genügt bereits das Nichterfüllen einer Bedingung, um der nächst höheren, also kritischeren Nutzungskategorie zugeordnet zu werden.

Böenwindgeschwindigkeit	Überschreitungs-Häufigkeit	Einschränkungen der Nutzungsmöglichkeit	Nutzungs-Kategorie
6 m/s	max. 1 %	keine Einschränkung, Windkomfort	1
6 m/s 8 m/s	max. 5 % max. 1 %	zulässig in Warte- und Sitzbereichen (z.B. Spielplätze, Straßencafés...)	2
6 m/s 10 m/s 15 m/s	max. 20 % max. 1 % max. 0.05 %	zulässig auf Flächen für kurzzeitigen Aufenthalt	3
13 m/s	max. 1 %	zulässig für problemloses Laufen (z.B. an Gebäudeecken)	4
18 m/s 20 m/s	max. 1 % max. 0.05 %	problematisches Laufen, Windschutz empfehlenswert	5
18 m/s	> 1 %	Gefahr für Fußgänger, Windschutz erforderlich	6

Tab. 5.2: Kriterien zur Beurteilung der Windverhältnisse

5.1.5.2 Ergebnisse Windkomfort

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt getrennt für die beiden Planungsvarianten und den Istzustand.

ISTZUSTAND

Im Istzustand ergaben sich erhöhte Windgeschwindigkeitswerte an den Meßpunkten 1 im nördlichen Bereich der Heilbronner Straße, am Punkt 4 in der Wolframstraße, am Punkt 6 westlich des Geno-Hochhauses sowie an den Punkten 9 und 10 im Bereich des bereits bestehenden Bankenareals. Dabei ist der Punkt 10 der Untersuchungspunkt mit den höchsten zu erwartenden Windgeschwindigkeiten, gefolgt von den Punkten 6 und 4. Die **Tab. 5.3** zeigt für den Istzustand die relativen Überschreitungshäufigkeiten vorgegebener Bezugsgeschwindigkeiten für die untersuchten Punkte. In **Abb. 5.7** sind die Ergebnisse der Windkomfortuntersuchung für den Istzustand graphisch dargestellt. Bei dieser Art der Darstellung sind die jeweils erfüllten Windkomfortkriterien markiert.

Istzustand	RELATIVE HÄUFIGKEIT						
	> 6 m/s	> 8 m/s	> 10 m/s	> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	> 20 m/s
2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	4,9	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	5,5	1,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	2,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	6,9	1,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
61	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 5.3: Relative Überschreitungshäufigkeiten der angegebenen Böengeschwindigkeiten für den Istzustand



PLANVARIANTE JODRY

Bei der Planvariante Jodry wurden an den im bestehenden Areal liegenden Punkten 6 und 10 die höchsten Windgeschwindigkeiten ermittelt. Ebenfalls höhere Werte wurden im geplanten Areal registriert am Punkt 60 nordöstlich des bestehenden Bankenareals sowie in der Verlängerung am Punkt 55. Diese Bereiche können für kurzzeitige Aufenthalte genutzt werden, von längerdauernden Nutzungen wie z.B. Wartebereiche, Sitzbereiche u.ä. sollte Abstand genommen werden. Wie auch beim Entwurf Trojan ist die östliche Flanke der Bereich mit den höheren Windgeschwindigkeiten gefolgt vom nördlichen Bebauungsbereich (Punkte 44, 48, 49 und 64). Die Ergebnisse sind in **Tab. 5.4** als Überschreitungshäufigkeiten der einzelnen Geschwindigkeitsstufen gezeigt, in **Abb. 5.8** sind sie nutzungsorientiert graphisch dargestellt.

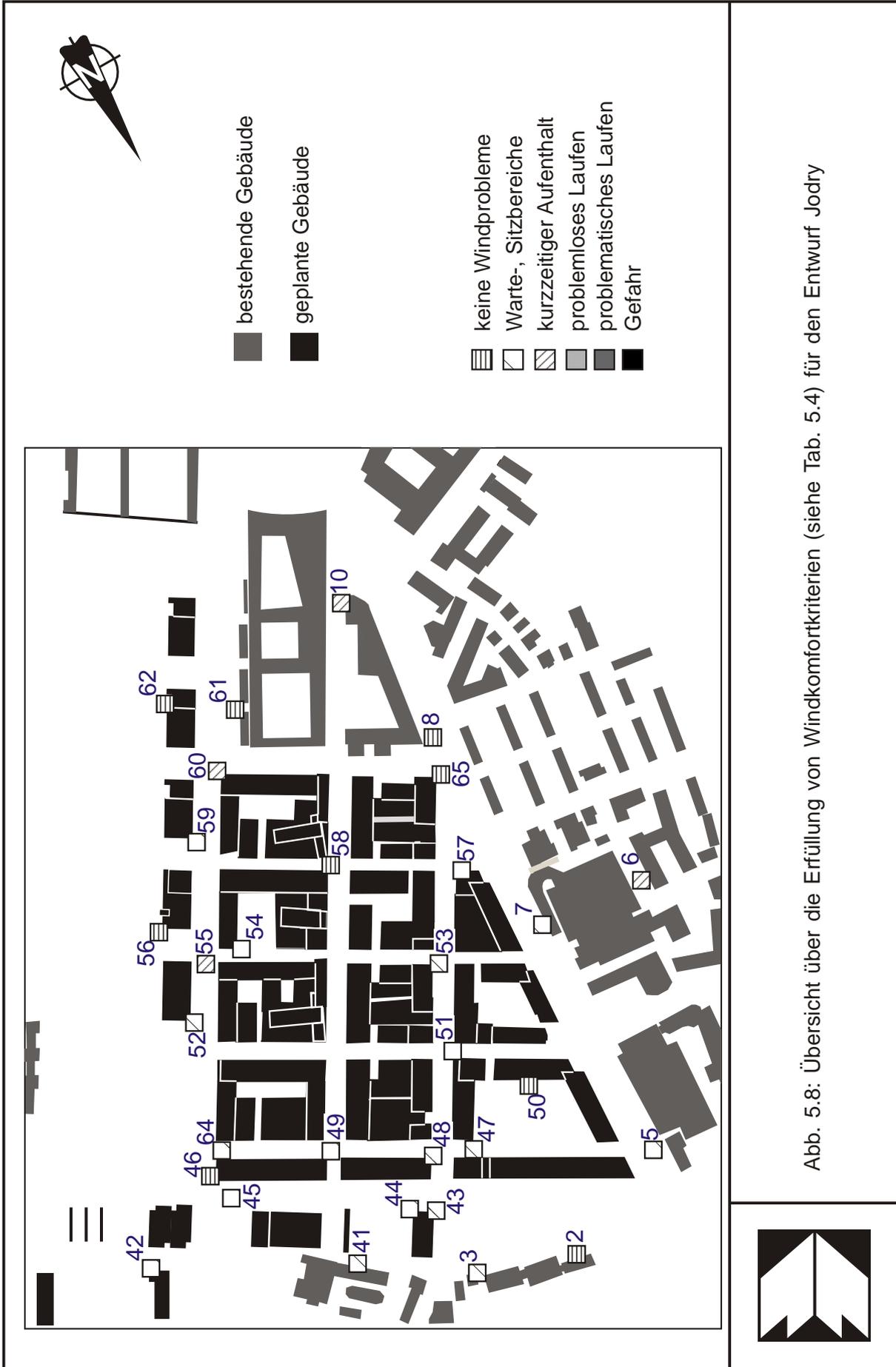
PLANVARIANTE TROJAN

Die Messungen am Modell der Planvariante Trojan ergaben die höchsten Windgeschwindigkeiten wiederum im bereits bestehenden Areal mit den Meßpunkten 10 im Bankenareal und Punkt 6 beim Geno-Hochhaus. Ähnlich wie auch bei der Planvariante Jodry liegen im Planungsbereich die Punkte mit den höchsten Windgeschwindigkeiten an der östlichen Flanke des Untersuchungsareals. Es sind dies vor allem die Meßstellen Nr. 26 und Nr. 29. In diesen Bereichen sollte von einer länger andauernden Nutzung abgesehen werden. Höhere Werte ergaben sich für die Punkte 19 und 20 im östlichen Teil und den Punkt 17 im Einflußbereich des höheren Gebäudes im westlichen Teil. Ähnliche Verhältnisse wie am Punkt 17 sind auch im Umfeld des zweiten höheren Gebäudes (zwischen den Punkten 8 und 28) nördlich des bestehenden Bankenareals zu erwarten. Die Einzelergebnisse sind in **Tab. 5.5** aufgelistet, **Abb. 5.9** liefert die graphisch aufbereiteten Ergebnisse, wobei die jeweils erfüllten Windkomfortkriterien dargestellt sind.

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Entwürfe, wie sie der Untersuchung zugrunde lagen. Bei der späteren Ausführungsplanung ist darauf zu achten, daß die hier gezeigten Effekte nicht durch Detailplanungen (z.B. Vordächer, Überbauungen, versetzte Flächen u.ä.) an den Gebäuden verstärkt werden.

Jodry Punkt Nr.	RELATIVE HÄUFIGKEIT						
	> 6 m/s	> 8 m/s	> 10 m/s	> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	> 20 m/s
2	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	4,3	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
5	3,0	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
6	5,9	1,8	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0
7	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	6,1	1,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
41	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	2,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44	3,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
45	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
46	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
47	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
48	2,7	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
49	2,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
51	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
52	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
53	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
54	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
55	4,0	1,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
56	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
57	2,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
58	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
59	2,8	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
60	5,0	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
61	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
62	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
64	4,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
65	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 5.4: Relative Überschreitungshäufigkeiten der angegebenen Böengeschwindigkeiten für die Planungsvariante Jodry



Trojan	RELATIVE HÄUFIGKEIT						
	> 6 m/s	> 8 m/s	> 10 m/s	> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	> 20 m/s
2	2,5	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	2,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	7,5	2,8	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0
7	2,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	6,1	1,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
11	2,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	2,4	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	4,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	4,0	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
20	3,3	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
21	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	6,9	2,8	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0
27	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	5,9	2,1	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0
30	2,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	2,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
61	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 5.5: Relative Überschreitungshäufigkeiten der angegebenen Böengeschwindigkeiten für die Planungsvariante Trojan

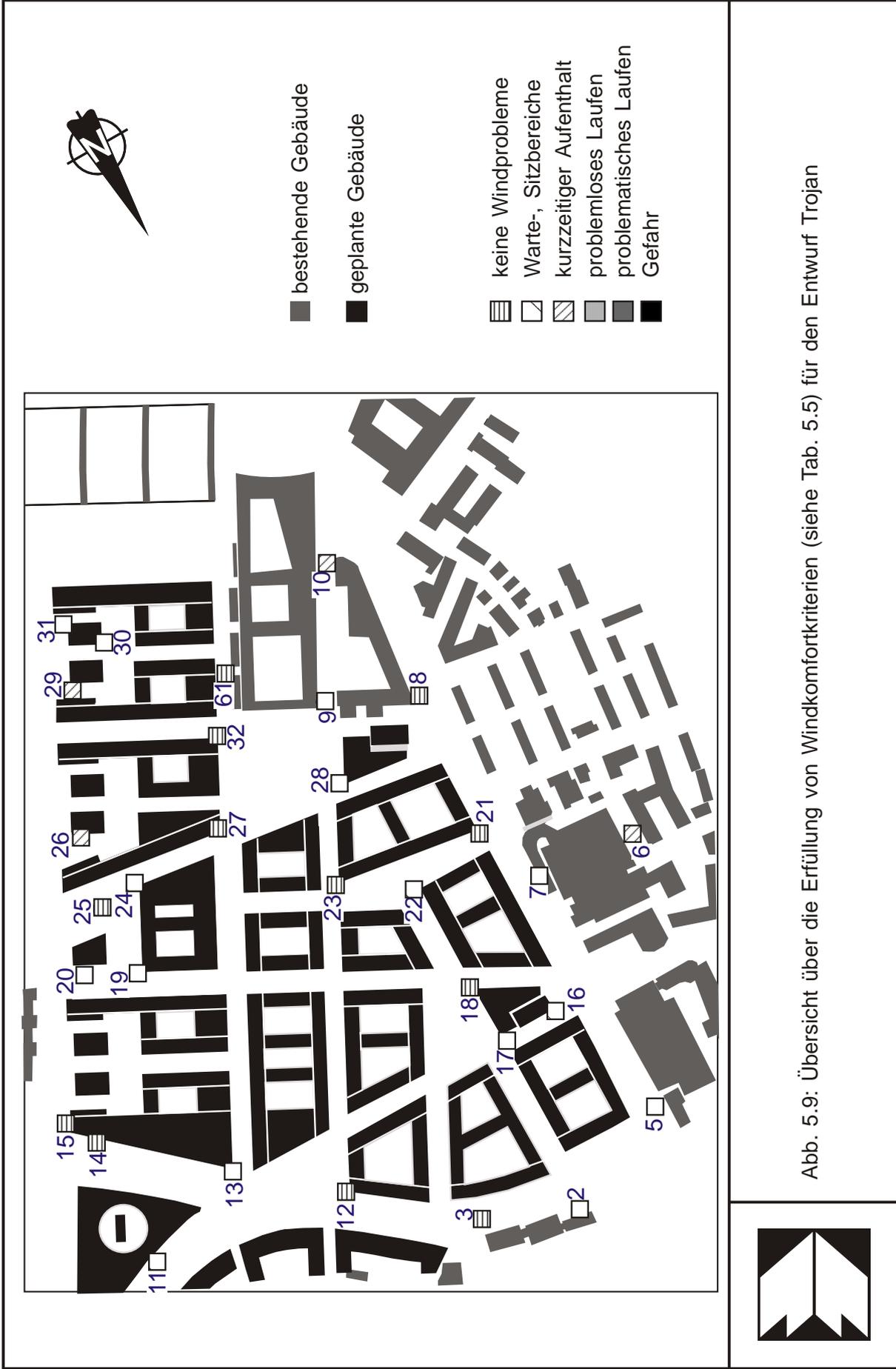


Abb. 5.9: Übersicht über die Erfüllung von Windkomfortkriterien (siehe Tab. 5.5) für den Entwurf Trojan



5.2 Durchlüftung im Plangebiet

Die Ergebnisse der Windkomfortuntersuchung liefern vorwiegend in den Randbereichen des Plangebietes Komforteinbußen. Im eigentlichen Kerngebiet des Planareals wurden bei den beiden betrachteten Entwürfen keine gravierenden Einschränkungen ermittelt. In Anbetracht der niedrigen mittleren Windgeschwindigkeiten im Stuttgarter Becken stellt sich hier eher die Frage nach der Durchlüftung. Der Einfluß der Windverhältnisse auf das Bioklima wird in Kap. 7 näher beschrieben. Der Einfluß der Windverhältnisse auf die lufthygienischen Aspekte in Kap. 6 betrachtet. Dabei werden die Heilbronner Straße, die Wolframstraße und der Arnulf-Klett-Platz als Schadstoffquellen berücksichtigt.

An dieser Stelle werden Rückschlüsse auf die Durchlüftung aus den Windgeschwindigkeitsmessungen im Grenzschichtwindkanal und den numerischen Simulationen gezogen, wie in Kap. 6 näher beschrieben. Aufgrund der Bebauung wird die Durchlüftung erwartungsgemäß gegenüber der derzeit nur leicht bebauten Fläche stark reduziert. Bei beiden Entwürfen sind die äußeren Bereiche der Plangebiete gut durchlüftet.

Beim Entwurf Jodry sind die Innenhofbereiche verglichen mit dem Entwurf Trojan nicht so stark ausgeprägt und infolgedessen stärker belüftet. Dies ist einerseits bedingt durch Lücken in der Randbebauung und andererseits durch stärker strukturierte Gebäudehöhen, die entsprechende Strömungen in Kombination mit erhöhter Turbulenz induzieren. Die **Abb. 5.10** zeigt die Zonen stark reduzierter Durchlüftung für diesen Entwurf.

Beim Entwurf Trojan entstehen in den durch die einzelnen Gebäude umschlossenen Innenhofbereichen Zonen mit stark reduzierter Durchlüftung. Die bei Planungen zu beachtenden Bereiche reduzierter Durchlüftung zeigt die **Abb. 5.11**.

In den Zonen der schraffierten Flächen sollten Emissionen von Luftverunreinigungen, wie z.B. Abluftöffnungen von Tiefgaragen möglichst vermieden bzw. reduziert werden. Beide Entwürfe zeigen im Kernbereich des Plangebietes Zonen reduzierter Durchlüftung, wobei beim Entwurf Trojan die Reduktionen in den Innenhofbereichen stärker ausgeprägt sind.

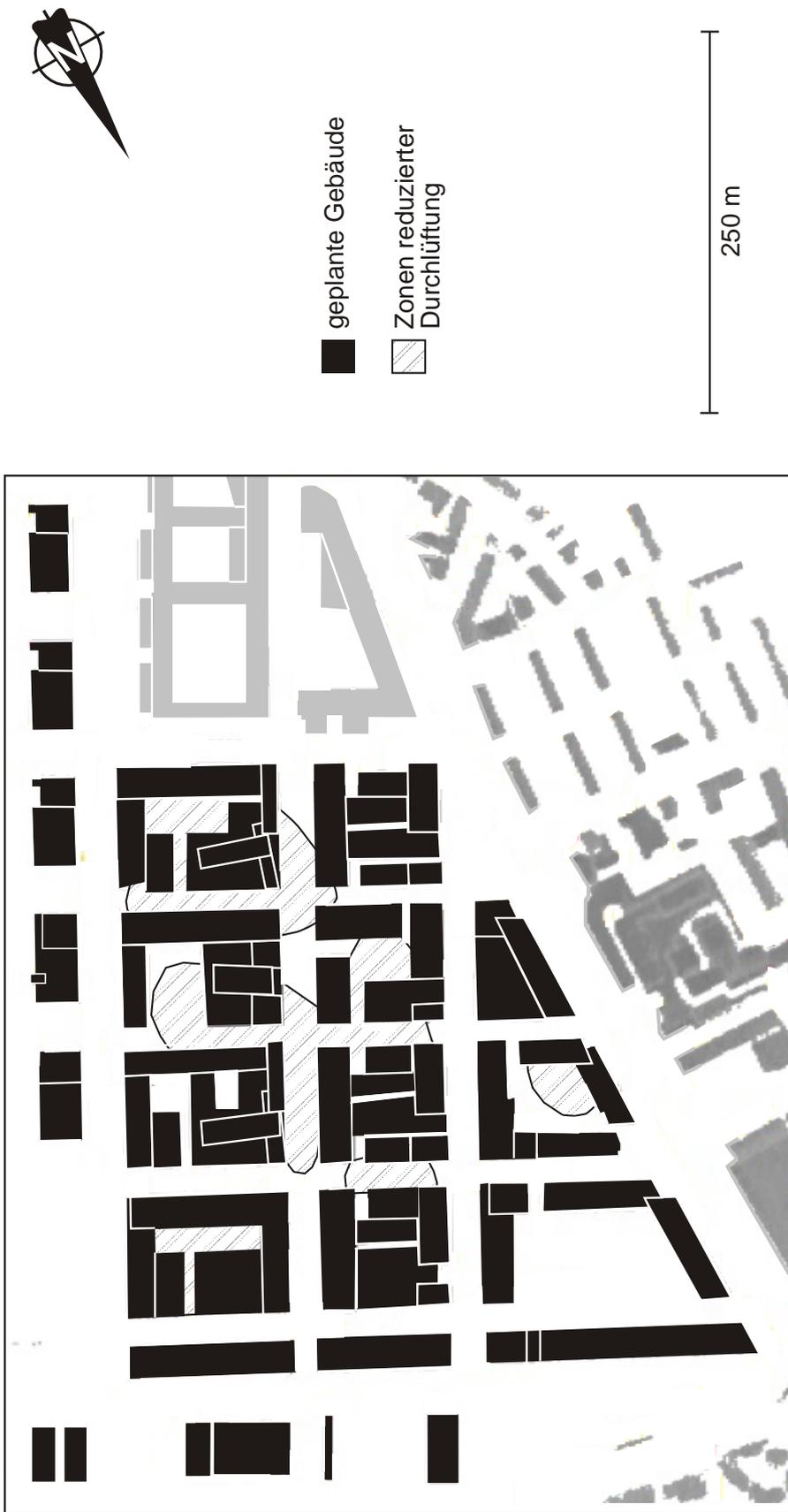


Abb. 5.10: Zonen stark reduzierter Durchlüftung bei der Planungsvariante Jodry



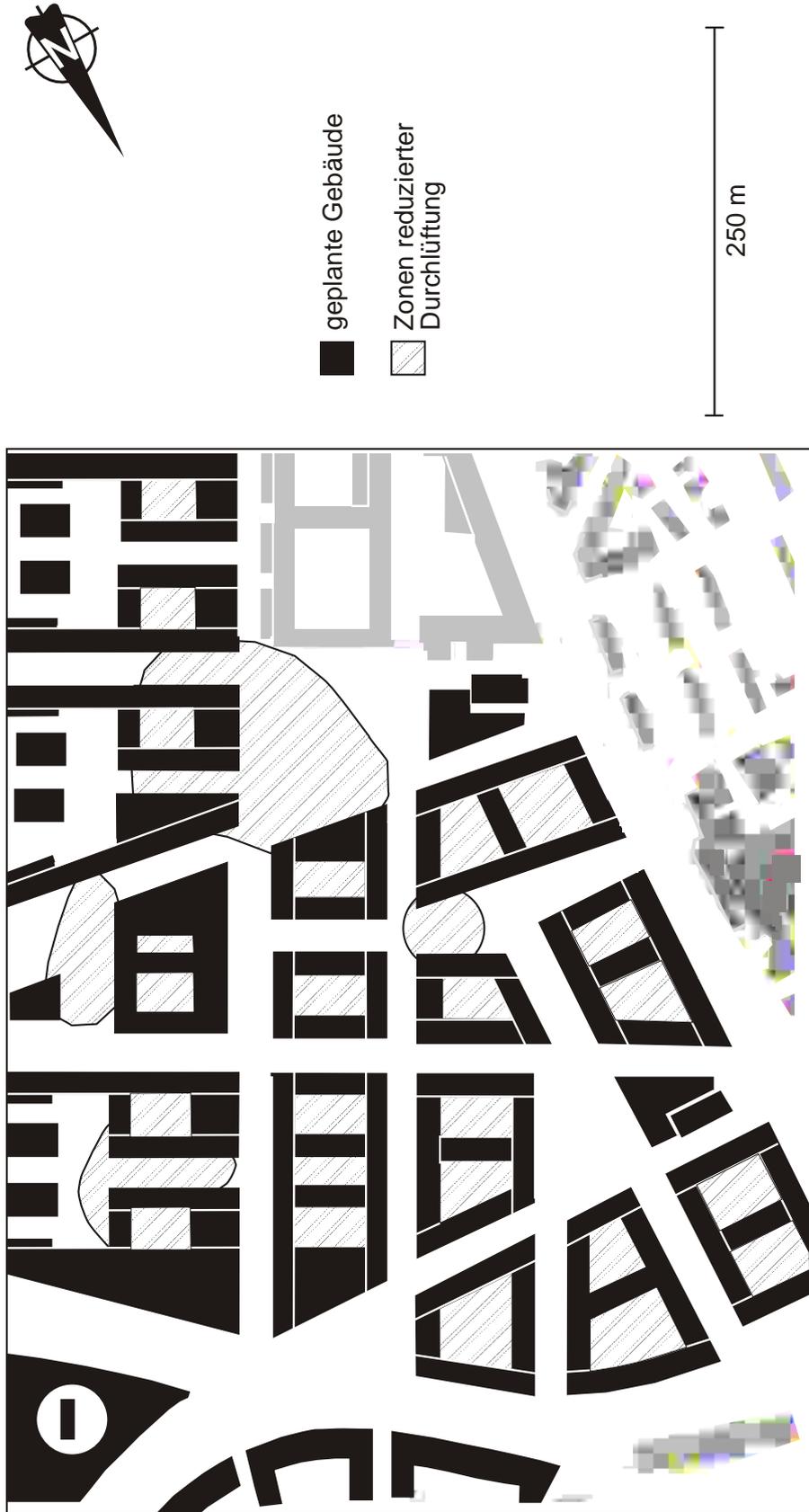


Abb. 5.11: Zonen stark reduzierter Durchlüftung bei der Planungsvariante Trojan



6 LUFTHYGIENE

Die im folgenden beschriebenen Untersuchungen zur Lufthygiene beschäftigen sich mit der kleinräumigen straßenverkehrsbedingten Luftschadstoffbelastung (Stickstoffdioxid, Benzol und Dieselruß) im Bereich des Planungsgebietes A. Die Immissionsberechnungen erfolgten mit dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM; das Modell ist im Anhang B beschrieben. Dabei wurde neben den Gebäuden auch die komplexe Topographie des Untersuchungsgebietes berücksichtigt. Das numerische Modell wurde im Rahmen dieser Studie mit Konzentrationsmessungen der parallel durchgeführten Windkanaluntersuchungen kalibriert. Aus den mit diesem Modell durchgeführten Rechenläufen konnten statistische Jahreskennwerte der durch den Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet verursachten Schadstoffbelastung für den Istzustand und die zwei Planvarianten berechnet werden. Durch Überlagerung dieser Belastung mit Immissionswerten aus größerskaligen Rechnungen, die alle immissionsrelevanten Straßen in Stuttgart berücksichtigen, ergab sich ein detailliertes Bild der verkehrsbedingten Gesamtbelastung im Untersuchungsgebiet.

6.1 Vorgehensweise

Die im folgenden beschriebene Vorgehensweise gilt sowohl für die Rechnungen zur Kalibrierung des numerischen Modells MISKAM mit Windkanalergebnissen als auch für die Berechnung der Zusatzbelastung im Rahmen der Immissionsprognose für den Ist- und die beiden Planzustände.

Der Wahl des Untersuchungsgebietes in Bezug auf Größe und Lage sowie der Wahl des Rechengitters liegen die folgenden Überlegungen zugrunde:

- Das Untersuchungsgebiet muß größer als das eigentliche Planungsgebiet sein, damit die zu betrachtenden Schadstoffquellen Arnulf-Klett-Platz, Heilbronner Straße und Wolframstraße enthalten sind. Zusätzlich muß aus strömungsmechanischen Gründen ein gewisser Abstand zwischen Quellen und Modellrand eingehalten werden.
- Das Hauptinteresse der lufthygienischen Betrachtung liegt in der näheren Umgebung der betrachteten Straßen. Im Inneren der geplanten Bebauung ist aufgrund fehlender oder nicht betrachteter Quellen eine geringere Genauigkeit akzeptabel.

Diese Voraussetzungen führen zu dem im folgenden beschriebenen Untersuchungsgebiet bzw. der Gitterstruktur. Bei anderen Fragestellungen (siehe Kap. 7) können auch abweichende Strukturen verwendet werden.

Das Untersuchungsgebiet für die Strömungs- und Ausbreitungsrechnungen erfaßt eine Fläche von 650 x 1140 m² und reicht bis in eine Höhe von 160 m über dem Niveau des Mittleren Schloßgartens. Es ist um 7 Grad gegen die Nordrichtung gedreht, um die Heilbronner Straße, die am stärksten befahrene Straße, und ihre Bebauung möglichst genau nachbilden zu können. Dieses Rechenvolumen ist in 461 700 quaderförmige Gitterboxen verschiedener Größe eingeteilt. Die Boxen besitzen Grundflächen von 4 x 4 m², 4 x 10 m², 10 x 4 m² oder 10 x 10 m². Im Bereich der Schadstoffquellen (Wolframstraße, Heilbronner Straße und Arnulf-Klett-Platz) finden sich die kleineren Boxen und somit die höheren räumlichen Auflösungen. In **Abb. 6.1** ist die horizontale Boxstruktur des Rechengebietes dargestellt. Die Höhe der Gitterboxen variiert in mehreren Stufen von 2.5 m innerhalb der Bebauung bis zu 20 m am Modelloberrand.

Die für die MISKAM-Rechnungen verwendeten Gebäudedaten sind in Abschnitt 4.1 beschrieben. Der benötigte Ausschnitt dieses Gebäudekatasters wurde für die Verwendung mit MISKAM gerastert. In **Abb. 6.2** sind die auf diese Weise erzeugten Gebäudekonturen sowie das benutzte Rechengitter für den Istzustand und die beiden Planvarianten dargestellt.

Im betrachteten Untersuchungsgebiet treten große Geländehöhenunterschiede auf. Beispielsweise steigt das Gelände westlich der Heilbronner Straße stark an, im Istzustand existieren Geländesprünge von der Heilbronner Straße zum Warengutbahnhof und vom Gleisgelände zur Cannstatter Straße. Da diese Geländehöhenunterschiede in der Größenordnung mancher Gebäudehöhen liegen, wird die Topographie bei den Schadstoffausbreitungsrechnungen berücksichtigt.

Bei dem verwendeten Rechenmodell MISKAM ist dies, wie in Anhang B erwähnt, nur in Form von Quadern (wie bei Gebäuden) möglich. Dieser Weg wurde in der vorliegenden Untersuchung beschritten.

6.2 Immissionsprognose

Im Rahmen der Immissionsprognose werden statistische Jahreskennwerte der Gesamtbelastung für die Schadstoffe NO₂, Benzol und Dieselruß für die drei betrachteten Bebauungsvarianten berechnet. Die Gesamtbelastung wird durch Überlagerung einer mit MISKAM berechneten Zusatzbelastung mit einer räumlich differenzierten Vorbelastung bestimmt. Das

eingesetzte Verfahren zur Konversion von NO_x zu NO_2 setzt voraus, daß zunächst statistische Kennwerte für NO_x ermittelt werden. Diese werden dann im Rahmen der Berechnung der Gesamtbelastung in NO_2 -Immissionen umgerechnet.

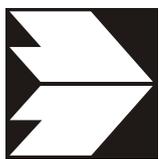


Abb. 6.1: Horizontale Struktur des Rechengitters für die Lufthygieneuntersuchungen mit dem Modell MISKAM

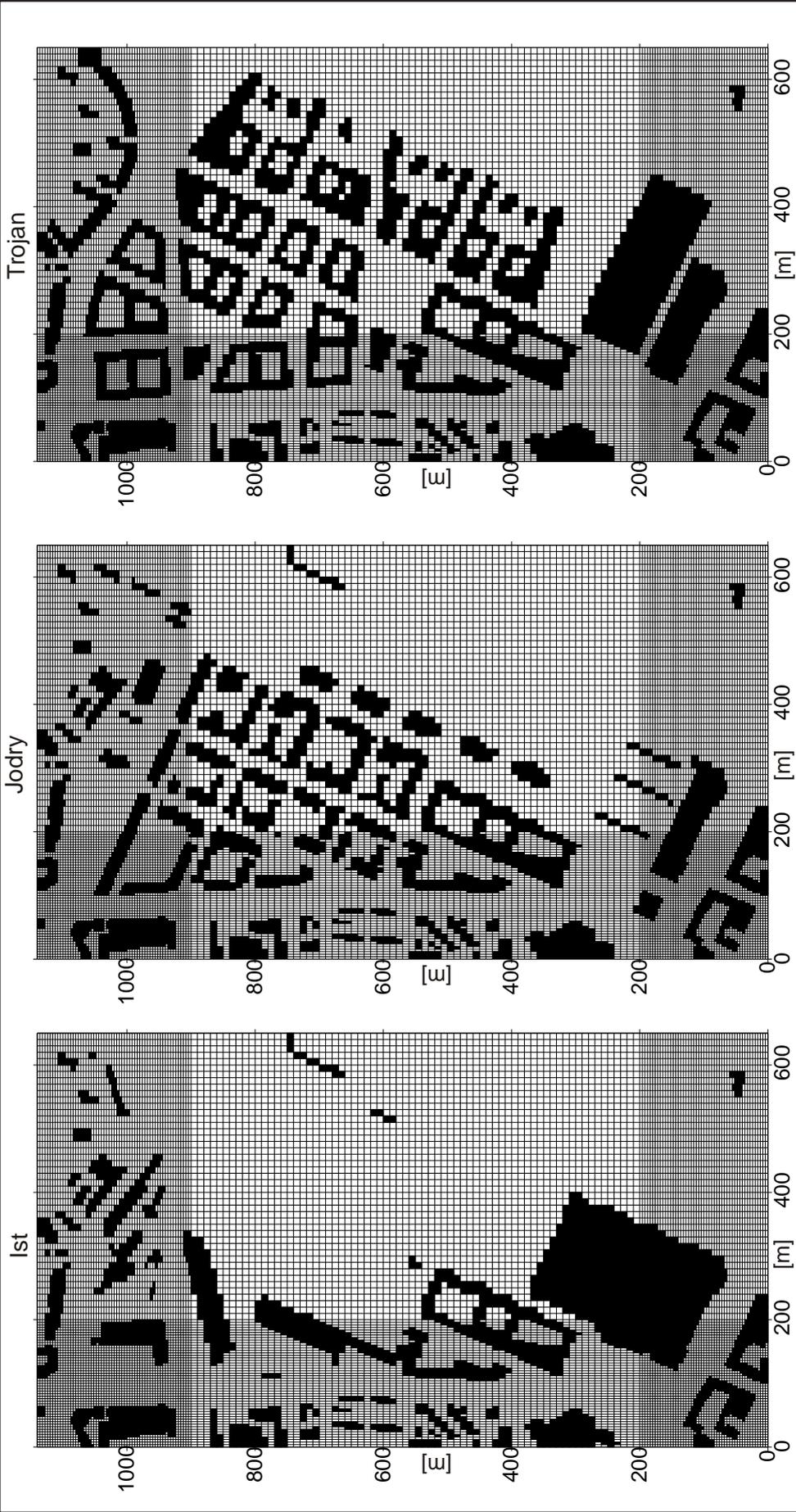


Abb. 6.2: Gebäudekonturen und Rechengitter für die drei betrachteten Bebauungsvarianten

6.2.1 Vorbelastung

Die Immission eines Schadstoffes im Nahbereich von Straßen setzt sich aus einer Vorbelastung sowie einer Zusatzbelastung durch die betrachteten, im Untersuchungsgebiet liegenden Straßen zusammen. Die Vorbelastung wird definiert als die Schadstoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne Verkehr auf den betrachteten Straßen vorhanden wäre. Ein Teil dieser Vorbelastung entsteht durch die Überlagerung von Immissionen aus Industrie, Hausbrand und überregionalem Ferntransport von Schadstoffen. Dieser Teil wird im folgenden mit „Hintergrundbelastung“ bezeichnet. Ein weiterer Teil der Vorbelastung ist bedingt durch Verkehrsemissionen, die außerhalb des Untersuchungsgebietes freigesetzt werden (Immissionen durch das umliegende Straßennetz). In der vorliegenden Studie werden alle drei Teile der Gesamtbelastung durch eine Überlagerung berücksichtigt.

Die Hintergrundbelastung wurde entsprechend der Untersuchung „Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung ‘Stuttgart 21’“ aus der Schriftenreihe „Untersuchungen zur Umwelt - STUTTGART 21“ (Amt für Umweltschutz, 1996b) angesetzt. In dieser Studie wurde für das geplante Bebauungsgebiet und das weitere Umfeld die Luftschadstoffbelastung mit dem Berechnungsverfahren PROKAS ermittelt. Die verwendeten Werte werden als räumlich homogen für das gesamte Untersuchungsgebiet angenommen und sind in **Tab. 6.1** dargestellt.

	Jahresmittel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Kurzzeitbelastung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
NO₂	20.0	50
Benzol	1.5	-
Ruß	2.0	-

Tab. 6.1: Hintergrundbelastungswerte für Stuttgart

Die Immissionen durch das umliegende Straßennetz wurden mit dem Verfahren PROKAS berechnet, das in der oben genannten Studie (Amt für Umweltschutz, 1996b) beschrieben ist. Bei der Berechnung der Immissionen durch das umliegende Straßennetz wird als Basis das in der oben genannten Untersuchung verwendete Gesamtstraßennetz für Stuttgart mit Emissionen für das Jahr 1995 herangezogen. Aus diesem Straßennetz werden die Wolf-ramstraße, die Heilbronner Straße und der Arnulf-Klett-Platz entfernt, da sie detailliert mit

dem Modell MISKAM untersucht werden. Dies ist nötig, damit bei der Überlagerung der Immissionen aus PROKAS- und MISKAM-Rechnungen die Emissionen der oben genannten Straßen nicht doppelt berücksichtigt werden. Im Untersuchungsgebiet werden dann auf einem Gitter mit 50m Maschenweite (Teilgebiete mit 25m Maschenweite) mit PROKAS die Immissionen durch das umliegende Straßennetz berechnet.

Die Hintergrundbelastung und die Immissionen durch das umliegende Straßennetz werden mit Hilfe von PROKAS überlagert. Dabei werden Kurzzeitbelastungswerte (98-Perzentil) nach dem Verfahren der TA Luft (1986) behandelt. Als Ergebnis erhält man für das Untersuchungsgebiet Jahresmittelwerte für NO_x, Benzol und Ruß sowie Kurzzeitbelastungswerte für NO_x als Vorbelastung im oben beschriebenen Sinne.

6.2.2 Zusatzbelastung

6.2.2.1 Emissionsdaten

Die für die detaillierten Ausbreitungsrechnungen benötigten Emissionsdaten für Wolframstraße (zwischen Heilbronner und Nordbahnhofstraße), Heilbronner Straße und Arnulf-Klett-Platz wurden der Untersuchung „Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung ‘Stuttgart 21’“ (Amt für Umweltschutz, 1996b) entnommen. In dieser Untersuchung wurden u.a. die Emissionen von NO_x, Benzol und Dieselruß für alle relevanten Hauptverkehrsstraßen in Stuttgart bestimmt.

In der oben genannten Studie liegen die Emissionswerte als mittlere längenbezogene Emissionsdichten (Milligramm Schadstoff pro Meter und Sekunde) vor. Für die Immissionsmodellierung mit MISKAM wurden diese Werte für die betrachteten Straßen Wolframstraße, Heilbronner Straße und Arnulf-Klett-Platz in mittlere, flächenbezogene Emissionsdichten (Milligramm Schadstoff pro Quadratmeter und Sekunde) umgerechnet. Bei dieser Umrechnung wurden die unterschiedlichen Straßenbreiten sowie Kreuzungsbereiche berücksichtigt. Die ermittelten Emissionswerte gelten für das Jahr 1995.

6.2.2.2 Meteorologische Daten

Für Ausbreitungsrechnungen sind Angaben zu Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklasse nötig. Für das hier betrachtete Untersuchungsgebiet wird die synthetische Ausbreitungsklassenstatistik „Stuttgart 21“ als repräsentative Statistik verwendet. Sie ist in Abschnitt 4.1 beschrieben und in **Abb. 4.2** als Stärkewindrose dargestellt.

6.2.2.3 Vorgehensweise

Die Konzentrationsberechnung einzelner Straßen erfolgt mit dem numerischen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM (siehe Anhang B).

Es werden für 18 Windrichtungen, jeweils in 20-Gradsektoren, flächendeckend die Konzentrationen für die Schadstoffe NO_x, Benzol und Dieselruß für die drei Bebauungsvarianten berechnet. Die Berechnung der Konzentrationsfelder erfolgt unter der Annahme, daß neutrale Ausbreitungsbedingungen (Klassen 3.1 und 3.2) vorherrschen. Diese Annahme ist anwendbar, da im Untersuchungsgebiet durch bauwerksinduzierte Turbulenz sowie durch fahrende Fahrzeuge und durch thermische Effekte Stabilitätseffekte vernachlässigbar sind.

Mit der im Anhang B1 beschriebenen Methode lassen sich aus den 18 mit MISKAM berechneten Konzentrationsfeldern pro Schadstoff und Bebauungsvariante Konzentrationsfelder für 162 Windsituationen (18 Windrichtungen x 9 Windgeschwindigkeiten) ermitteln. Diese Konzentrationsfelder werden entsprechend den Häufigkeiten aus der oben beschriebenen langjährig gemittelten Windstatistik „Stuttgart 21“ zu Jahreskenngößen überlagert.

Basierend auf den in Abschnitt 6.2.2.1 beschriebenen mittleren Emissionen lassen sich so Jahresmittelwerte für NO_x, Benzol und Ruß ermitteln. Die Kurzzeitbelastungswerte (98-Perzentil) für NO_x werden entsprechend dem Verfahren bestimmt, das auch in der Untersuchung „Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung ‘Stuttgart 21‘“ (Amt für Umweltschutz, 1996b) verwendet wurde. Dabei wird berücksichtigt, daß zu verschiedenen Tageszeiten verschiedene Verkehrsstärken vorherrschen. Das Statistikverfahren verwendet 5 verschiedene relative Emissionsniveaus und deren Auftretenshäufigkeit. Auf diese Weise erhält man für jede betrachtete Gitterbox 810 Konzentrationswerte (18 Windrichtungen x 9 Windgeschwindigkeiten x 5 Emissionsniveaus) mit der zugehörigen Häufigkeit. Aus diesem Ergebnis wird eine Häufigkeitsverteilung hergestellt und derjenige Wert bestimmt, der in 98 % der Zeit unterschritten wird.

6.2.3 Gesamtbelastung

Die Bestimmung der Vorbelastung ist in Abschnitt 6.2.1, die der Zusatzbelastung in Abschnitt 6.2.2 erläutert. Die Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung für Benzol und Dieselruß werden durch Addition der Jahresmittelwerte von Vor- und Zusatzbelastung ermittelt.

Zur Berechnung der Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung für NO₂ muß die Umwandlung des aus den Fahrzeugen emittierten NO_x (hauptsächlich NO) zu NO₂ berücksichtigt werden. Dies geschieht mit Hilfe eines empirischen Verfahrens, welches von einem funktionalen Zusammenhang zwischen Jahreskennwerten der Konzentration von NO_x und NO₂ ausgeht (Romberg et al., 1996). Dazu wird zunächst der Jahresmittelwert der Gesamtbelastung für NO_x durch Addition der Jahresmittelwerte von Vor- und Zusatzbelastung bestimmt. Mit Hilfe des oben genannten funktionalen Zusammenhangs werden dann die Jahresmittelwerte der NO₂-Gesamtbelastung berechnet.

Für die Berechnung der Kurzzeitwerte (98-Perzentil) der NO₂-Gesamtbelastung wird ebenfalls das oben genannte Verfahren (mit einem entsprechenden funktionalen Zusammenhang) zur Konversion verwendet. Dazu muß zunächst der Kurzzeitwert der NO_x-Gesamtbelastung ermittelt werden. Dies kann nicht durch eine einfache Addition geschehen, da nicht davon auszugehen ist, daß z.B. hohe Werte der Vorbelastung zeitgleich mit hohen Werten der Zusatzbelastung auftreten. Zur Berechnung des 98-Perzentilwertes der NO_x-Gesamtbelastung wird daher das Verfahren aus dem Anhang D der TA Luft (1986) verwendet. Mit Hilfe des oben genannten Verfahrens zur Konversion werden daraus die Kurzzeitwerte der NO₂-Gesamtbelastung ermittelt.

6.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der oben beschriebenen Immissionsprognosen werden in diesem Abschnitt beschrieben. Es werden die berechneten Jahreskennwerte der Gesamtbelastung für die Schadstoffe NO₂, Benzol und Dieselruß diskutiert und dargestellt.

Zunächst erfolgt in **Abb. 6.3** bis **Abb. 6.14** eine Darstellung von Jahresmittel- und Kurzzeitbelastungswerten für Stickstoffdioxid (NO₂) sowie Jahresmittelwerten für Benzol und Ruß für das gesamte Untersuchungsgebiet. Es werden jeweils Abbildungen für den Istzustand und die beiden Planvarianten „Jodry“ und „Trojan“ gezeigt. Diese Abbildungen geben einen Überblick über die Schadstoffbelastung im Untersuchungsgebiet.

Zusätzlich werden im zweiten Teil die Immissionen im Bereich der Heilbronner Straße detailliert dargestellt. Hier sind die größten immissionsrelevanten Gebäudeänderungen geplant.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in graphischer Form als Linien gleicher Konzentration (Isolinien). Zusätzlich werden die Konzentrationen zur einfacheren Interpretation in Form von

farbigen Flächen dargestellt. Die Zuordnung zwischen Farbe und Konzentration ist jeweils rechts im Bild angegeben.

In den Abbildungen sind neben den Konzentrationswerten die Gebäude als schwarze Flächen eingezeichnet. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten der Gebäudedarstellung:

1. In gerasterter Form: Hier werden die Gebäude so dargestellt, wie sie in das numerische Modell eingegangen sind. Diese Form der Darstellung hat den Vorteil, daß der Betrachter die verschiedenen Auflösungen (Gitterboxgrößen) im Untersuchungsgebiet direkt erkennen kann. Somit lassen sich auch Gebiete unterschiedlicher Genauigkeiten direkt zuordnen. Der Nachteil dieser Darstellung liegt in der teils schwierigeren Zuordnung der Gebäudeflächen zu den Planungsunterlagen.
2. In nicht gerasteter Form: Die Gebäude werden so dargestellt, wie sie auch in den Architektenplänen (Grundrisse) zu finden sind. Beispiele dazu finden sich in Kap. 7. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der einfachen Wiedererkennung der Gebäude für Betrachter, die die Planungsunterlagen kennen. Unterschiede in der Gitterauflösung sind jedoch nicht zu erkennen.

Da bei den Rechnungen zur Lufthygiene nicht-äquidistante Gittergrößen verwendet werden, wird bei der Darstellung der Konzentrationen die gerasterte Form der Gebäudedarstellung gewählt.

Die in den Abbildungen angegebenen Koordinaten sind Relativkoordinaten. Der Nullpunkt des dargestellten Koordinatensystems hat die folgenden Gauß-Krüger-Koordinaten: Rechtswert 35 13 185 und Hochwert 54 05 039. Das Koordinatensystem wurde 7° gegen den Uhrzeigersinn gedreht.

6.3.1 Gesamtes Untersuchungsgebiet

Die folgenden Abbildungen zeigen Jahreskenngrößen der Gesamtbelastung in ca. 2 m über Grund für das Jahr 1995. Die **Jahresmittelwerte der NO₂-Gesamtbelastung** für den Istzustand sowie für die Planvarianten „Jodry“ und „Trojan“ sind in **Abb. 6.3** bis **Abb. 6.5** dargestellt. Für die Isolinien wurden die Konzentrationswerte 40, 50, 60 und 80 µg NO₂/m³ ausgewählt.

Im Bereich des Schloßgartens und des Warengutbahnhofs sowie westlich der Heilbronner Straße und nördlich der Wolframstraße finden sich beim Istzustand relativ geringe NO₂-Konzentrationen um 40 µg NO₂/m³ (grün dargestellt). Bei den Planvarianten sind die Verhältnisse ähnlich. Durch den Wegfall der Cannstatter Straße als Schadstoffquelle erstreckt sich das Gebiet geringer Konzentrationen vom Schloßgarten bis in die geplante Bebauung hinein. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß bei der vorliegenden Untersuchung eventuelle neue Straßen innerhalb der geplanten Bebauung nicht betrachtet wurden. Hohe Konzentrationen treten im Nahbereich der Straßen auf. Die Jahresmittelwerte liegen an den anschließenden Gebäuden teilweise über 60 µg NO₂/m³. Solche Werte finden sich am Arnulf-Klett-Platz und an der Heilbronner Straße bei allen Varianten. An der Wolframstraße sind die Konzentrationen bei der Planvariante „Jodry“ etwas geringer. Der Vorsorgewert von 50 µg NO₂/m³ wird jedoch auch dort überschritten. Dabei wurde im Vergleich zum Istzustand von unveränderten Verkehrszahlen ausgegangen. Weiterhin wurde die Nordbahnhofstraße entsprechend den Planungen entfernt. Konzentrationen von mehr als 80 µg NO₂/m³ im Jahresmittel (Grenzwert nach TA Luft) treten nur direkt auf den Straßen auf. Dies gilt für alle Varianten. Die höchsten Konzentrationswerte finden sich auf der Kreuzung Arnulf-Klett-Platz/Heilbronner Straße.

Die **Abb. 6.6 bis Abb. 6.8** zeigen die **Kurzzeitbelastungswerte (98-Perzentil) der NO₂-Gesamtbelastung**. Für diese Kenngröße sind Isolinien für die Konzentrationswerte 100, 135 und 160 µg NO₂/m³ dargestellt.

Bezogen auf den Orientierungswert der 23. BImSchV (160 µg NO₂/m³) und den Vorsorgewert (135 µg NO₂/m³) sind die NO₂-Kurzzeitbelastungswerte im Untersuchungsgebiet weniger problematisch als die Jahresmittelwerte. Außerhalb der Straßenbereiche liegen die Konzentrationswerte bei etwa 100 µg NO₂/m³ oder darunter. Der Warengutbahnhof im Istzustand bzw. die entsprechenden bebauten Bereiche bei den Planvarianten weisen die geringsten Konzentrationen auf. Direkt auf den betrachteten Straßen wird der Vorsorgewert stellenweise überschritten. An einem Teilabschnitt der Wolframstraße kommt es beim Istzustand zu einer Überschreitung des Orientierungswertes der 23. BImSchV. Bei den Planvarianten sind hier geringere Kurzzeitbelastungen zu erwarten. Im Bereich der Heilbronner Straße zeigen die Planvarianten etwas höhere Werte als der Istzustand.

Die berechneten **jahresmittleren Benzolbelastungen** sind in **Abb. 6.9 bis Abb. 6.11** dargestellt. Es wurden Isolinien für die Konzentrationen 4, 5, 7.5, 10 und 15 µg Benzol/m³ ausgewählt.

Der Vorsorgewert des LAI von $2.5 \mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$ wird bereits durch die Vorbelastung, bestehend aus der Hintergrundbelastung und den Immissionen des umliegenden Straßennetzes, annähernd ausgeschöpft. Innerhalb des Untersuchungsgebietes beträgt im Istzustand die geringste Gesamtbelastung $2.8 \mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$. Konzentrationen bis zu $4 \mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$ finden sich beim Istzustand und den Planvarianten in den Bereichen Schloßgarten und Waren-
gutbahnhof sowie westlich der Heilbronner Straße und nördlich der Wolframstraße. Zusätzlich ist bei den Varianten der Bereich der in der Planung entfernten Cannstatter Straße nur relativ gering belastet. Die Straßenräume und die angrenzenden Gebäude sind sowohl im Istzustand als auch bei den Planvarianten relativ stark mit Benzol belastet. Dies gilt insbesondere für den Arnulf-Klett-Platz, die Heilbronner Straße sowie beim Istzustand für den östlichen Teil der Wolframstraße vor der Einmündung der Nordbahnhofstraße. Dieser Teil der Wolframstraße weist beim Entwurf „Trojan“ etwas geringere und beim Entwurf „Jodry“ deutlich geringere Benzoljahresmittelwerte auf. An einzelnen an die Heilbronner Straße grenzenden Gebäuden sowie am Zeppelinbau an der Kreuzung Arnulf-Klett-Platz/Heilbronner Straße wird der Orientierungswert aus der 23. BImSchV ($10 \mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$) überschritten.

Die **Rußbelastung (Jahresmittelwert)** im Untersuchungsgebiet ist in **Abb. 6.12** bis **Abb. 6.14** dargestellt. Es wurden Isolinien für die Konzentrationswerte 4, 6 und $8 \mu\text{g Ruß}/\text{m}^3$ zur Darstellung ausgewählt.

Der Vorsorgewert des LAI von $1.5 \mu\text{g Ruß}/\text{m}^3$ wird im Untersuchungsgebiet bereits durch die angesetzte Hintergrundbelastung überschritten. Bedingt durch die Immissionen des umliegenden Straßennetzes sowie der betrachteten, im Untersuchungsgebiet liegenden Straßen liegt das Minimum der Rußgesamtbelastung bei $2.7 \mu\text{g Ruß}/\text{m}^3$. Ähnlich wie beim Schadstoff Benzol finden sich Konzentrationen bis $4 \mu\text{g Ruß}/\text{m}^3$ im Schloßgarten und auf dem Waren-
gutbahnhof sowie westlich der Heilbronner Straße und nördlich der Wolframstraße. Höhere Konzentrationen finden sich in den Straßenräumen. Der Orientierungswert der 23. BImSchV von $8 \mu\text{g Ruß}/\text{m}^3$ wird an einigen Gebäuden im Untersuchungsgebiet überschritten. Im Istzustand und bei der Planvariante „Trojan“ sind die Gebäude im östlichen Teil der Wolframstraße von Überschreitungen betroffen. Außerdem sind bei allen betrachteten Varianten Überschreitungen des Orientierungswertes am Zeppelinbau an der Kreuzung Arnulf-Klett-Platz/Heilbronner Straße zu erwarten.

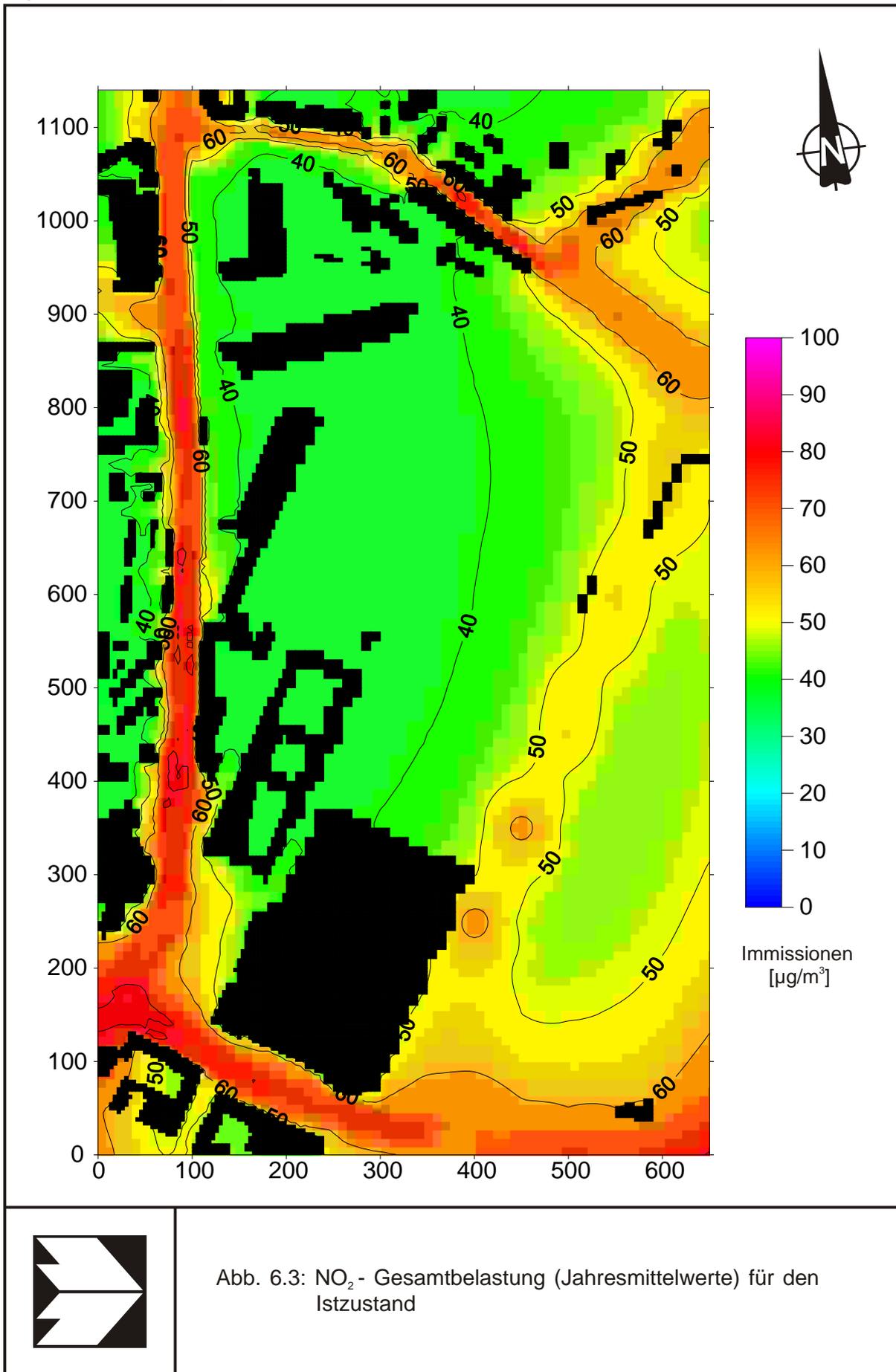


Abb. 6.3: NO₂- Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für den Istzustand

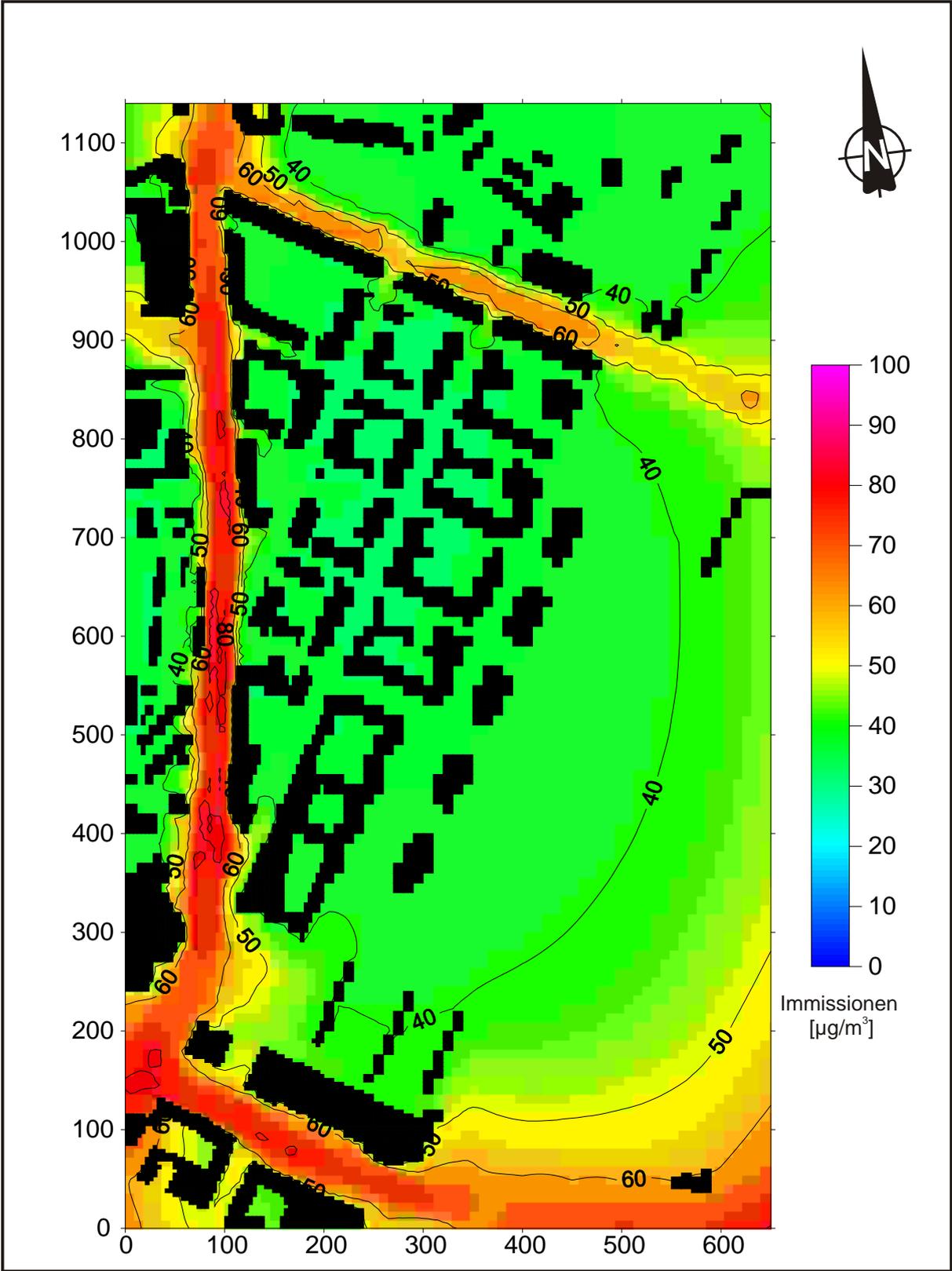


Abb. 6.4: NO₂- Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für die Planvariante "Jodry"

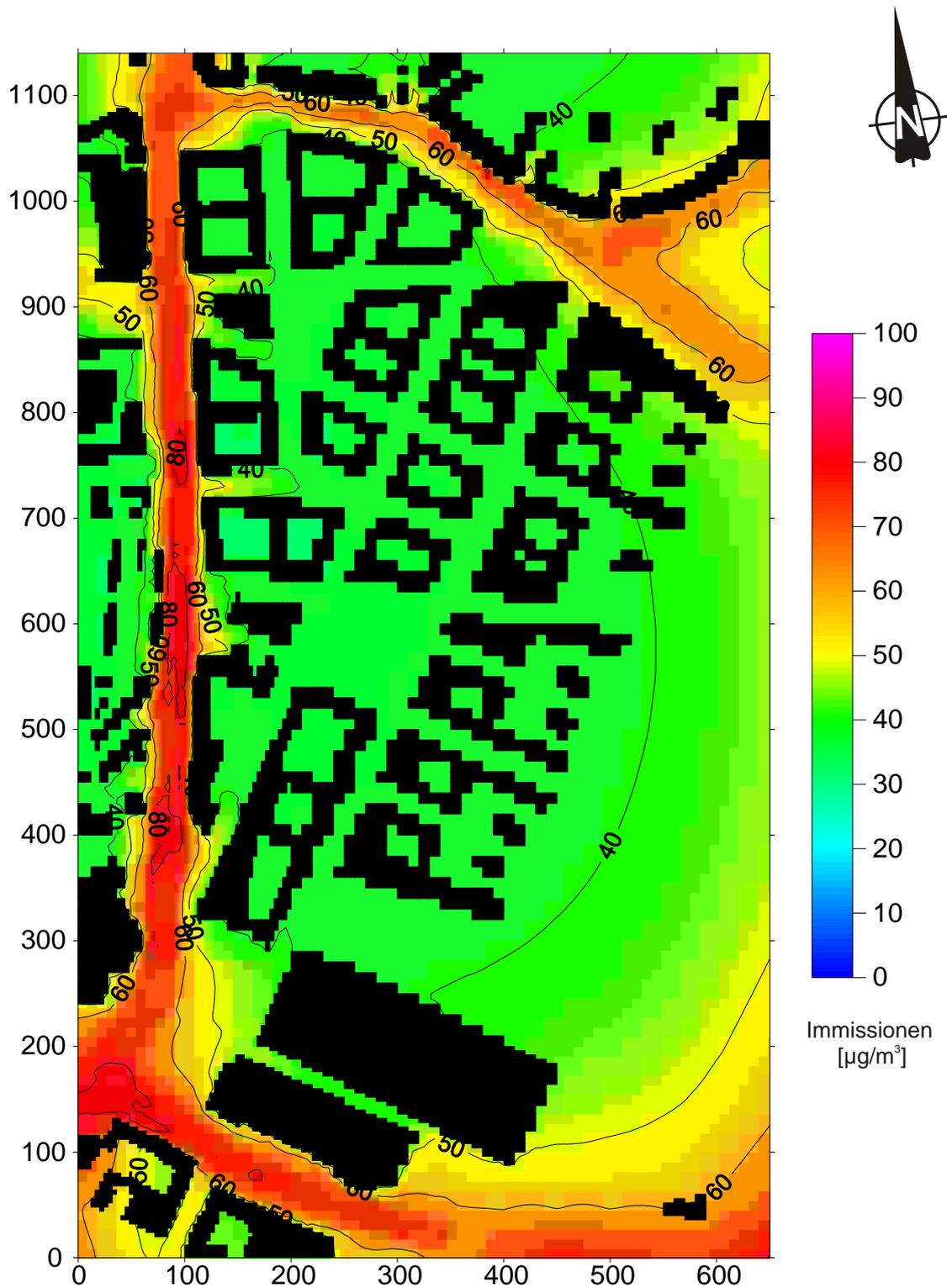


Abb. 6.5: NO₂ - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für die Planvariante "Trojan"

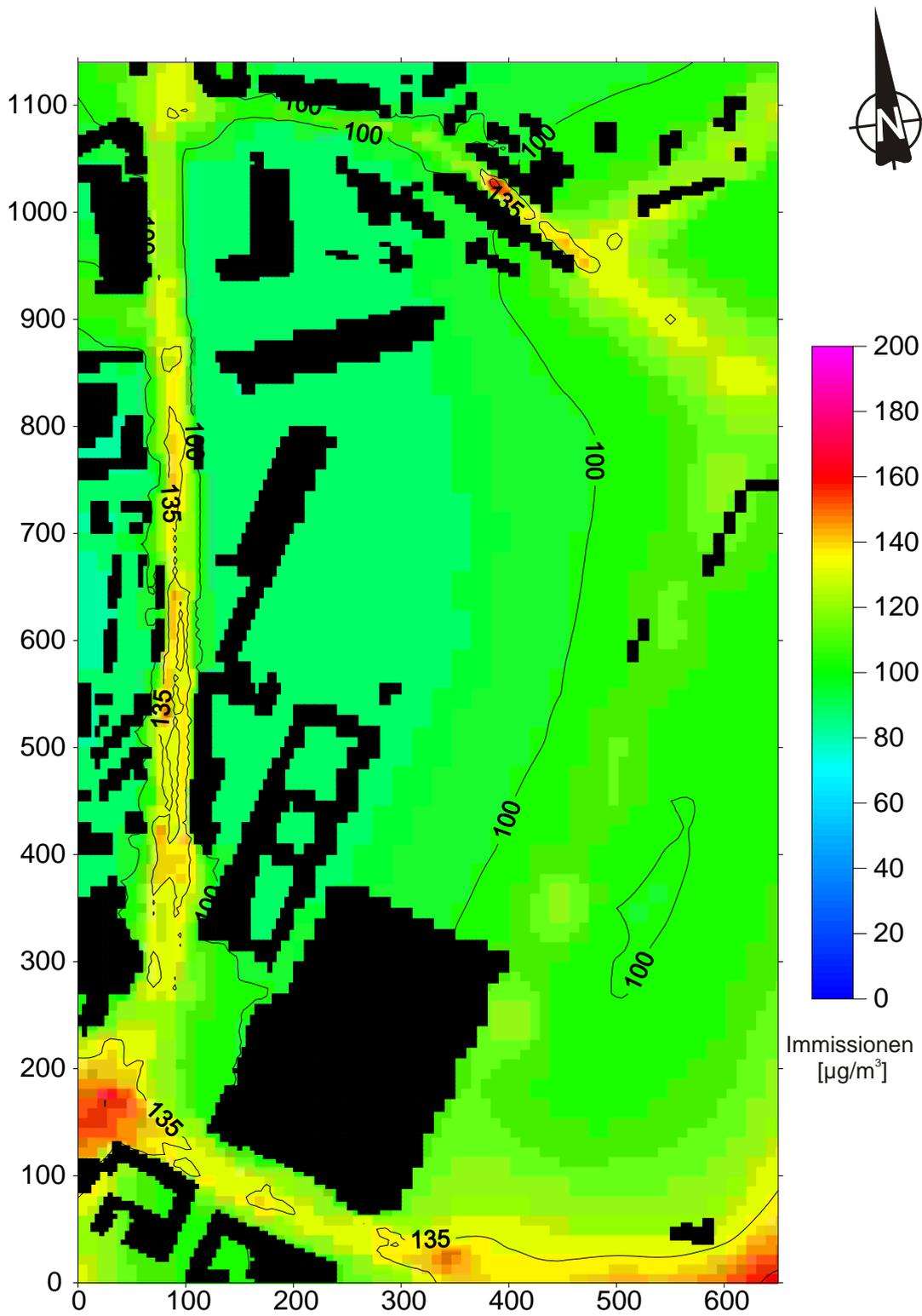


Abb. 6.6: NO₂- Gesamtbelastung (98-Perzentilwerte) für den Istzustand

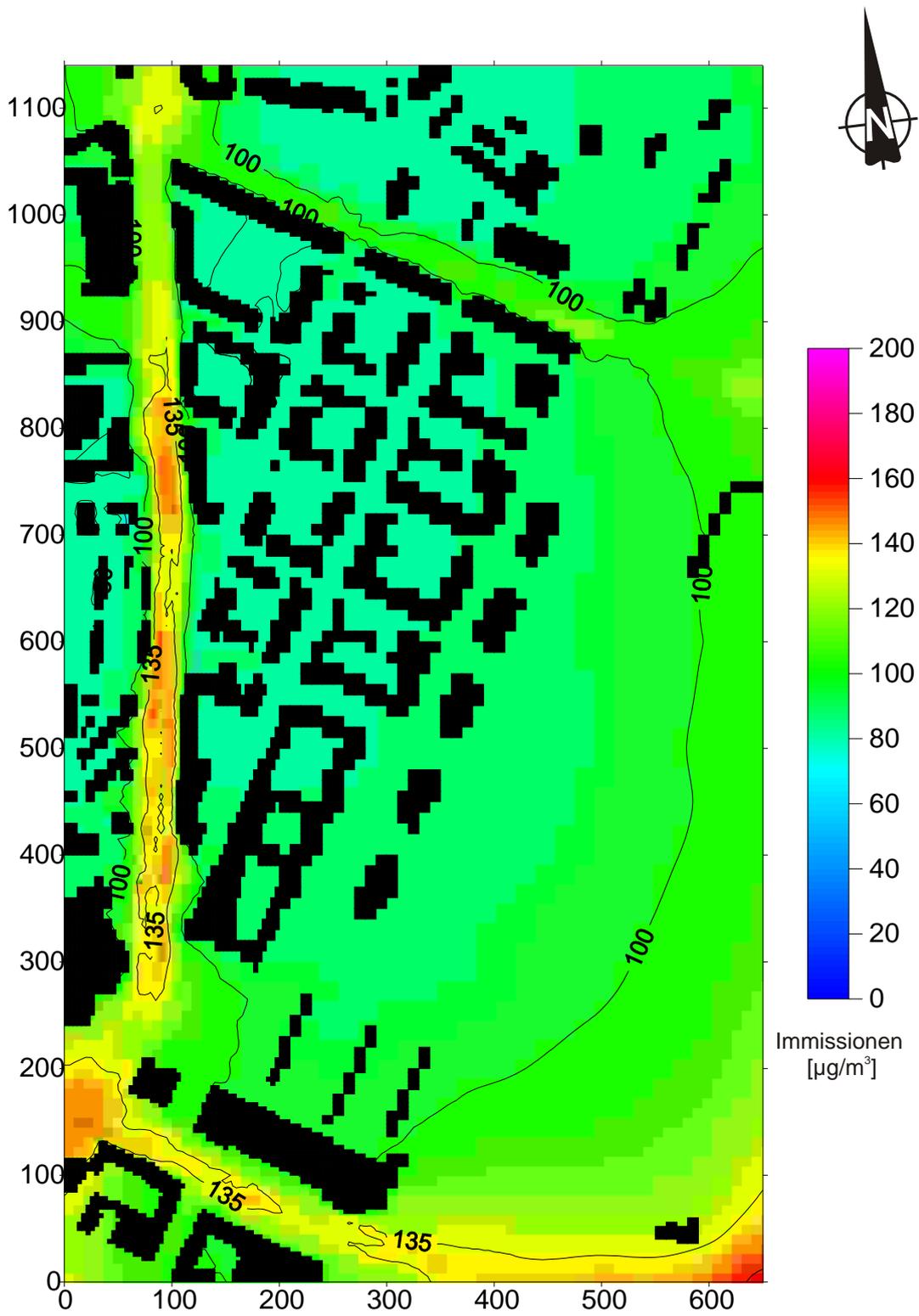


Abb. 6.7: NO₂ - Gesamtbelastung (98-Perzentilwerte) für die Planvariante "Jodry"

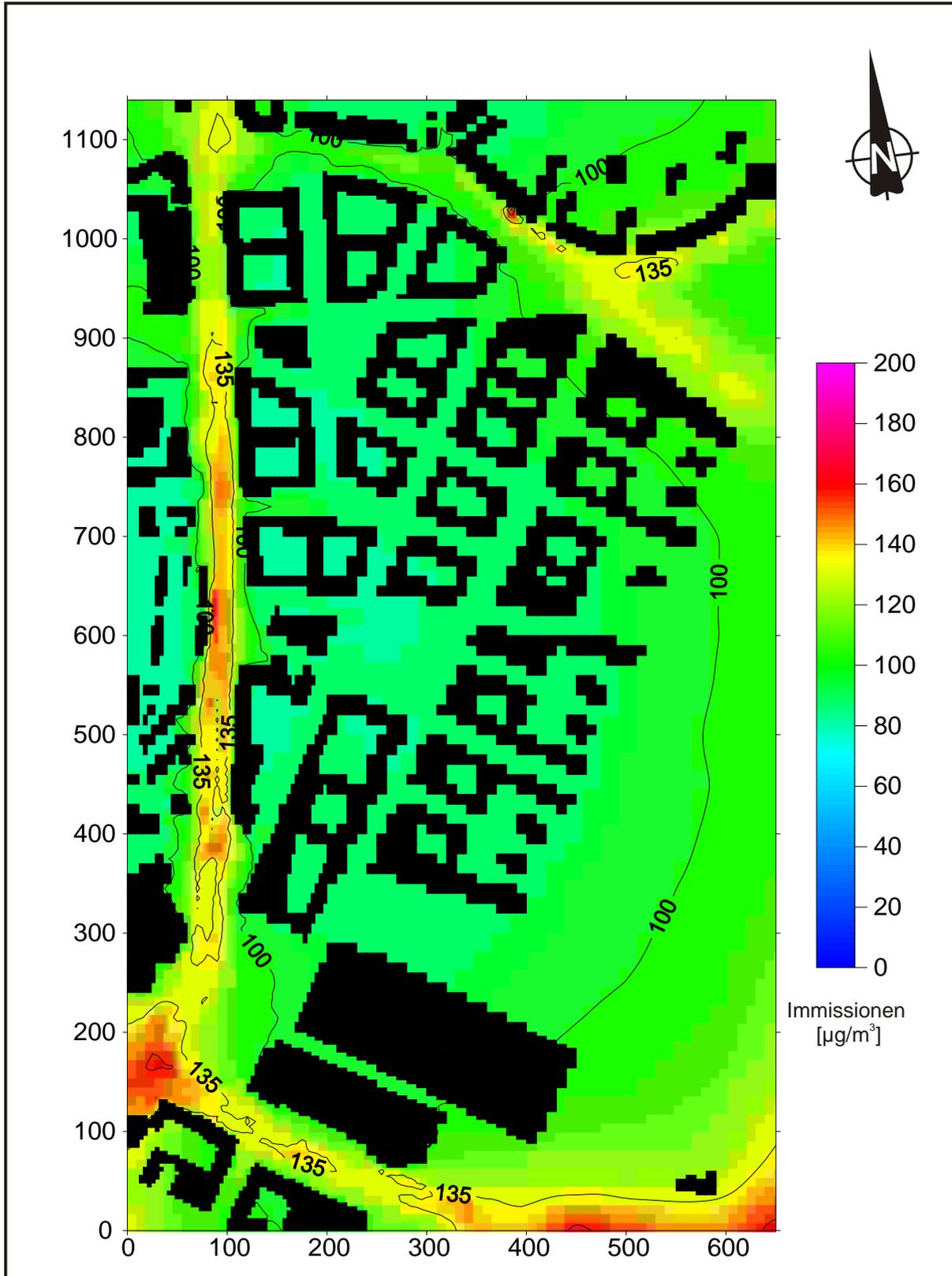


Abb. 6.8: NO₂ - Gesamtbelastung (98-Perzentilwerte) für die Planvariante "Trojan"

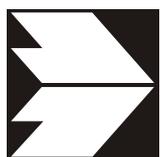
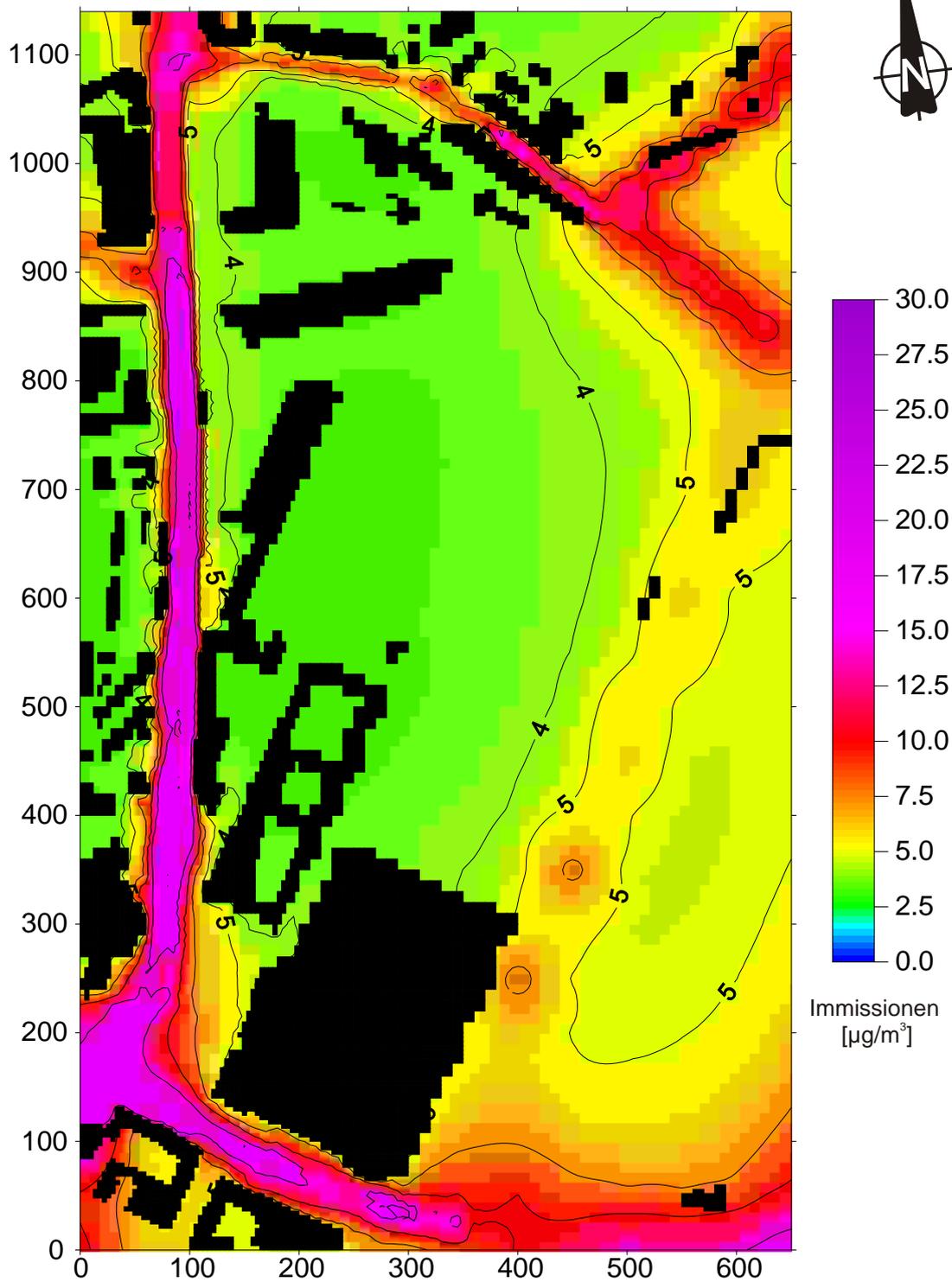


Abb. 6.9: Benzol - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für den Istzustand

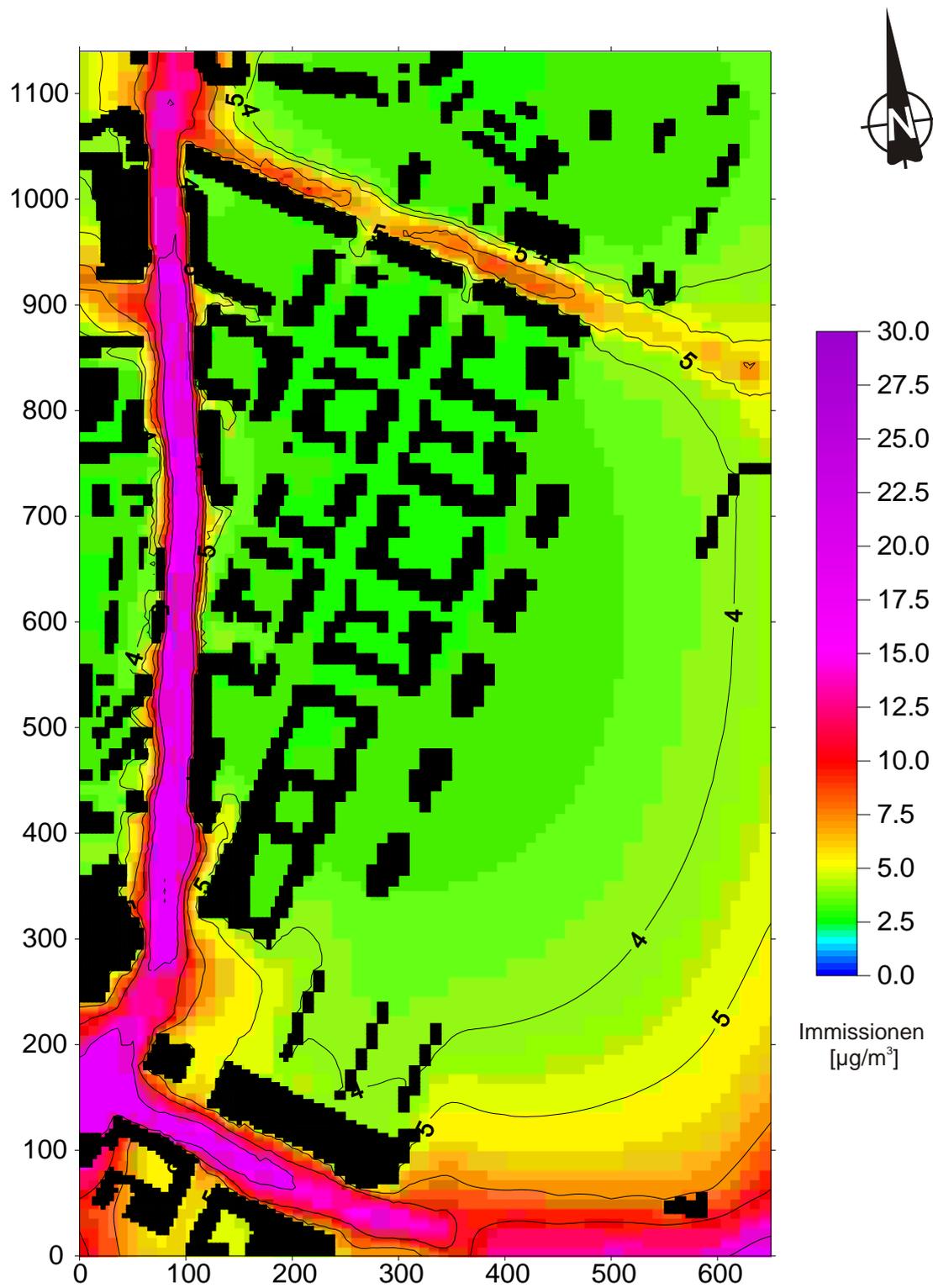


Abb. 6.10: Benzol - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für die Planvariante "Jodry"

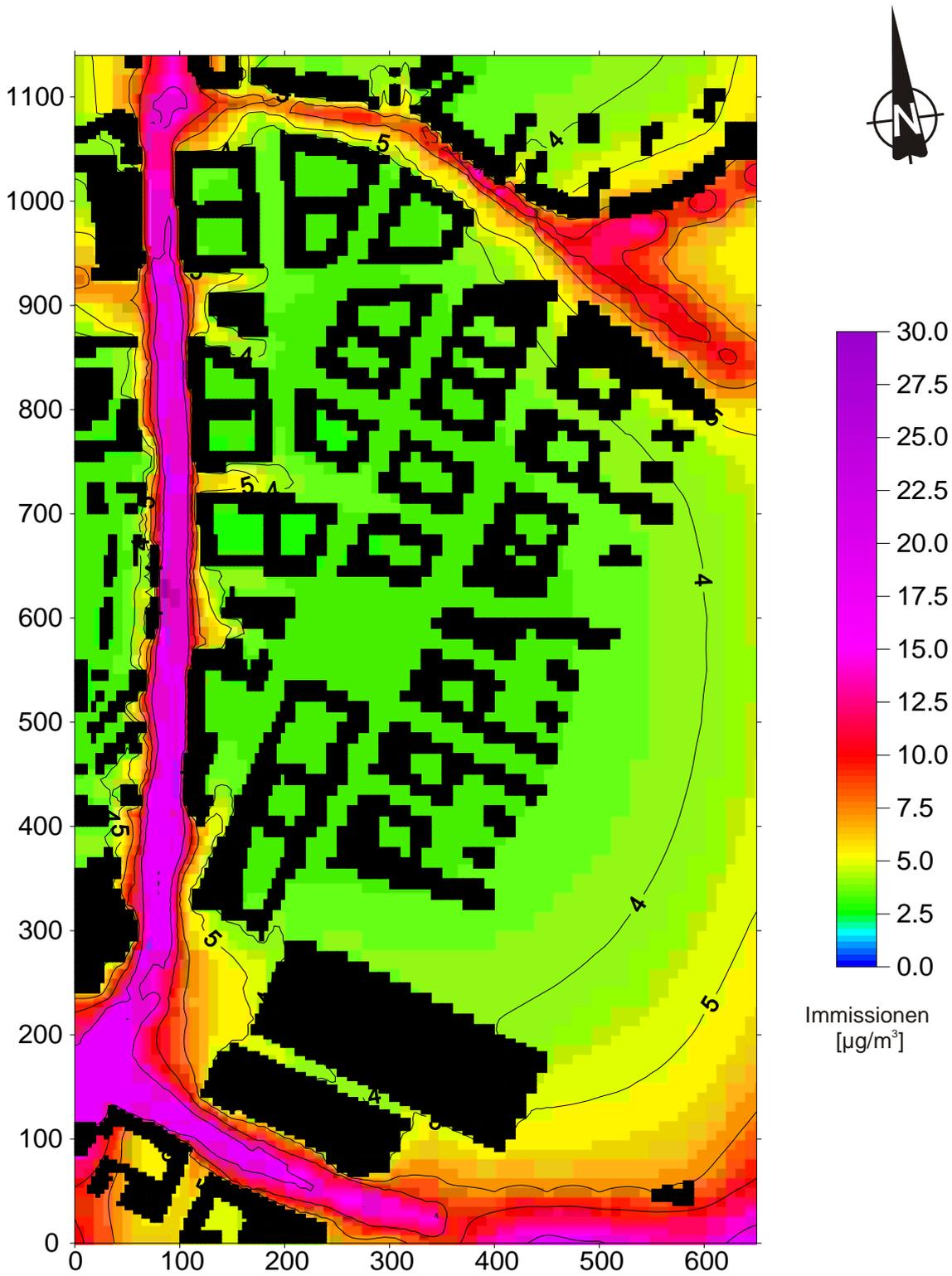


Abb. 6.11: Benzol- Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für die Planvariante "Trojan"

6.3.2 Teilgebiet Heilbronner Straße

Die folgenden Abbildungen zeigen Jahresmittelwerte der Benzol-Gesamtbelastung in ca. 2 m über Grund für einen Ausschnitt des oben dargestellten Untersuchungsgebiets. Der Ausschnitt enthält die nähere Umgebung der Heilbronner Straße von der Straße Im Kaisemer bis kurz vor die Wolframstraße. Die Abbildungen entsprechen in Bezug auf die Farbskalierung und die Gebäudedarstellung denen des vorhergehenden Abschnitts. Es wurden jedoch mehr Isolinien dargestellt, um ein differenzierteres Bild zu ermöglichen. Die ausgewählten Isolinien entsprechen Konzentrationen von 3, 4, 5, 6, 8, 10 und 15 $\mu\text{g Benzol}/\text{m}^3$.

Die **Abb. 6.15** bis **Abb. 6.17** zeigen die Benzolbelastung an der Heilbronner Straße für die drei Bebauungsvarianten „Istzustand“, „Jodry“ und „Trojan“. Beim Istzustand findet man östlich der Straße einen starken Konzentrationsgradienten: Die Konzentrationen fallen auf einer kurzen Entfernung stark ab. Dieser Effekt ist durch die Geländekante von der Heilbronner Straße zum Warengutbahnhof begründet. Werden Schadstoffe von der Heilbronner Straße nach Osten transportiert, so muß zunächst eine vertikale Durchmischung stattfinden um diese Schadstoffe in den bodennahen Bereich des 10 bis 15 m tiefer liegenden Warengutbahnhofs zu bringen. Diese vertikale Durchmischung ist deutlich langsamer als der horizontale Transport. Daher sind die Jahresmittelwerte auf dem Niveau des Warengutbahnhofs deutlich geringer als wenige Meter nebenan an der Straße. Dasselbe Phänomen findet sich bei der Variante „Jodry“ im südlichen Teil des dargestellten Ausschnitts. Im nördlichen Teil sowie bei der Planungsvariante „Trojan“ erkennt man östlich der Heilbronner Straße zwischen den Gebäuden deutlich langsamer abklingende Benzolkonzentrationen. Das hängt damit zusammen, daß der Geländesprung zwischen der Heilbronner Straße und dem Bebauungsgebiet in den Planungen abgebaut wird. Eine Ausnahme stellt der Südteil bei der Variante „Jodry“ dar: Hier wird die Geländestufe beibehalten.

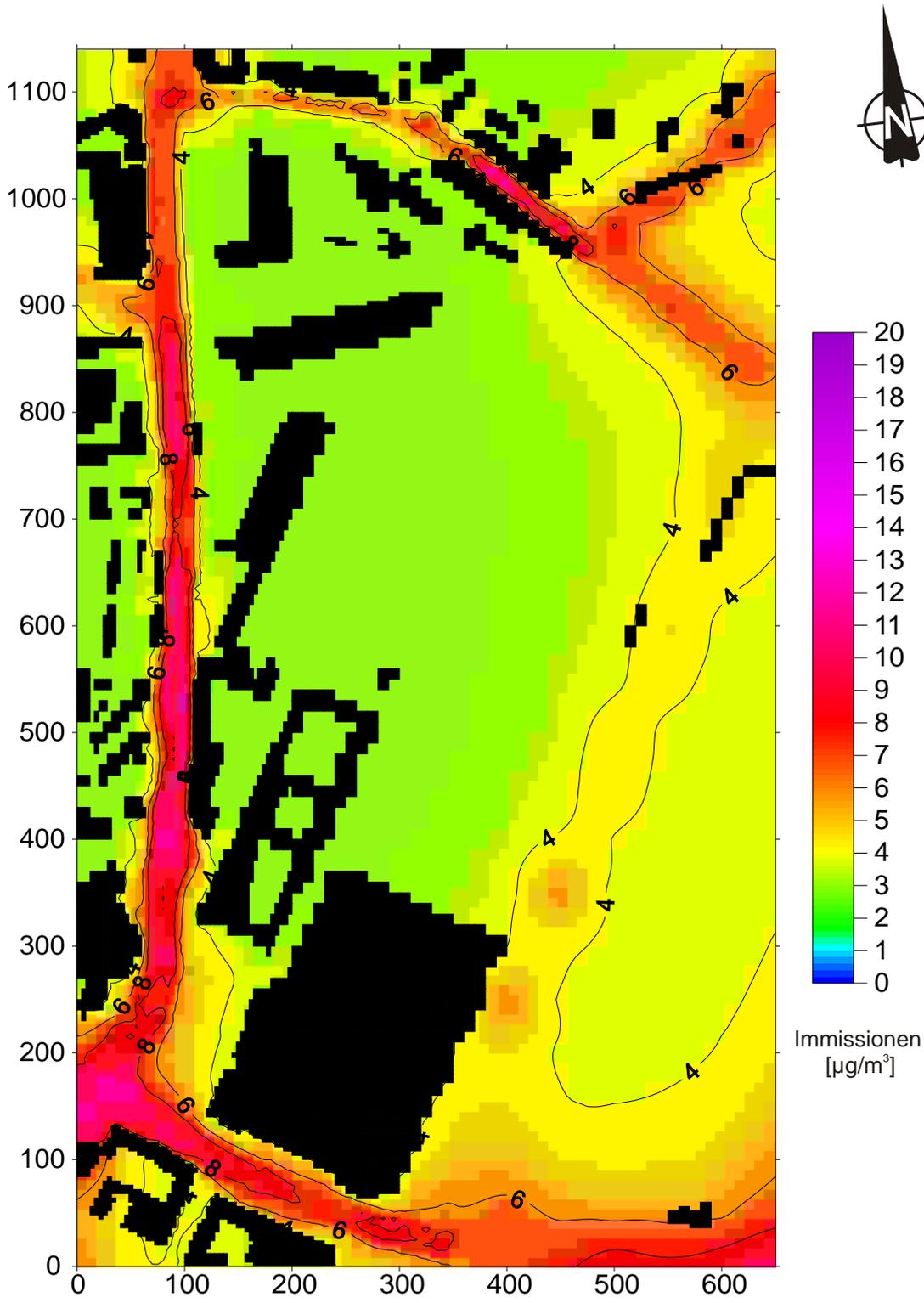


Abb. 6.12: Ruß - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für den Istzustand

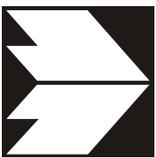
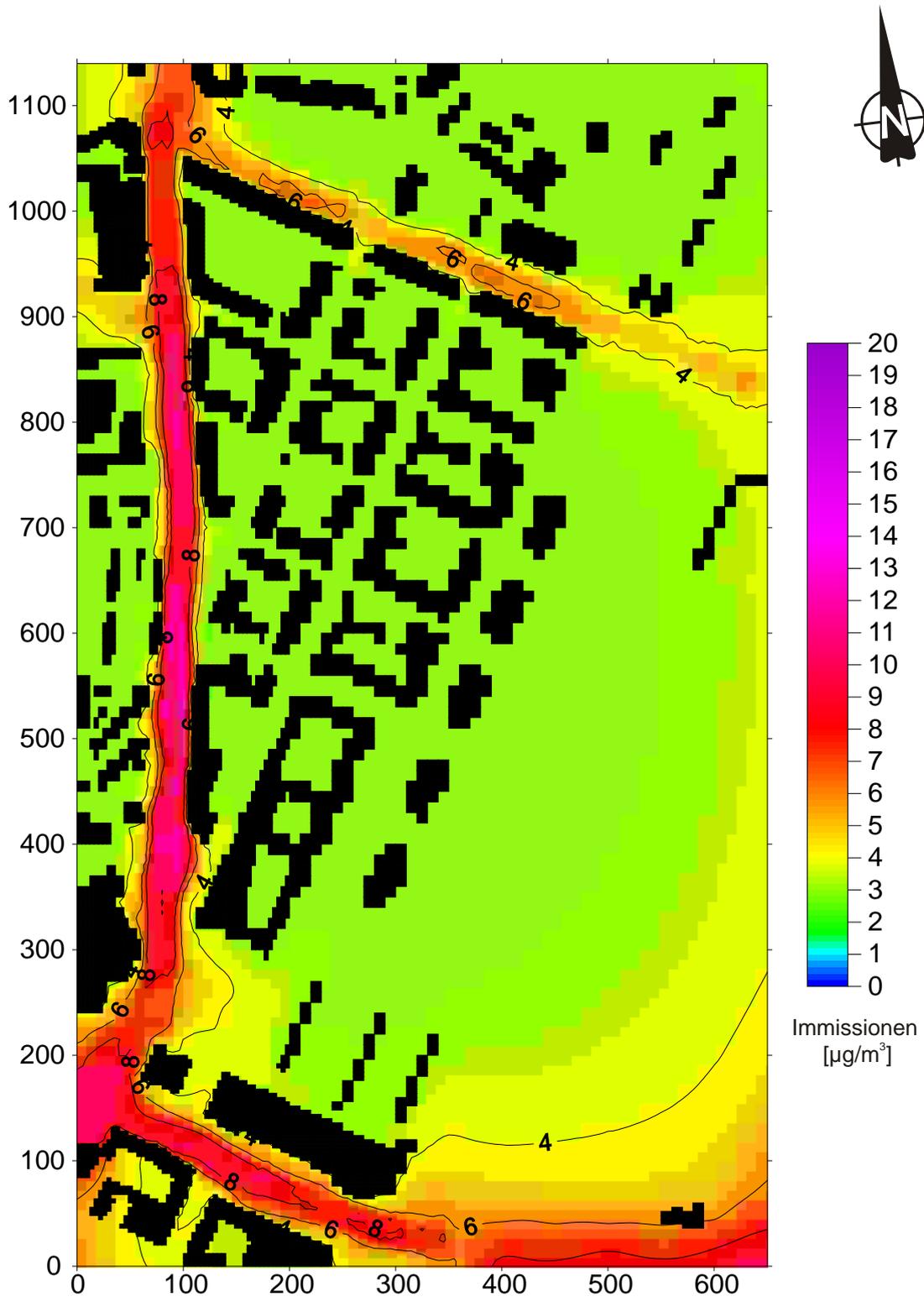


Abb. 6.13: Ruß - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für die Planvariante "Jodry"

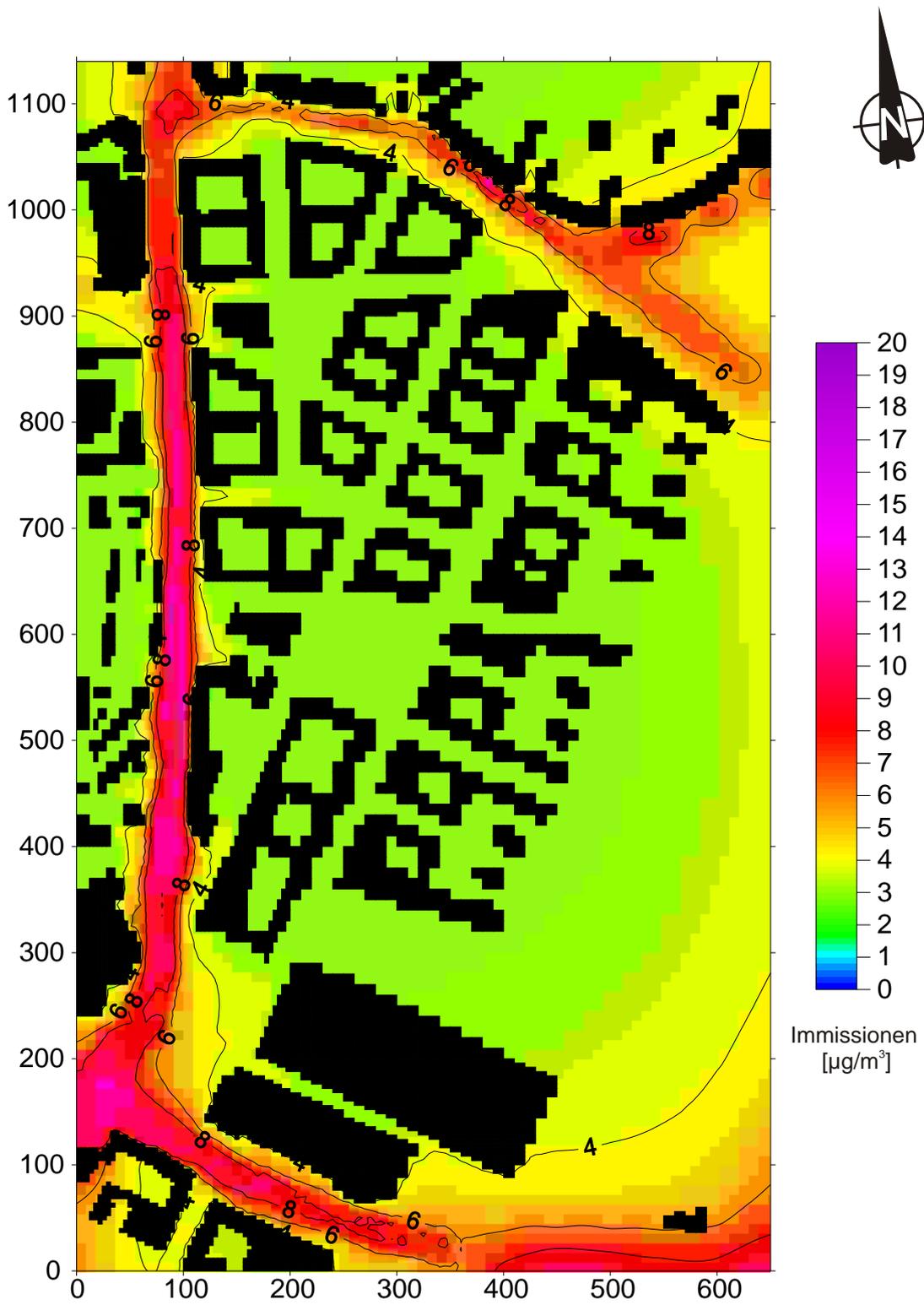


Abb. 6.14: Ruß - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) für die Planvariante "Trojan"

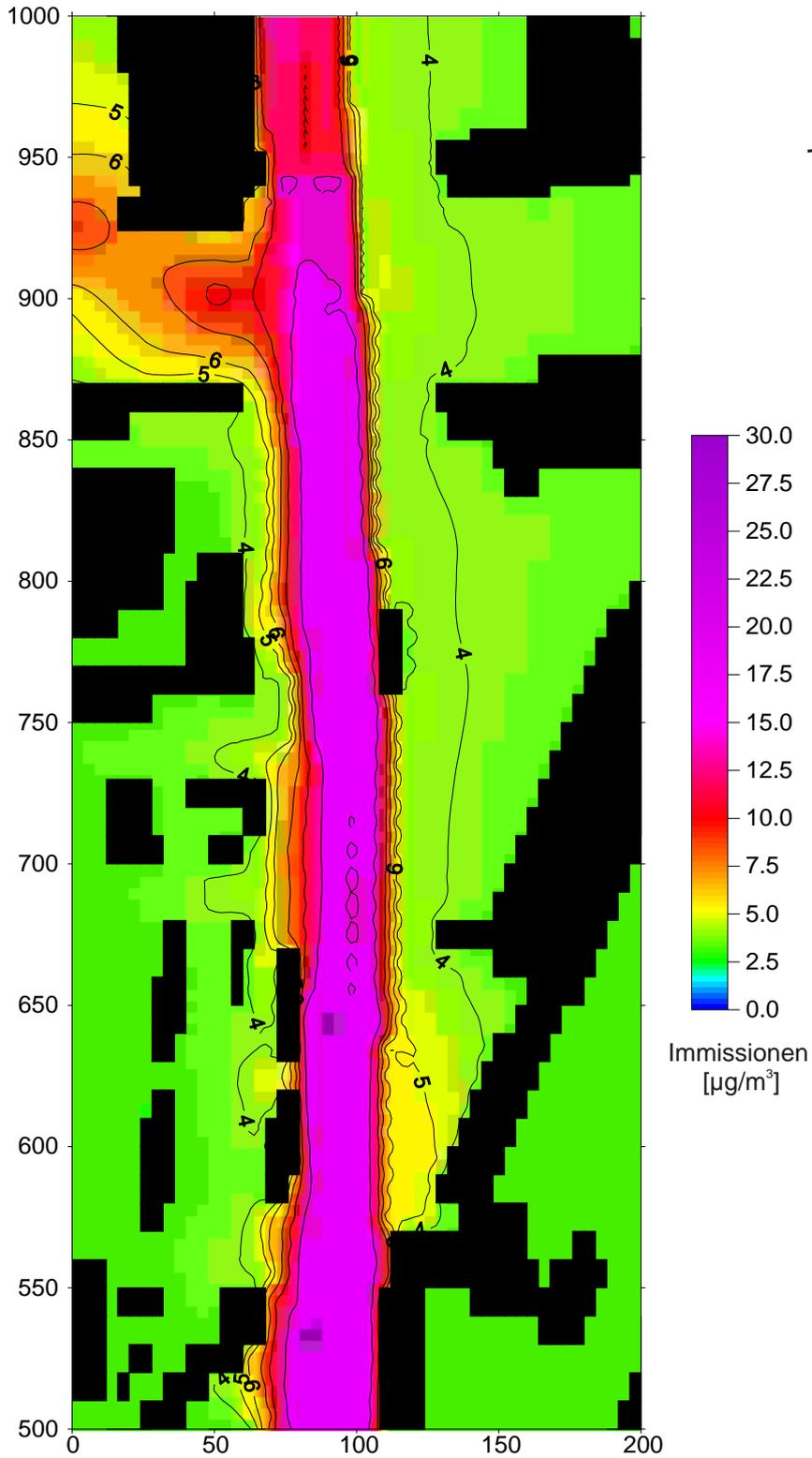


Abb. 6.15: Benzol - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) in einem Teilbereich der Heilbronner Straße für den Istzustand

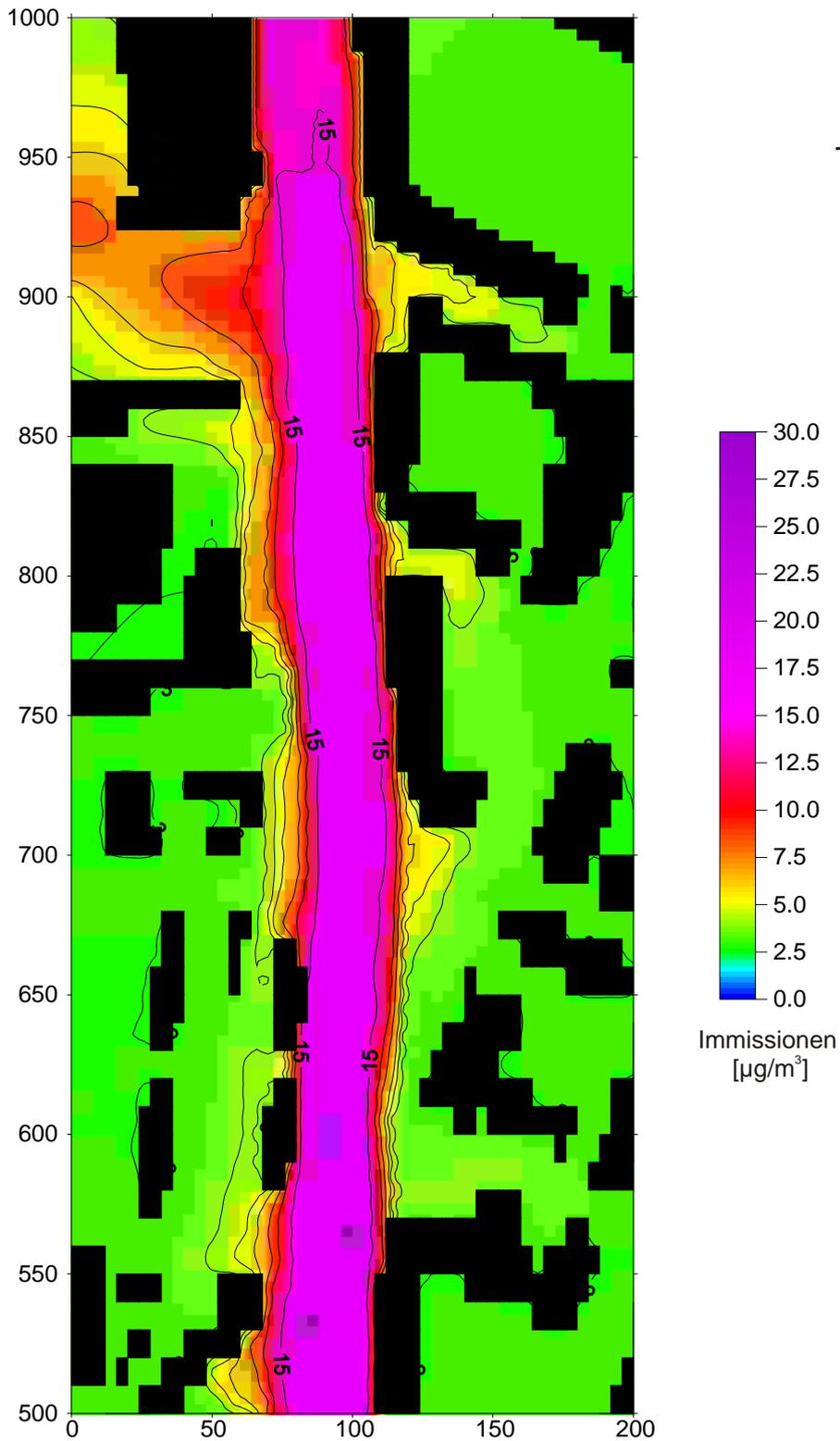


Abb. 6.16: Benzol - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) in einem Teilbereich der Heilbronner Straße für die Planvariante "Jodry"

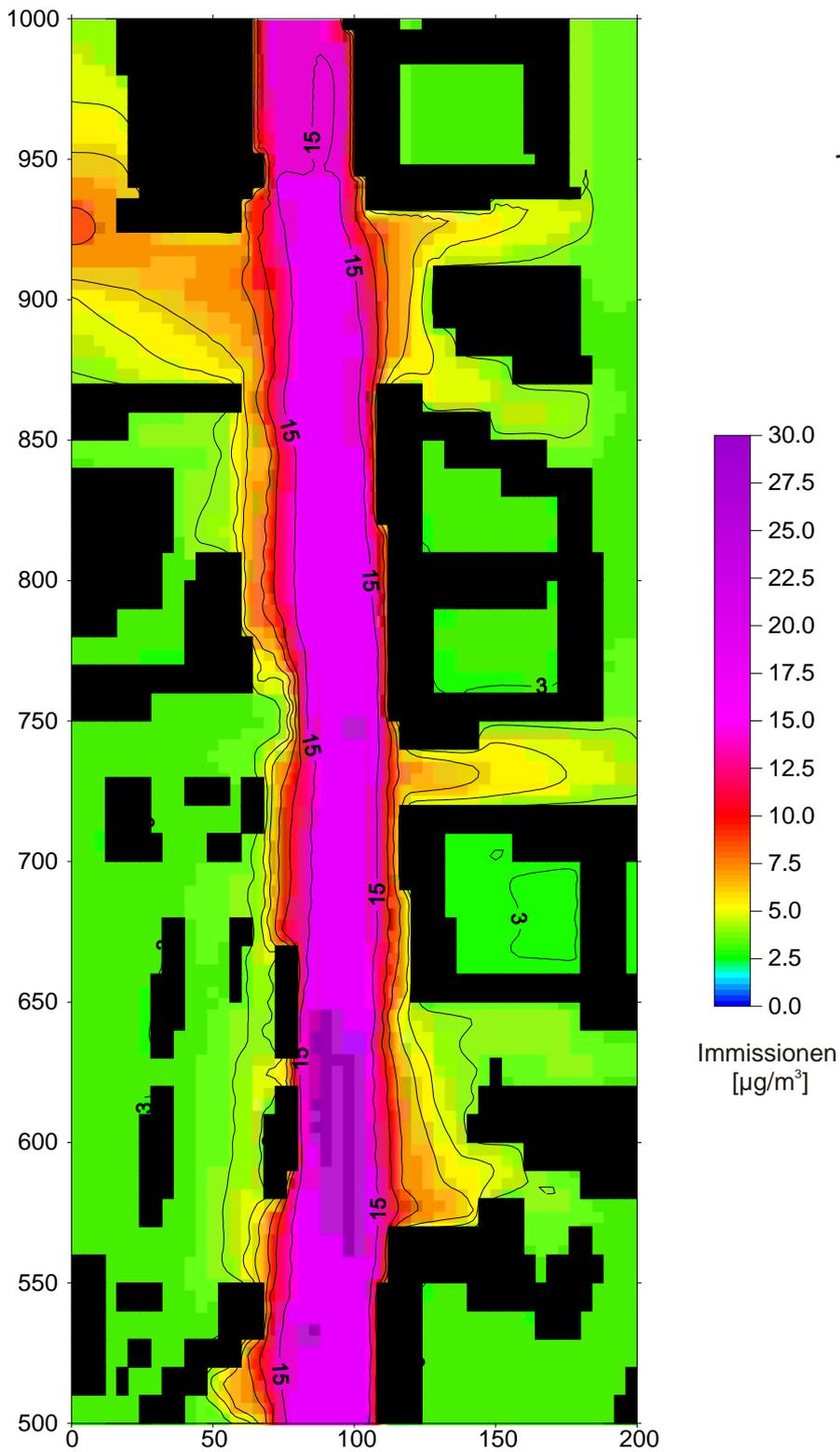


Abb. 6.17: Benzol - Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) in einem Teilbereich der Heilbronner Straße für die Planvariante "Trojan"

7 THERMISCHE UND BIOKLIMATISCHE VERHÄLTNISSE

7.1 Vorgehensweise

In Ergänzung zu den wind- und lufthygienischen Verhältnissen erfolgte die Beschreibung der thermischen und bioklimatischen Verhältnisse. Es werden jeweils für zwei ausgewählte meteorologische Situationen die Wind-, Temperatur-, Feuchte- und Strahlungsverhältnisse mit einer erweiterten Version des mikroskaligen Modells MISKAM berechnet und aus diesen Daten die bioklimatischen Beurteilungsgrößen PMV (Predicted Mean Vote) und PET (Physiologic Equivalent Temperature) berechnet. Diese Größen sind im Entwurf der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 als bioklimatische Beurteilungsgrößen vorgesehen.

7.1.1 Betrachtete meteorologische Situationen

Bei der Auswahl der zu betrachtenden meteorologischen Situationen muß man sich auf einige wenige Situationen beschränken: zum einen stehen i.a. nur für wenige Situationen genügend meteorologische Informationen zur Durchführung der Berechnungen zur Verfügung, zum anderen ist man - im Gegensatz z.B. zu lufthygienischen Fragestellungen - zur Beurteilung weniger an der Änderung langfristiger Kennwerte (Mittelwerte, Perzentilwerte), sondern vielmehr an kurzfristigen, aber intensiven Belastungen interessiert. Man will wissen, wie sich die geplante Bebauung bei bioklimatischen Belastungssituationen auswirkt, um gegebenenfalls Abhilfe schaffen zu können. Als besonders belastend gelten Situationen mit starkem Hitze- bzw. Kältestreß, wobei dem durch die Anwohner schwer abwendbaren Hitzestreß besonderes Augenmerk geschenkt werden muß. Solche Situationen treten naturgemäß im Sommer bei windschwachen Wetterlagen mit hoher Einstrahlung auf. Diese Bedingungen treten im Stuttgarter Stadtgebiet aufgrund seiner Kessellage überdurchschnittlich häufig auf (z.B. Hoffmann, 1977).

Als meteorologische Situationen wurden im vorliegenden Bericht ein Nachmittagstermin (15.00 Uhr) sowie ein Nachttermin (03.00 Uhr) im Juli bei einer windschwachen Wetterlage mit klarem Himmel gewählt. Die angesetzte Windgeschwindigkeit betrug 3 m/s in 100 m über Grund. Dies entspricht einer Windgeschwindigkeit um 1 m/s in Bodennähe (1.5 m über Grund). Die mittlere Überdachwindgeschwindigkeit liegt im Stuttgarter Kessel bei etwa 2 m/s (LfU, 1994). Als Windrichtung für 100 m über Grund wurden 210° angesetzt; diese Richtung, welche nahezu parallel zum Nesenbachtal verläuft, entspricht etwa der Hauptwindrichtung und der häufigsten Windrichtung bei nächtlichen Kaltluftabflüssen.

Als Initialwert für die Lufttemperatur wurde aus der am Schwabenzentrum gemessenen Zeitreihe ein Wert von 22 °C für 15.00 Uhr nachmittags und von 15 °C um 03.00 Uhr nachts abgeleitet; die entsprechenden Werte für die relative Feuchte waren 50 % und 80 %.

Bei der Interpretation der Ergebnisse darf nicht vergessen werden, daß Einzelsituationen (im Gegensatz zu statistischen Werten) berechnet wurden. Ferner handelt es sich eher um Extremsituationen in dem Sinne, daß niedrige Windgeschwindigkeiten in Verbindung mit wolkenfreiem Himmel zugrundegelegt wurden; in diesen Fällen sind sowohl die tägliche Erwärmung als auch die nächtliche Abkühlung im Sommer besonders ausgeprägt. Bei solchen Wettersituationen wirken sich auch die thermischen Eigenschaften der verschiedenen Oberflächen wie Gebäudefassaden, Parkanlagen etc. besonders deutlich aus und bewirken zusätzlich eine starke räumliche Differenzierung. Da keine detaillierte Informationen zur Gestaltung der Gebäude bzw. deren Fassaden (s.u.) vorliegen, sind die Ergebnisse eher als relative Information zu den Unterschieden zwischen Istzustand und Planzustand bzw. zwischen den verschiedenen Entwürfen und als Überblick über die räumliche Verteilung von Wind, Temperatur und bioklimatischen Bewertungsgrößen zu verstehen.

7.1.2 Verwendetes Modell

Die Modellrechnungen wurden mit einer erweiterten Version des mikroskaligen Modells MISKAM durchgeführt. Diese Erweiterungen umfassen die Berücksichtigung der Energieerhaltung (Wärmetransportgleichung), die Ermittlung der Temperaturen der im Modellgebiet vorkommenden Oberflächen (Boden, Fassaden und Dächer) aus einer Energiebilanz sowie die Ermittlung der Beschattungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet.

7.1.3 Rechengebiet

Die zu betrachtenden Entwürfe überdecken verschieden große Bereiche des Stuttgart 21-Areals; daher wurden auch die jeweiligen Rechengebiete verschieden groß gewählt. Hier mußten Kompromisse zwischen der geforderten Auflösung und der verfügbaren Rechenkapazität geschlossen werden. Dem Einfluß der stromauf gelegenen Bebauung auf die Lufttemperaturen wurde durch Verwendung gemessener Temperaturen an der Station Schwabenzentrum als Initialtemperaturen Rechnung getragen. Da bei beiden Entwürfen die Hauptbebauungsachse parallel zur Achse des Nesenbachtals (etwa 31° gegen Nord) verläuft, wurde die Längsachse der Rechengebiete ebenfalls um 31° gegen Nord orientiert. Dadurch konnte die rechentechnisch günstige Situation hergestellt werden, daß die Gebäudekonturen überwiegend parallel zum Rechengebiet liegen. Ein weiterer Vorteil der Orientierung parallel

zur Längsachse des Nesenbachtals ist, daß bei der gewählten Anströmrichtung von 210° das mikroskalige Windfeld im Plangebiet nur wenig von den umgebenden Randhöhen beeinflusst wird und somit für die Rechnungen eine ebene Topographie zugrunde gelegt werden konnte. Das Rechengebiet wird vom Hauptbahnhof, der Heilbronner Straße, der Wolframstraße und dem mittleren Schloßgarten begrenzt. Außer im Randbereich betrug die horizontale Gitterauflösung 7.5 m, die vertikale Auflösung betrug in Bodennähe 3 m. Diese Auflösung ist notwendig, um Details der Planungen wie Innenhöfe und Durchlässe mit hinreichender Genauigkeit erfassen zu können. Eine Darstellung des Rechengebietes zeigen **Abb. 7.1** für den Istzustand, **Abb. 7.2** für den Entwurf Jodry und **Abb. 7.3** für den Entwurf Trojan.

7.1.4 Verwendete Oberflächenparameter

Da im jetzigen Stand der Entwürfe noch keine detaillierte Informationen bezüglich der Oberflächen (z.B. Fassaden, Begrünung, Verglasung) vorliegen, wurde folgende Einteilung der vorkommenden Oberflächen gewählt:

- Gebäudefassaden
- Gebäudedächer
- versiegelte Oberflächen wie Straßen und Plätze
- Parks und Gärten sowie
- Gleisanlagen

Diesen Oberflächen wurden die in folgender Tabelle aufgeführten Parameter zugeordnet.

Oberflächentyp	Dach	Fassade	Straße, Platz	Park	Bahnanlagen (Gleise etc.)
Parameter					
Wärmeübergangszahl (W/m ² K)	7	7	7	20	7
Albedo	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Emissionsvermögen	0.9	0.9	0.9	0.95	0.9
Rauhigkeitslänge (m)	0.05	0.05	0.05	0.2	0.1

Diese typischen Werte wurden der Literatur entnommen (Lutz et al., 1989, Pielke 1984, Oke 1987, Scheffer-Schachtschabel, 1992). Als Innentemperatur der Gebäude wurden 20 °C angenommen.

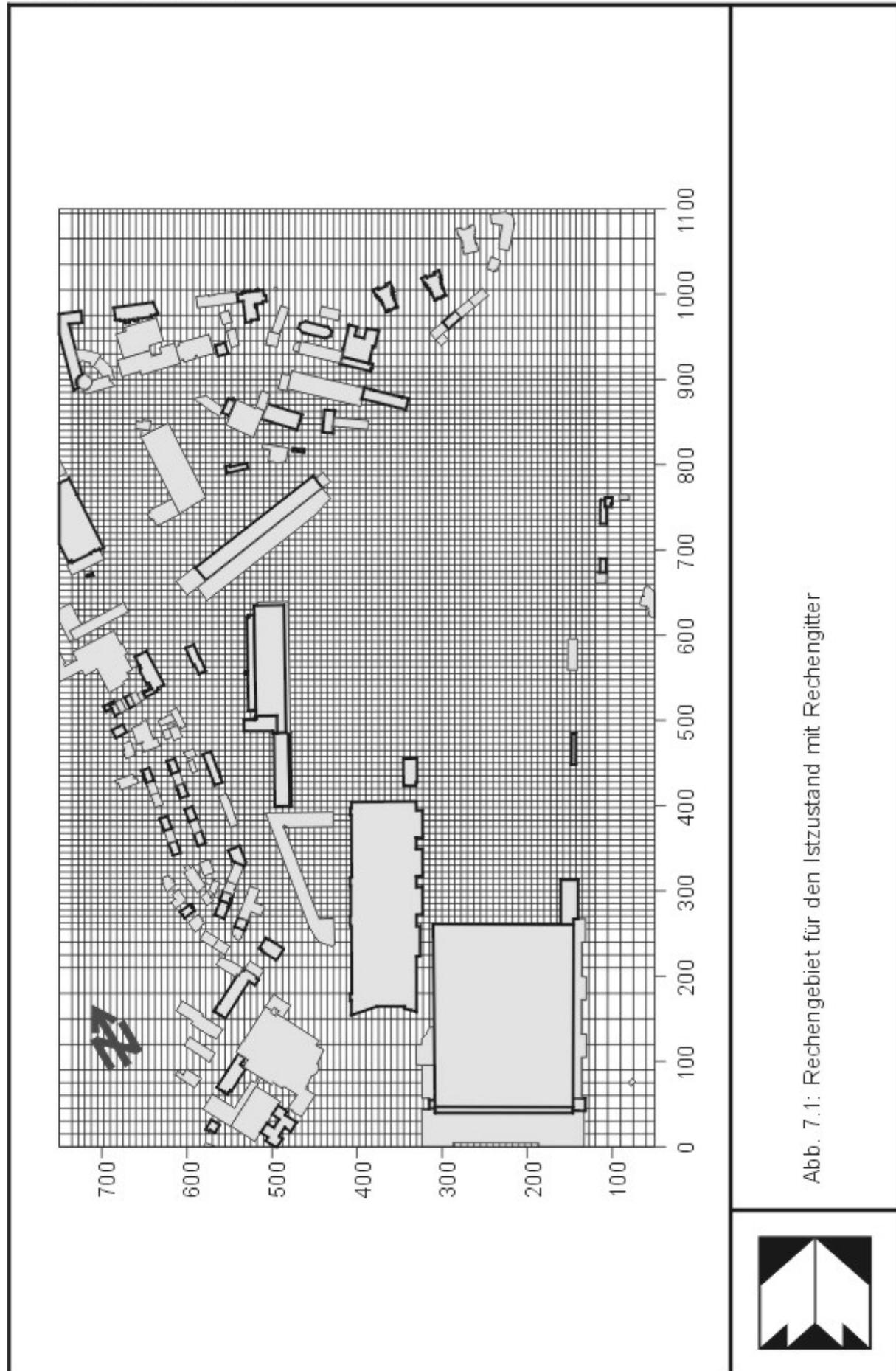
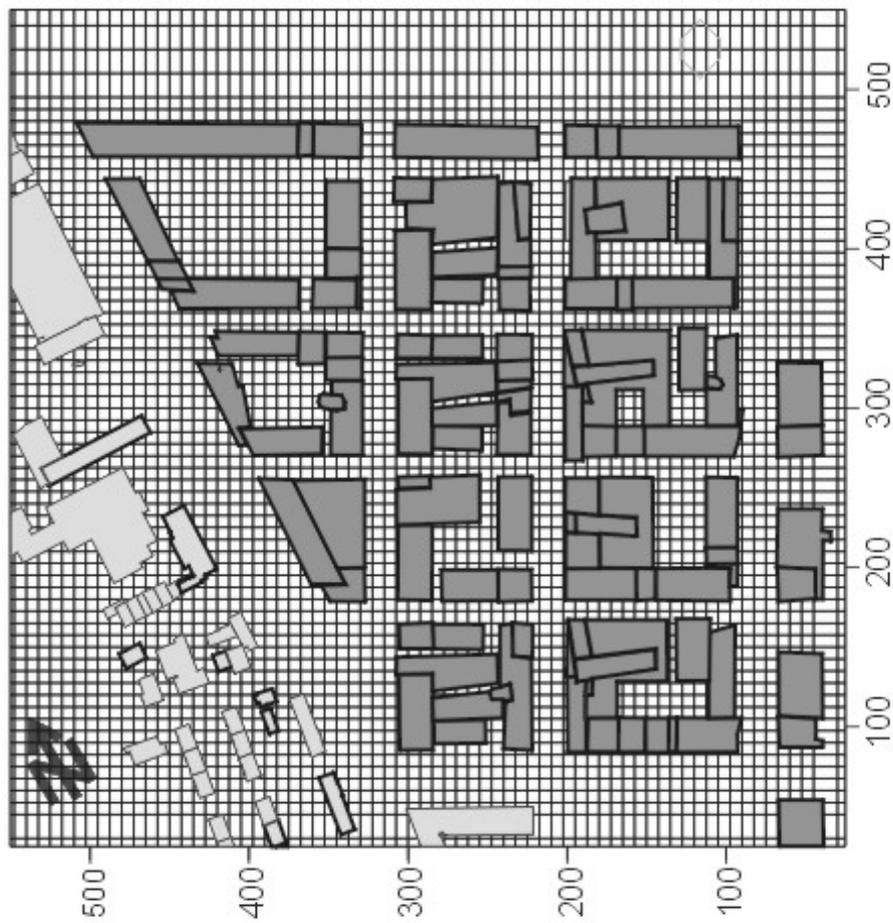


Abb. 7.1: Rechengebiet für den Istzustand mit Rechengitter





-  bestehende Gebäude
-  Gebäude Entwurf Jodry



Abb. 7.2: Rechengebiet für den Entwurf Jodry mit Rechengitter

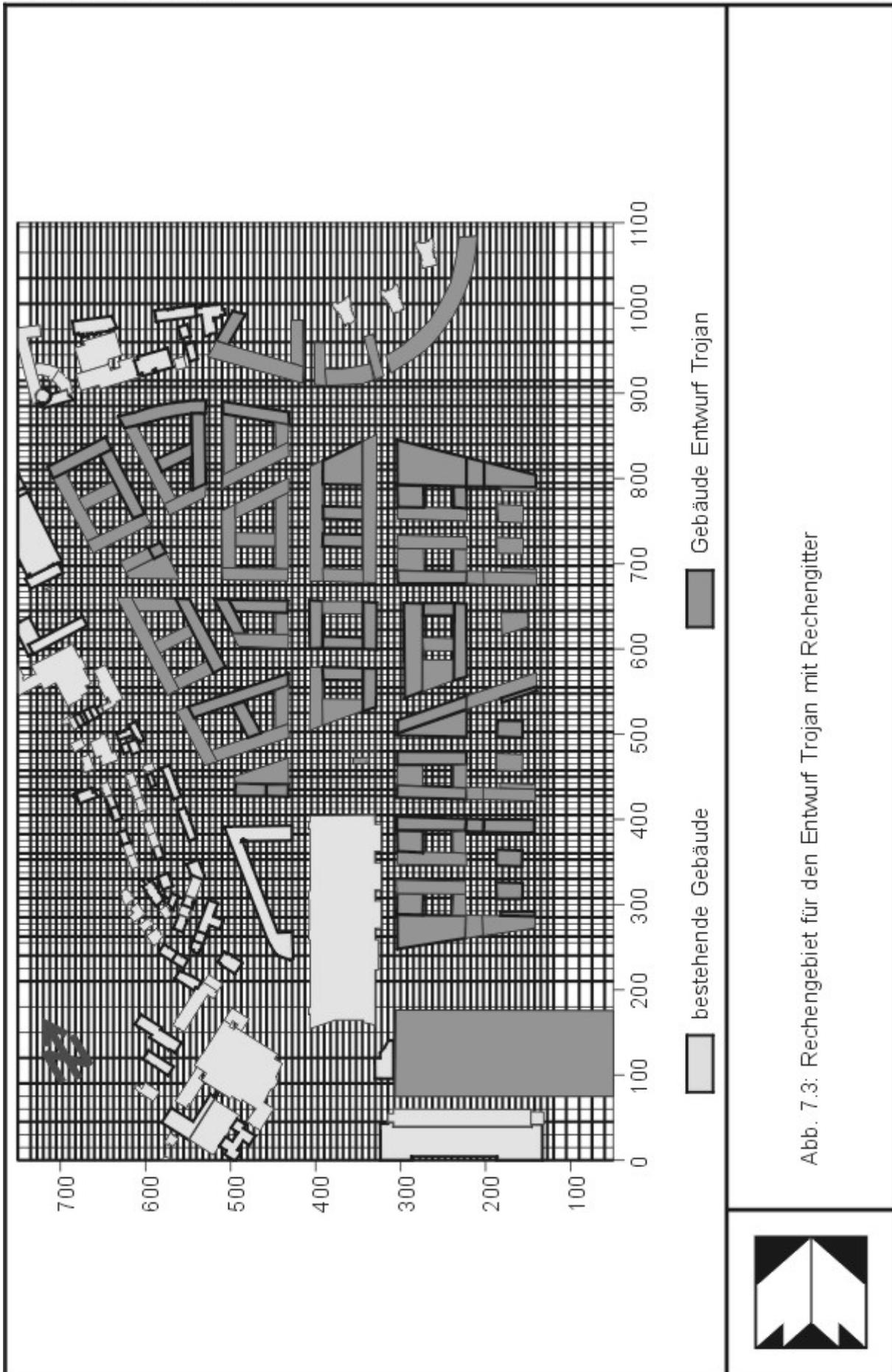


Abb. 7.3: Rechengebiet für den Entwurf Trojan mit Rechengitter



7.1.5 Bewertungsmaßstäbe

Als Bewertungsmaßstäbe werden die im Entwurf der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 genannten Größen PMV (Predicted Mean Vote) und PET (Physiologic Equivalent Temperature) berechnet.

Der PMV-Wert beruht im wesentlichen auf einer Übertragung der Behaglichkeitsgleichung nach Fanger (1972) unter Einbezug eines Strahlungsmodells. Genaueres findet man in Jendritzky (1990) und Grätz et al. (1992). Eine kritische Diskussion des PMV-Wertes findet sich in Taffé (1997). PET-Werte werden aus dem Energiebilanzmodell MEMI abgeleitet (z.B. Höppe, 1992, Mayer und Höppe, 1987).

Neben Alter, Geschlecht, Körpergröße und Gewicht hängen diese Bewertungsmaßstäbe von folgenden Einflußfaktoren ab:

- gerade ausgeübte Aktivität, wie z.B. körperliche Arbeit, Büroarbeit, Gehen, Sitzen, Schlafen; diesen Aktivitäten werden die metabolische Rate m in W/m^2 (Gesamtenergieumsatz pro m^2 Körperoberfläche) sowie der mechanische Wirkungsgrad (η , dimensionslos) als quantitative Größen zugeordnet. Details zu dieser Zuordnung finden sich in Jendritzky (1990) und Fanger (1972).
- Bekleidung: als quantitatives Maß wird ein normierter Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung (icl , Einheit clo) verwendet.
- meteorologische Größen Lufttemperatur (in $^{\circ}C$), mittlere Strahlungstemperatur (in $^{\circ}C$), Windgeschwindigkeit (in m/s) und Wasserdampfdruck (in hPa).

Für die hier durchgeführten Rechnungen wurde entsprechend den Empfehlungen des Entwurfs der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 eine männliche Person von 35 Jahren, einem Gewicht von 75 kg und einer Körpergröße von 1.75 m (Daten des sogenannten Klima-Michel) zugrundegelegt. Als Aktivität wurde Stehen bzw. entspanntes Gehen angenommen mit einer metabolischen Rate von $m = 80 W/m^2$ und einem mechanischen Wirkungsgrad von $\eta = 0$. Für die Bekleidung wurde sommerliche Kleidung mit $icl = 0.9 clo$ angesetzt. Die meteorologischen Daten wurden mit der bereits erwähnten erweiterten Version des mikroskaligen Modells MISKAM errechnet, wobei die mittlere Strahlungstemperatur entsprechend dem Grunddruck der VDI-Richtlinie 3788, Blatt 2 aus der direkten und diffusen kurzwelligen Strahlung sowie der langwelligen Abstrahlung von Fassaden und Erdoberfläche sowie der Gegenstrahlung ermittelt wird.

Um herauszufinden, wie stark PMV bzw. PET von den einzelnen Eingangsgrößen abhängen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wurden, ausgehend von einem Referenzzustand, die Aktivitätswerte, der Bekleidungswert und die meteorologischen Werte im Bereich zwischen etwa -50 % und 100 % um die entsprechenden Referenzwerte variiert.

Das Ergebnis kann wie folgt zusammengefaßt werden:

- der PMV-Wert reagiert sensitiver auf eine Änderung der Eingangsdaten als der PET-Wert, d.h. bei Änderung der Eingangsgrößen ist die Änderung des PMV-Wertes stärker als die Änderung des PET-Wertes. Dies zeigt sich auch später in den Darstellungen von PMV und PET, in denen die PMV-Darstellungen mehr "Struktur" aufweisen als die PET-Darstellungen. Bei der Umsetzung der Werte in thermische Empfindungsstufen bzw. physiologische Belastungsstufen liefern beide Bewertungsmaßstäbe wegen der relativ groben Klassifizierung jedoch weitgehend identische Aussagen, wobei der PET-Wert als Temperatur den Vorteil größerer Anschaulichkeit hat.
- den weitaus stärksten Einfluß auf PMV und PET hat die mittlere Strahlungstemperatur, welche an einem Sommertag auch mit die stärksten räumliche und zeitliche Variation aufweist: im Schatten liegt die Strahlungstemperatur an einem Sommernachmittag bei etwa 30 °C, während sie in der Sonne bei etwa 60 °C liegt. Das thermische Empfinden kann dementsprechend zwischen warm und sehr heiß liegen.
- die Lufttemperatur und - in geringerem Maße - die Bekleidung haben einen geringeren, aber dennoch merklichen Einfluß auf PMV und PET.
- geringen Einfluß haben die Windgeschwindigkeit, der Wasserdampfdruck und die Aktivität.

Es darf nicht vergessen werden, daß diese Ergebnisse vom Referenzzustand abhängen und daß die gewählte Bandbreite der Variation extreme Situationen wie z.B. schwere körperliche Arbeit oder dicke Kleidung ausschließt.

Matzerakis und Mayer (1997) geben die folgende Umsetzung der PMV- und PET-Werte in thermisches Empfinden und physiologische Belastungsstufen an bei einer metabolischen Rate von 80 W/m²:

PMV	PET	thermisches Empfinden	physiologische Belastungsstufe
-3.5	4 °C	sehr kalt	extremer Kältestreß
-2.5	8 °C	kalt	starker Kältestreß
-1.5	13 °C	kühl	mäßiger Kältestreß
-0.5	18 °C	leicht kühl	schwacher Kältestreß
0.5	23 °C	behaftlich	keine Wärmebelastung
1.5	29 °C	leicht warm	schwache Wärmebelastung
2.5	35 °C	warm	mäßige Wärmebelastung
3.5	41 °C	heiß	starke Wärmebelastung
		sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Tab. 7.1: Zuordnung der Bewertungsindizes PMV und PET zu Stufen thermischen Empfindens und physiologischen Belastungsstufen (Tabelle gilt für eine metabolische Rate von 80 W/m²)

7.2 Istzustand

Vorbemerkungen zu den folgenden Abbildungen:

- a) in den Randbereichen des Rechengebiets unterliegen die Ergebnisse unvermeidlichen Randeinflüssen; um Fehlinterpretationen zu vermeiden, werden diese Bereiche in den folgenden Abbildungen nicht mit dargestellt.
- b) die in den Abbildungen angegebenen Koordinaten sind Relativkoordinaten. Für die Abbildungen zum Istzustand und zum Entwurf Jodry hat der Nullpunkt des Koordinatensystems in Gauß-Krüger-Koordinaten den Rechtswert 3513600 und den Hochwert 5405400, für die Abbildungen zum Entwurf Trojan hat der Nullpunkt des Koordinatensystems in Gauß-Krüger-Koordinaten den Rechtswert 3513600 und den Hochwert 5405000. In allen

Abbildungen ist die längere Achse des Gebiets um 31° gegen Nord im Uhrzeigersinn gedreht.

7.2.1 Windgeschwindigkeit

In 1.5 m über Grund ist in ebenem Gelände bei mittlerer Rauigkeit eine Windgeschwindigkeit von etwa 1 m/s zu erwarten, wenn die Windgeschwindigkeit in 100 m über Grund 3 m/s beträgt. Im Untersuchungsgebiet liegen die niedrigsten berechneten Werte unter 0.5 m/s, die höchsten Werte liegen um 2 m/s, d.h. es treten sowohl deutliche Unter- als auch Überschreitungen der für ebenes Gelände zu erwartenden „Freilandwindgeschwindigkeit“ auf. Diese „Freilandwindgeschwindigkeit“ tritt vor allem in den offenen Bereichen der Gleisanlagen auf, während in bebauten Zonen die Modifikation des Windfeldes deutlich zu erkennen ist. Sie äußert sich teils in reduzierten Windgeschwindigkeiten im Luv und Lee von Gebäuden, teils in den erhöhten Windgeschwindigkeiten in engen Durchlässen oder bei stärkeren Verbauungen. Dort können Windgeschwindigkeiten um 2 m/s erreicht werden. Oft fallen die Bereiche niedriger Windgeschwindigkeit mit Bereichen starker Strömungsumlenkung (Stau- und Rückströmbereiche an Gebäuden) zusammen.

7.2.2 Lufttemperatur, Tagsituation

Die Verteilung der Lufttemperatur in 1.5 m über Grund um 15.00 Uhr zeigt **Abb. 7.4**. Die Temperaturen liegen zwischen etwa 20°C und 30°C . Höhere Temperaturen treten insbesondere an Oberflächen auf, die besonnt sind bzw. in deren Nähe sich besonnte Fassaden (bei dieser Tageszeit Süd- und Westfassaden) befinden. Stark aufgeheizt werden auch die Gleisanlagen im Osten: diese sind voll besonnt und die Oberfläche heizt sich wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit stärker auf als ähnlich gelegene Flächen mit höherer Wärmeleitfähigkeit, z.B. die begrünten Flächen des Mittleren Schloßgartens im Osten. Die Schattenwirkung von Gebäuden macht sich in niedrigeren Lufttemperaturen bemerkbar. Bei den herrschenden niedrigen Windgeschwindigkeiten werden die sich einstellenden Temperaturen vor allem von thermischen Einflüssen (lokale Landnutzung, Besonnung) geprägt, die Windgeschwindigkeit als dynamischer Faktor spielt eine untergeordnete Rolle, ein kühlender Effekt des Windes ist praktisch nicht zu beobachten.

7.2.3 PET und PMV, Tagsituation

Die berechnete PMV- und PET-Verteilung in 1.5 m über Grund um 15.00 Uhr zeigen **Abb. 7.5** und **Abb. 7.6**. Die Skaleneinteilung entspricht der in **Tab. 7.1** angegebenen Einteilung von Mayer und Matzerakis (1997) für die thermischen Empfindungsstufen bzw. physiologischen Belastungsstufen.

Danach ergibt sich im größten Teil des betrachteten Gebiets zum betrachteten Termin eine starke Wärmebelastung. Nur in beschatteten Bereichen oder -deutlich weniger ausgeprägt- in Zonen, in denen niedrigere Lufttemperaturen in Kombination mit höheren Windgeschwindigkeiten auftreten, ist die Belastung reduziert. Der Flächenanteil dieser Zonen ist jedoch gering.

Allgemein unterscheiden sich die Aussagen bezüglich des thermischen Empfindens bzw. der physiologischen Belastung bei Verwendung von PMV recht wenig von denen, die man mit PET erhält; allerdings weisen die PMV-Verteilungen eine differenziertere Struktur auf. Dies deutete sich schon bei der Sensitivitätsbetrachtung (siehe Abschnitt 7.1.5) an, die ergab, daß PMV sensitiver auf die Änderung der Einflußgrößen reagiert als PET und daher stärker strukturierte Ergebnisse liefert. Vorteil des PET-Wertes ist sicherlich, daß er als Temperatur der intuitiven Interpretation eher zugänglich ist. Die Tatsache, daß vor allem in beschatteten Bereichen die Wärmebelastung niedriger ist, bestätigt die bei der Sensitivitätsbetrachtung gemachte Beobachtung, daß die mittlere Strahlungstemperatur, welche stark von der Besonnung abhängt (vgl. Abschnitt 7.1.5), die Eingangsgröße ist, welche PMV und PET am stärksten beeinflusst.

7.2.4 Lufttemperatur, Nachtsituation

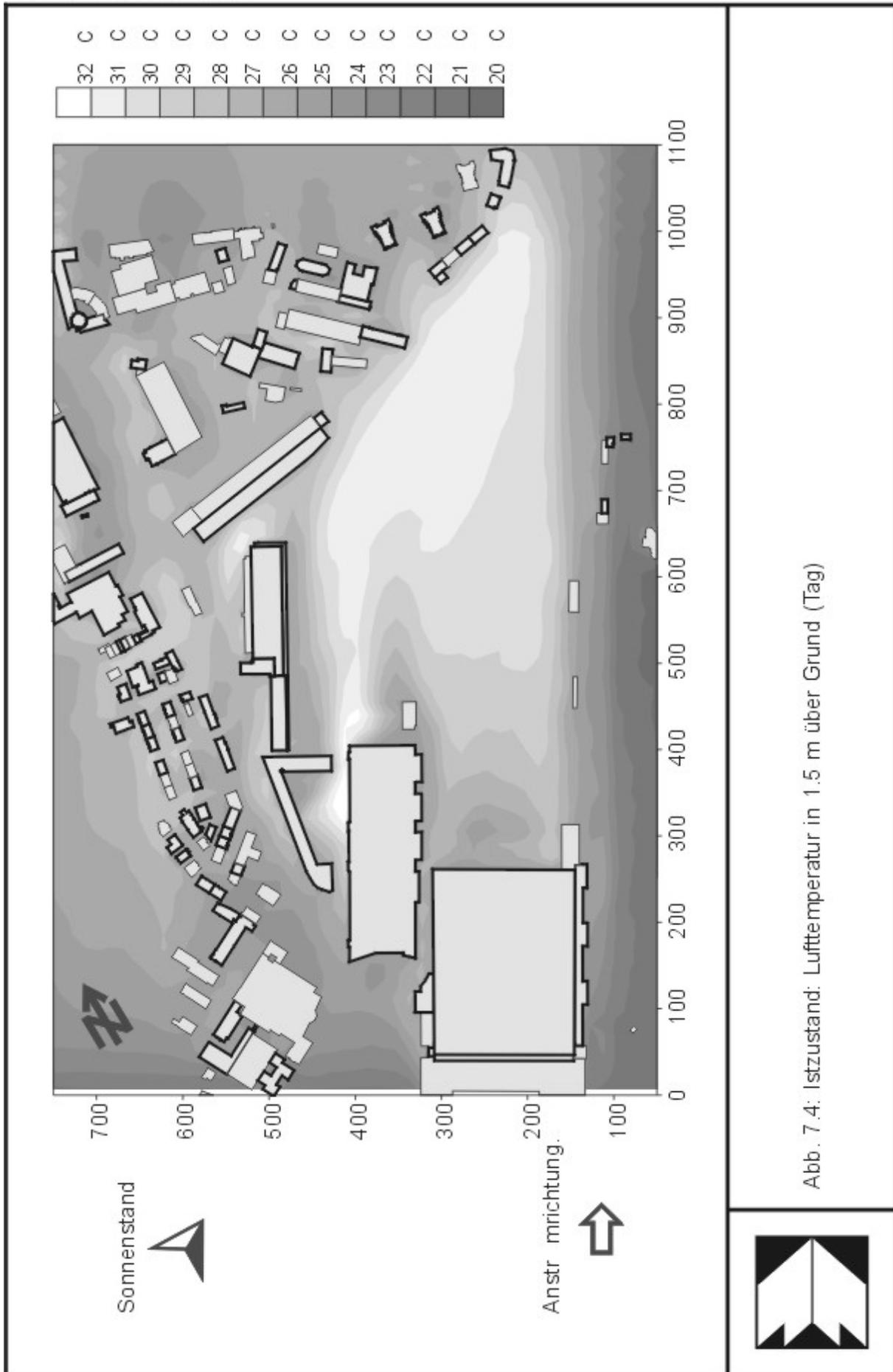
Die berechnete Verteilung der Lufttemperatur in 1.5 m über Grund um 03.00 Uhr zeigt **Abb. 7.7**. Mit Ausnahme der Gleisanlagen und des mittleren Schloßgartens, welche niedrigere Temperaturen aufweisen, liegt das gesamte Gebiet auf einem relativ einheitlichen Temperaturniveau zwischen etwa 13 °C und 15 °C. Die Gleisanlagen kühlen aufgrund ihrer niedrigen Wärmeleitfähigkeit und ihrer freien Lage nachts relativ stark ab. Das Ergebnis entspricht dem einer Untersuchung des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 1994, zitiert in Amt für Umweltschutz, 1996c), nach welcher Bahnanlagen als Klimatop eher Freiflächen als städtischer Bebauung ähneln.

7.2.5 PMV und PET, Nachtsituation

Die nächtlichen Verteilungen von PMV und PET zeigen **Abb. 7.8** und **Abb. 7.9**. Sowohl bei PMV als auch bei PET als Bewertungsmaßstab werden die Temperaturen als leicht kühl im überwiegend bebauten Bereich bis kalt im Bereich der Bahnanlagen empfunden.

Wegen des nachts fehlenden Faktors "kurzwellige Strahlung" sind die dominanten Einflußfaktoren auf den PMV und PET die Lufttemperatur und die Windgeschwindigkeit, mit stärkerem Einfluß der Lufttemperatur. Im Bereich der Bahnanlagen ist die Lufttemperatur die do-

minierende Einflußgröße auf PMV und PET. In den überwiegend bebauten Bereichen, wo sich die Lufttemperatur relativ wenig ändert, können sich Variationen der Windgeschwindigkeit dahingehend bemerkbar machen, daß PMV und PET mit abnehmender Windgeschwindigkeit zunehmen.



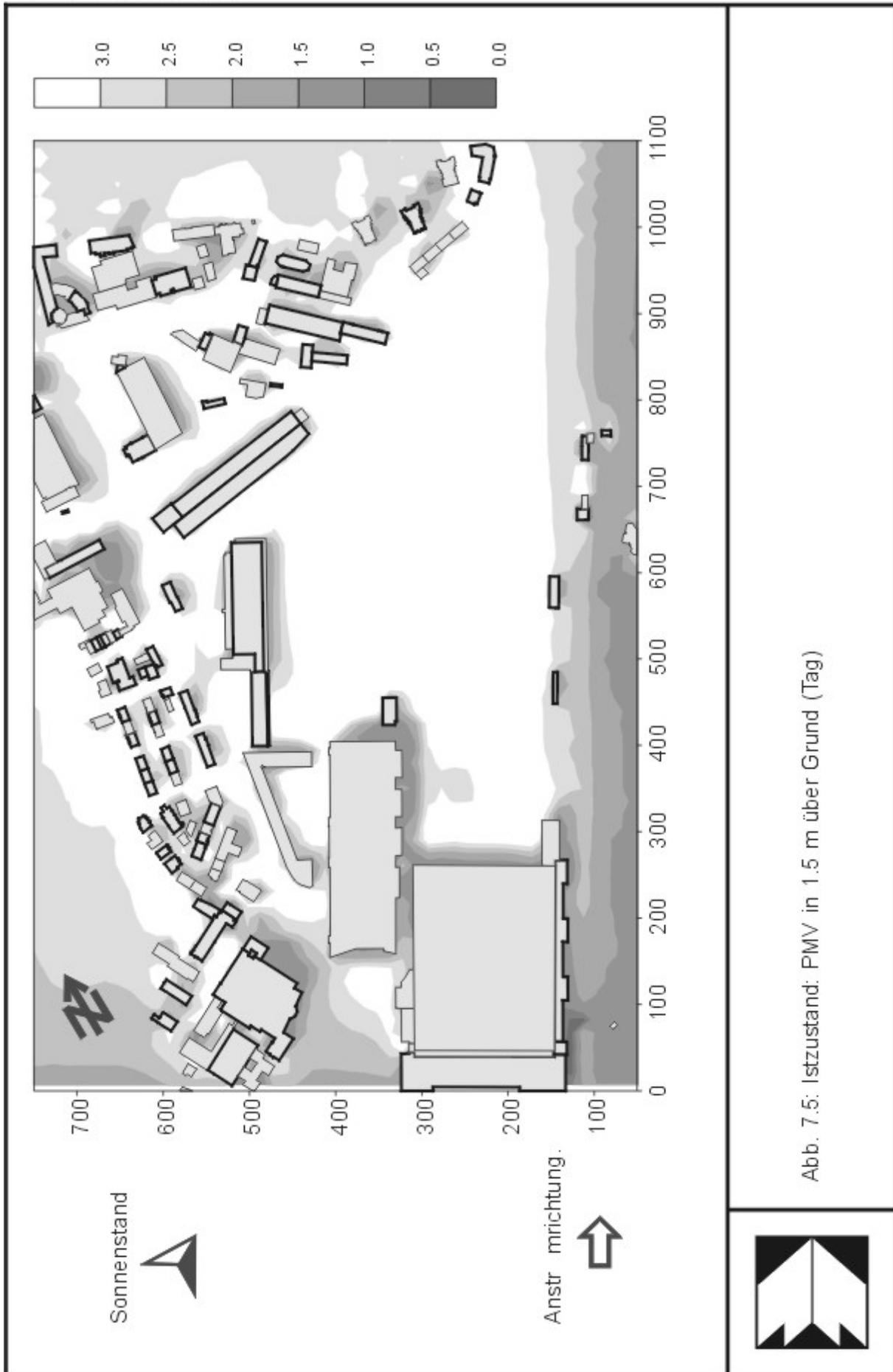


Abb. 7.5: Istzustand: PMV in 1.5 m über Grund (Tag)



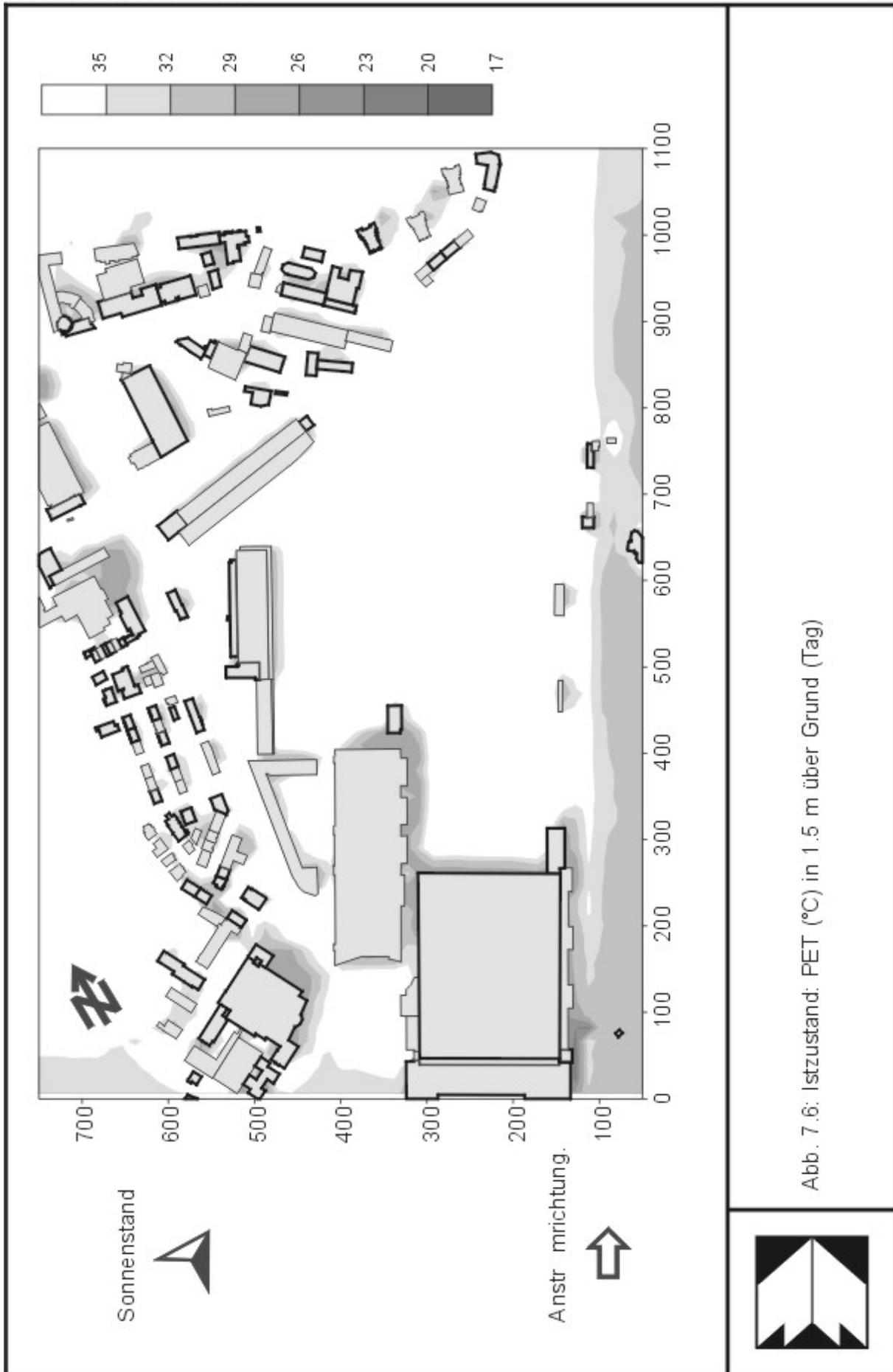


Abb. 7.6: Istzustand: PET (°C) in 1.5 m über Grund (Tag)



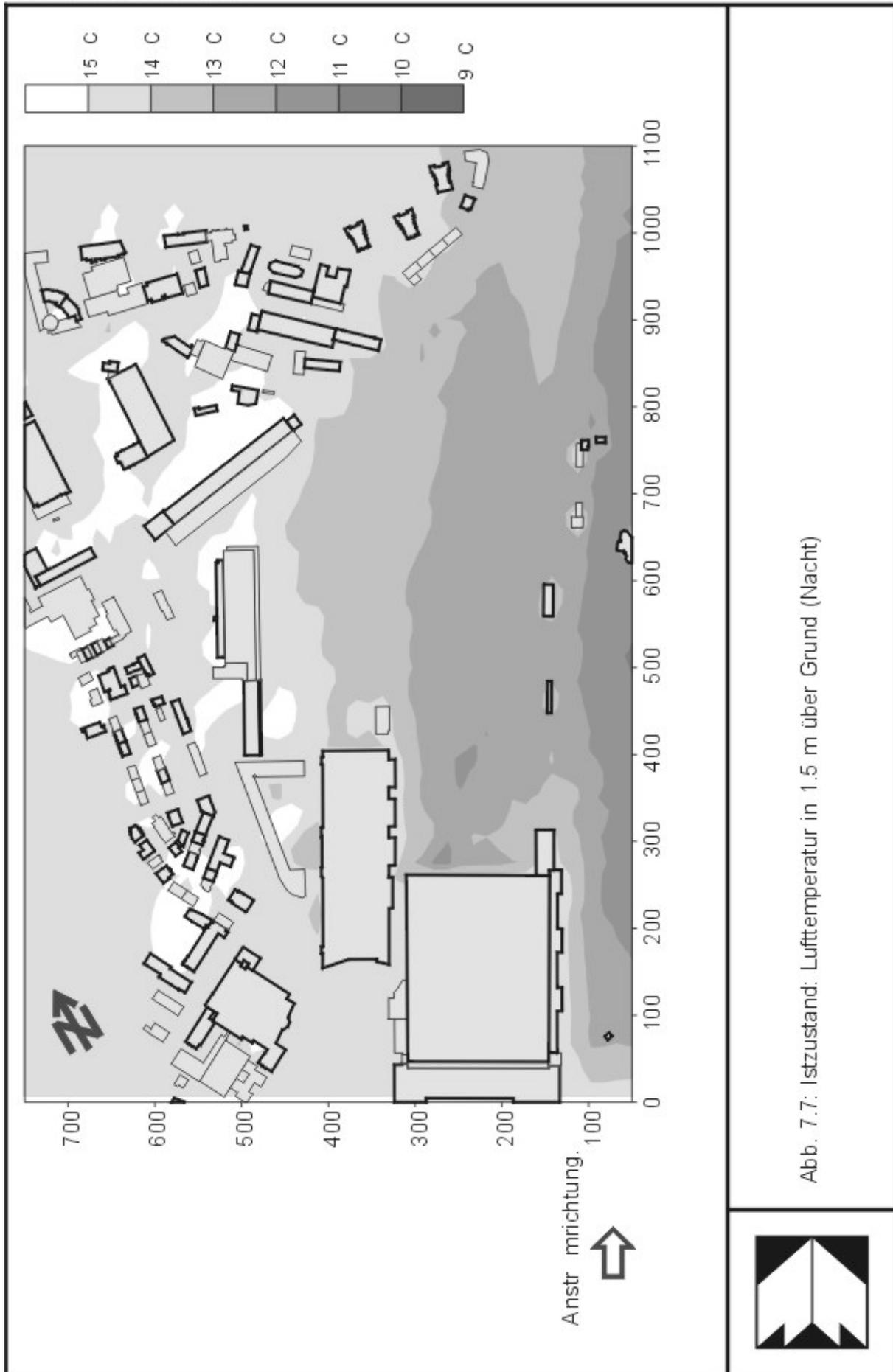


Abb. 7.7: Istzustand: Lufttemperatur in 1.5 m über Grund (Nacht)



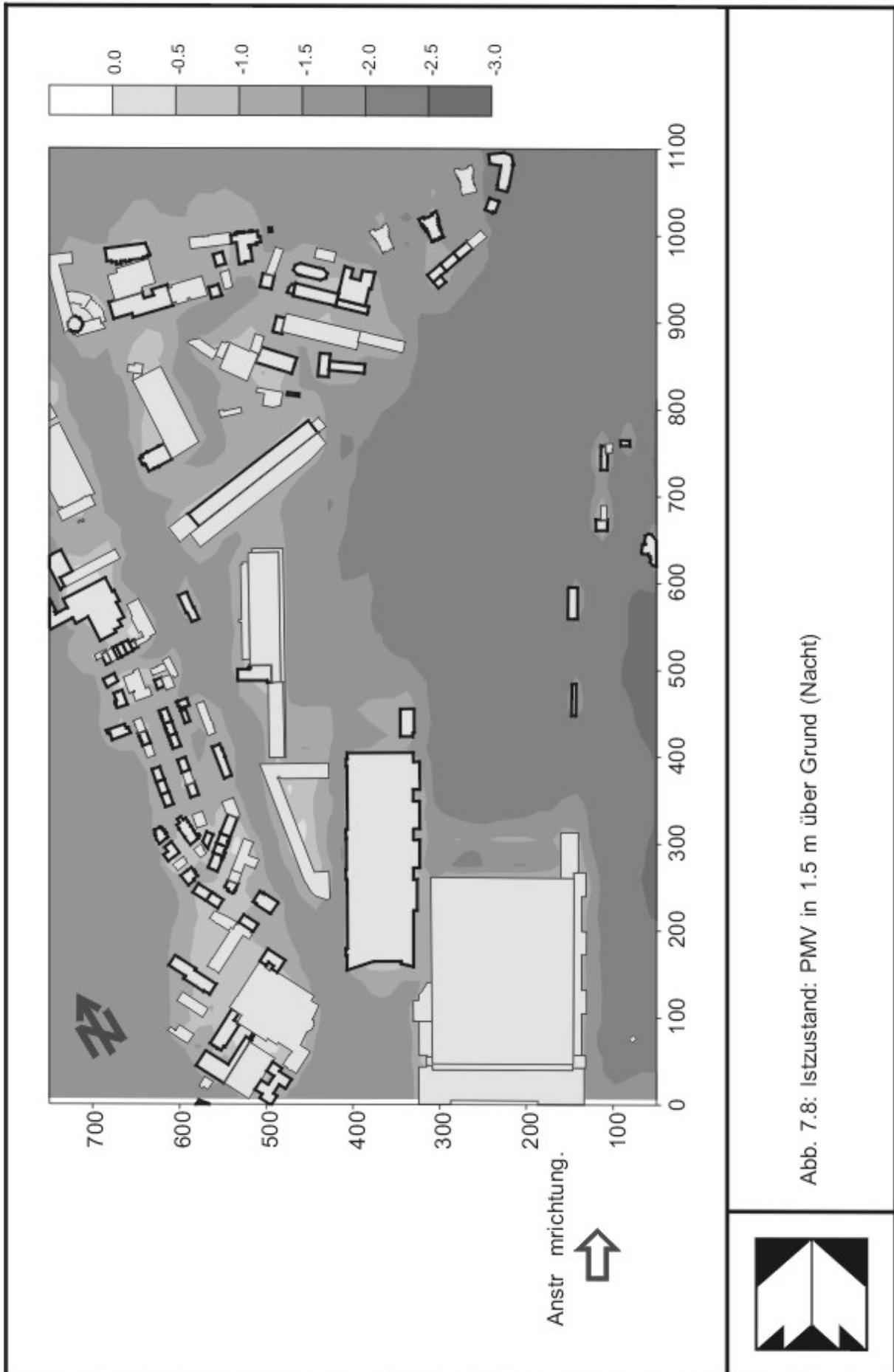


Abb. 7.8: Istzustand: PMV in 1.5 m über Grund (Nacht)



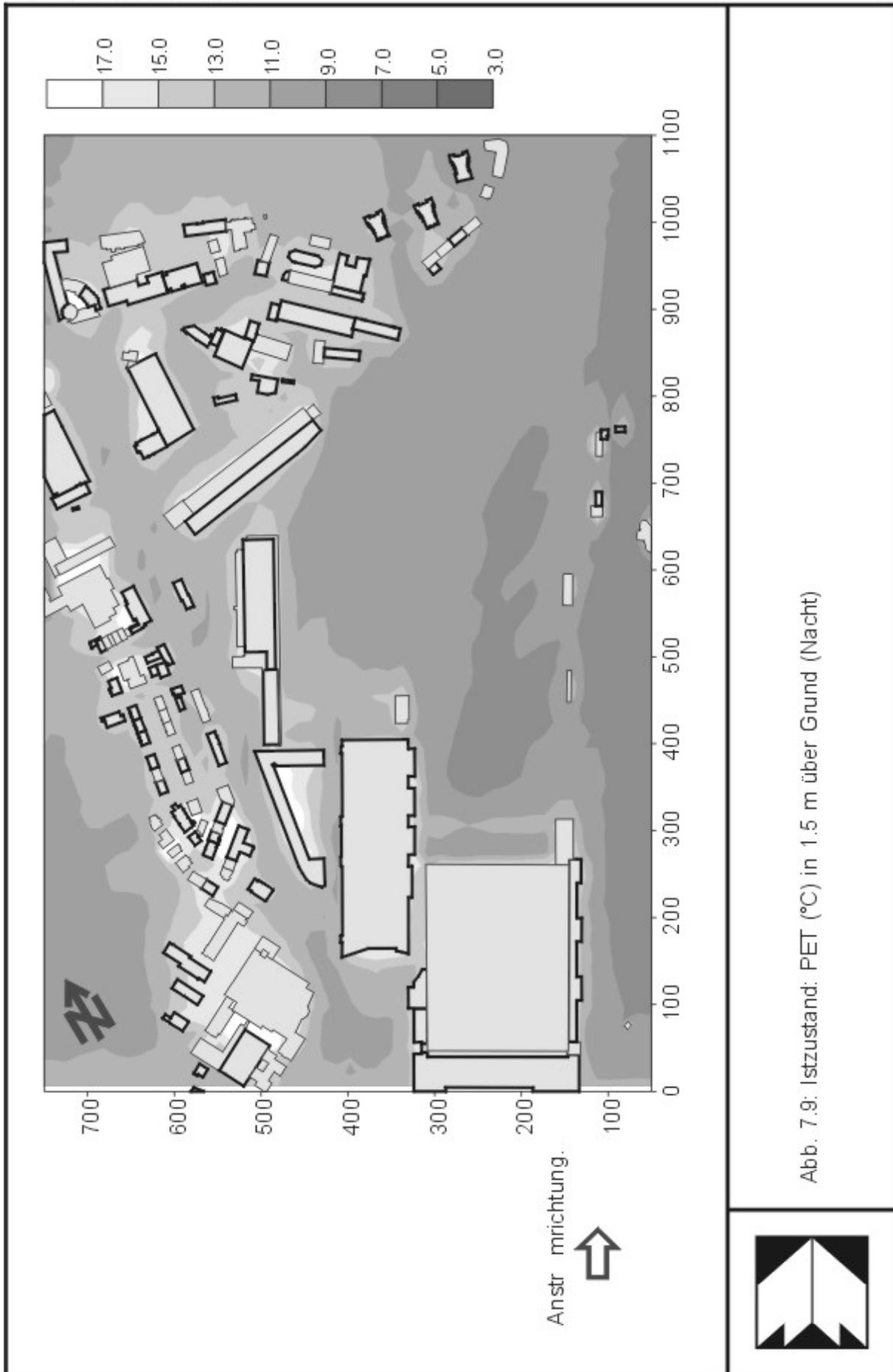


Abb. 7.9: Istzustand: PET (°C) in 1.5 m über Grund (Nacht)



7.3 Entwurf Jodry

7.3.1 Windgeschwindigkeit

Im Vergleich zur Windgeschwindigkeitsverteilung im Istzustand zeigt die Windgeschwindigkeitsverteilung beim Entwurf Jodry eine den Bebauungsstrukturen entsprechende differenziertere Struktur. Neben Bereichen mit sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten, z.B. Innenhöfen, treten auch häufiger Bereiche mit relativ hohen Windgeschwindigkeiten auf. Dies tritt teils dort auf, wo die Strömung durch die Bebauung "kanalisiert" wird, also in vorwiegend beidseitig bebauten Straßen, deren Orientierung nicht zu sehr von der Anströmrichtung von 210° abweicht, teils dort, wo die Straßen von höheren Gebäuden gesäumt werden, so daß ein relativ schmaler Durchlaß entsteht. Andererseits entstehen dort, wo Straßenschluchten senkrecht angeströmt werden oder wo Innenhöfe sind, Bereiche mit sehr niedrigen Geschwindigkeiten, deutlich unterhalb der freien Anströmgeschwindigkeit. Ausgeprägt sind auch die Rückströmgebiete mit niedrigen Windgeschwindigkeiten im Nachlauf der relativ hohen Gebäude, welche in der Abbildung ganz rechts liegen. Insgesamt entstehen durch die regelmäßige Anordnung der Bebauungsblöcke auf kurze Distanzen ausgeprägte Kontraste der Strömungsverhältnisse in Form von "Kanalisationen" und "Nachlaufzonen". Besonders im Bereich der Innenhöfe treten sehr niedrige Strömungsgeschwindigkeiten auf.

7.3.2 Lufttemperatur, Tagsituation

Die Lufttemperaturverteilung am Tag (**Abb. 7.10**) ist geprägt durch die jeweilige Unterlage und die Besonnung der Umgebung, wobei die Lufttemperaturen zwischen etwa 20°C und etwa 30°C , ähnlich dem im Istzustand, variieren. Der Einfluß der Unterlage zeigt sich z.B. deutlich im östlichen Teil der Abbildung, wo niedrigere Temperaturen aufgrund der Grünflächen auftreten. Andererseits treten in besonnten Bereichen mit West- und Südfassaden Temperaturen um 30°C auf. Kleinere Innenhöfe, welche vollständig beschattet sind und in denen sich Grünanlagen befinden, sind ebenfalls kühler.

7.3.3 PMV und PET, Tagsituation

Ähnlich den Feststellungen beim Istzustand sind die resultierenden Verteilungen der Belastungsstufen bei PMV und PET für den Entwurf Jodry untereinander recht ähnlich (**Abb. 7.11** und **Abb. 7.12**). Das Spektrum der Belastungsstufen reicht bei diesem Entwurf von behaglich bis heiß, wobei die niedrigsten Werte in schattigen und durchgrünten Bereichen (östlicher Teil der Abbildung) zu finden sind. Die höchsten Werte treten in offenen Bereichen an der Heilbronner Straße sowie den besonnten Teilen größerer Innenhöfe auf. Die berechneten Werte korrelieren auch hier eng mit die Einflußfaktoren Besonnung und Lufttemperatur, wobei die Besonnung wieder die Haupteinflußgröße ist. Die Windgeschwindigkeit hat auch hier, wie im Istzustand, im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebietes nur untergeordneten Einfluß auf PMV und PET.

Bereiche mit den Belastungsstufen behaglich/leicht warm treten in den Schattenzonen der Gebäude auf. Deutlich ist im östlichen Teil der Abbildung auch die Wohlfahrtswirkung von Grünanlagen zu erkennen: in diesem Bereich tragen auch die niedrigere Lufttemperatur und die höhere Windgeschwindigkeit dazu bei, daß keine oder nur schwache Wärmebelastung vorliegt.

Starke Kontraste der Belastung auf relativ engem Raum können in Innenhöfen auftreten, was vor allem auf den Wechsel von Licht und Schatten zurückzuführen ist.

Wie bereits früher festgestellt, ist die PET-Verteilung (**Abb. 7.12**) weniger differenziert als die PMV-Verteilung (**Abb. 7.11**), liefert aber qualitativ und auch hinsichtlich der thermischen Belastungsstufen mit PMV vergleichbare Ergebnisse.

Insgesamt sind im Bereich der geplanten Bebauung die Belastungswerte etwas niedriger als im Istzustand. Diese Verbesserung ändert jedoch nichts an der nach wie vor hohen thermischen Belastung des Areals, insbesondere vor dem Hintergrund, daß sich hier zukünftig mehr Menschen für längere Zeit aufhalten.

7.3.4 Lufttemperatur, Nachtsituation

Wie bereits im Istzustand zeigt die nächtliche Verteilung der Lufttemperatur (**Abb. 7.13**) ein wesentlich gleichmäßigeres Bild als die Verteilung am Nachmittag. Die niedrigsten Temperaturen (um 12 °C) treten im Bereich der Parkanlagen auf, die höchsten (um 15 °C) im Bereich der Heilbronner Straße. Im östlichen Teil der Abbildung kann die kühlende Wirkung der Parkanlagen bis etwa 200 m in die Bebauung hinein beobachtet werden. Dort ist auch gut

die höhere Lufttemperatur in Gebäudenähe durch langwellige Abstrahlung der Fassaden zu erkennen.

7.3.5 PMV und PET, Nachtsituation

Die Verteilungen von PMV und PET (**Abb. 7.14** und **Abb. 7.15**) sind, wie bereits öfter festgestellt, hinsichtlich ihrer Interpretation in thermischen Belastungsstufen ähnlich, wobei die Belastung zwischen kalt und behaglich variiert. Auch hier ist die PMV-Verteilung etwas differenzierter als die PET-Verteilung mit niedrigsten Werten im Bereich der Parkanlagen. Im Vergleich zum Istzustand reduziert sich insgesamt die Kältebelastung durch die Bebauung.



Abb. 7.10: Entwurf Jodry: Lufttemperatur in 1.5 m über Grund (Tag)



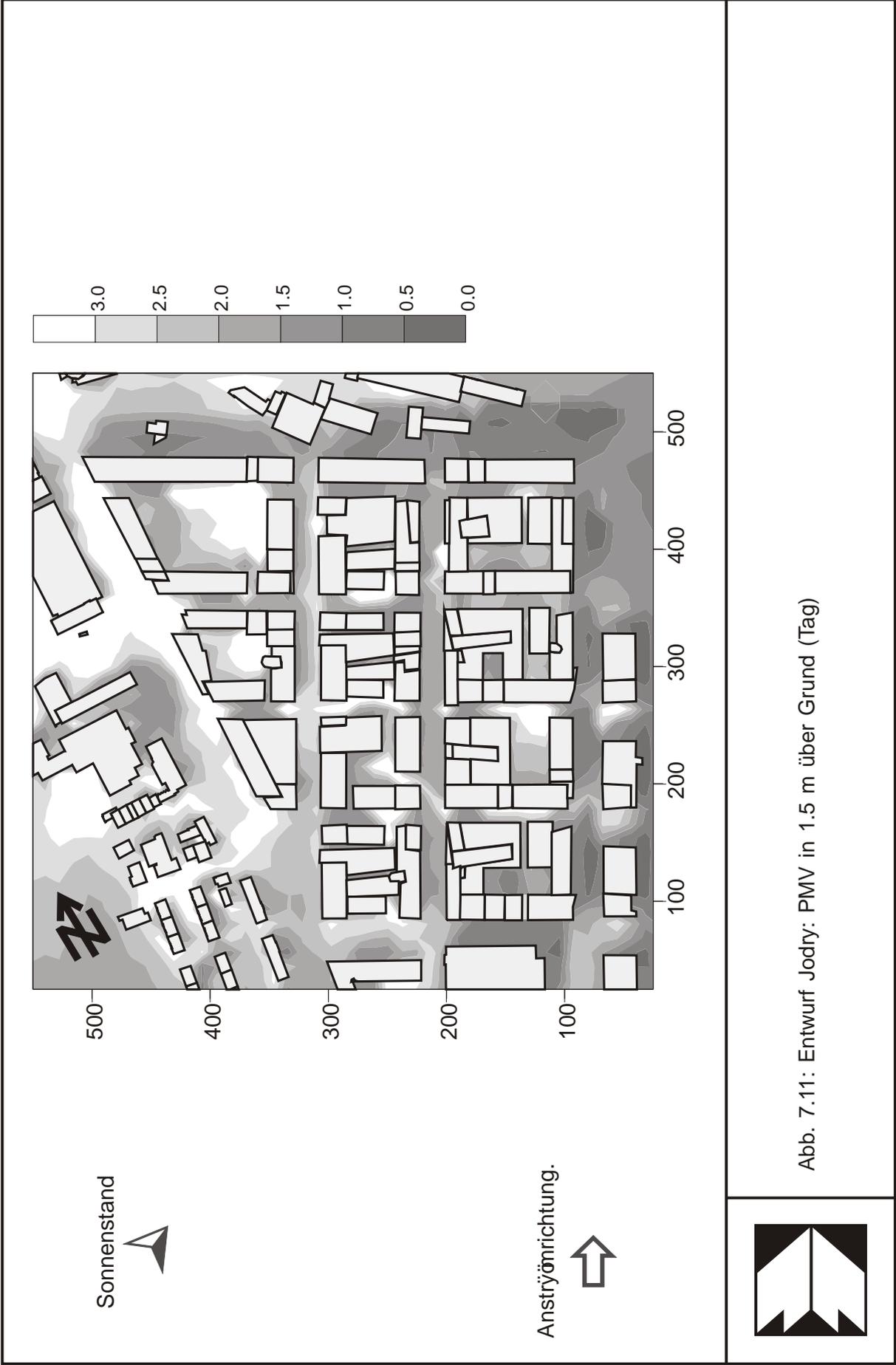


Abb. 7.11: Entwurf Jodry: PMV in 1.5 m über Grund (Tag)



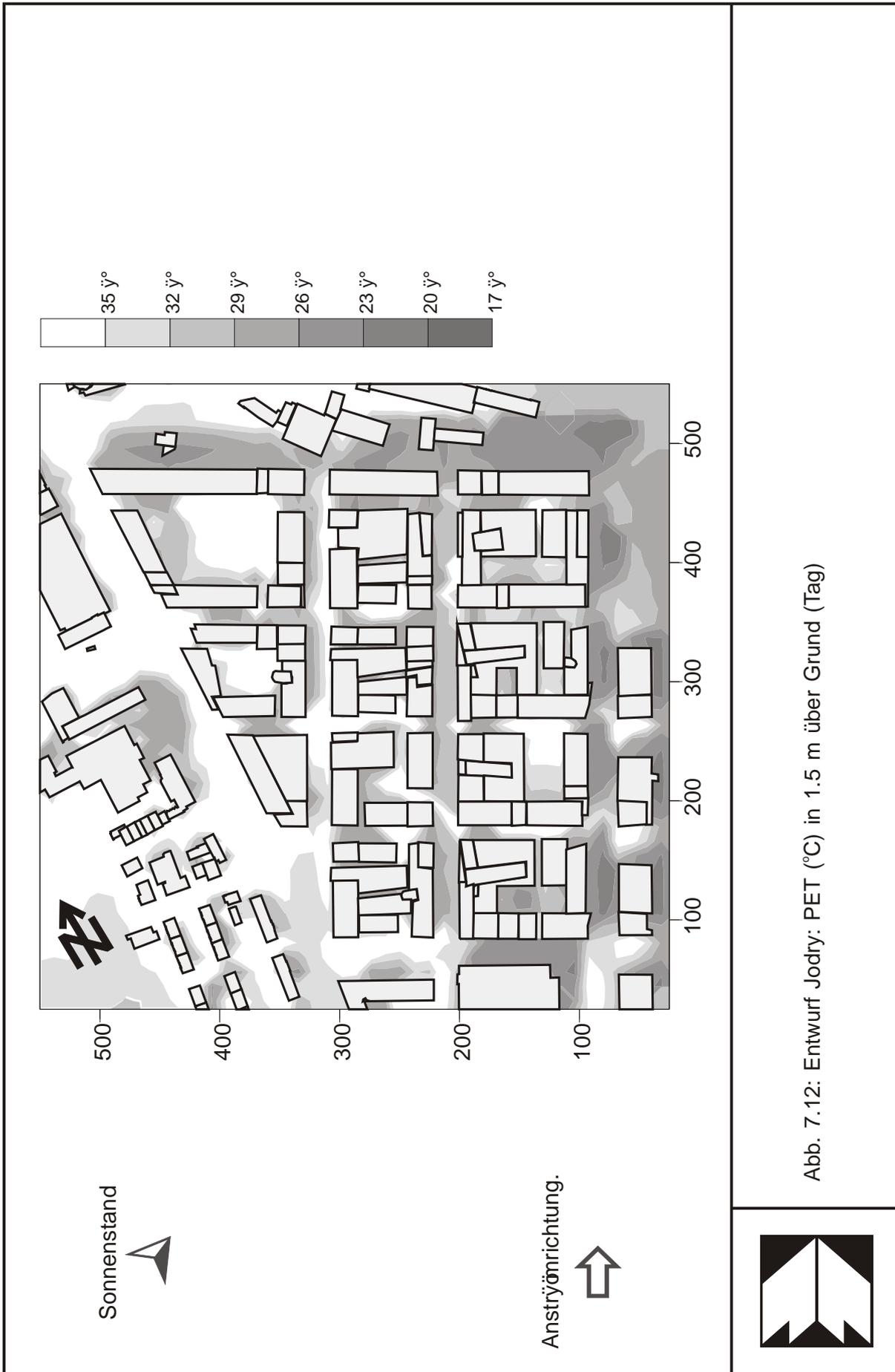
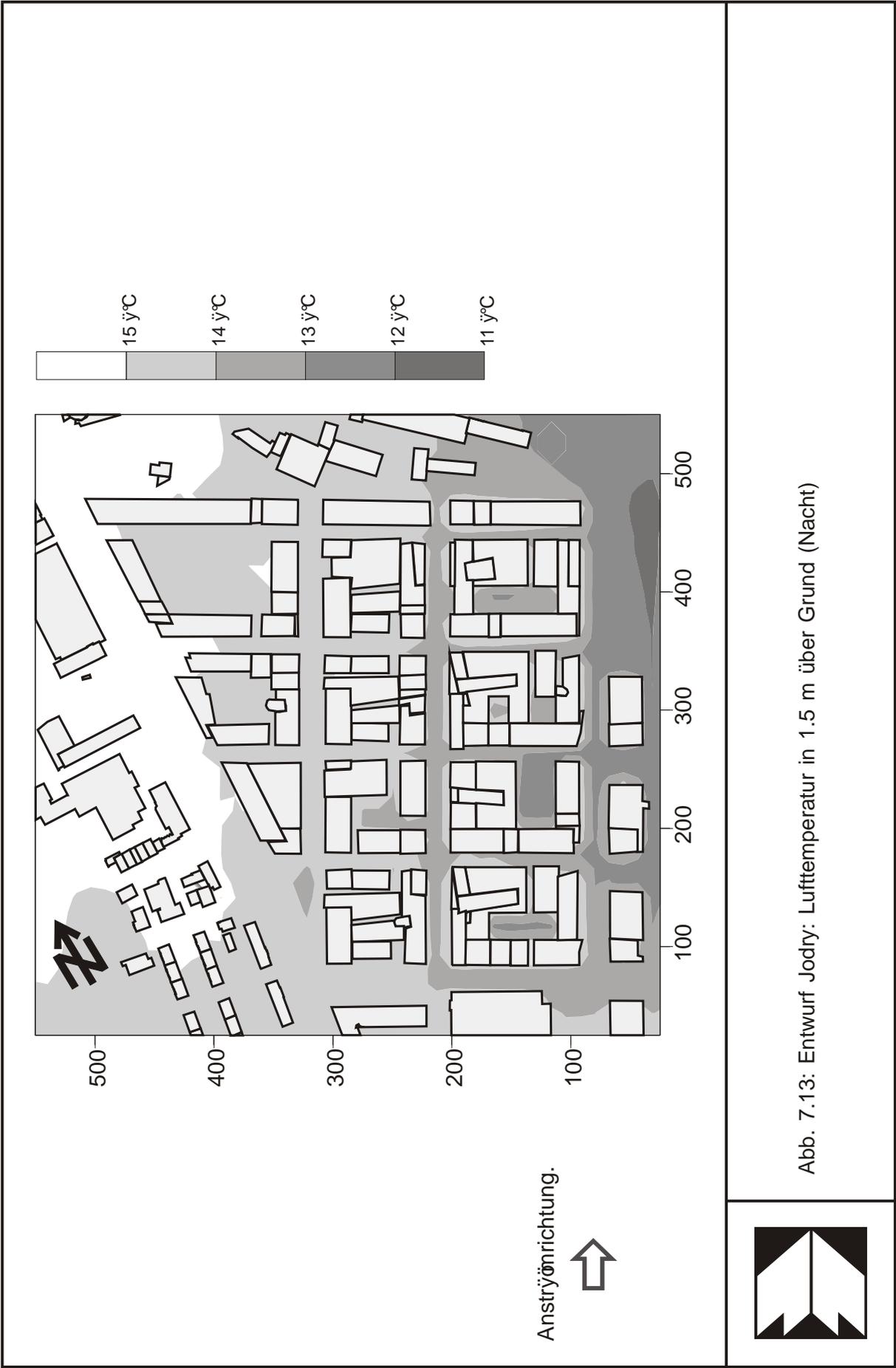


Abb. 7.12: Entwurf Jody: PET (°C) in 1.5 m über Grund (Tag)





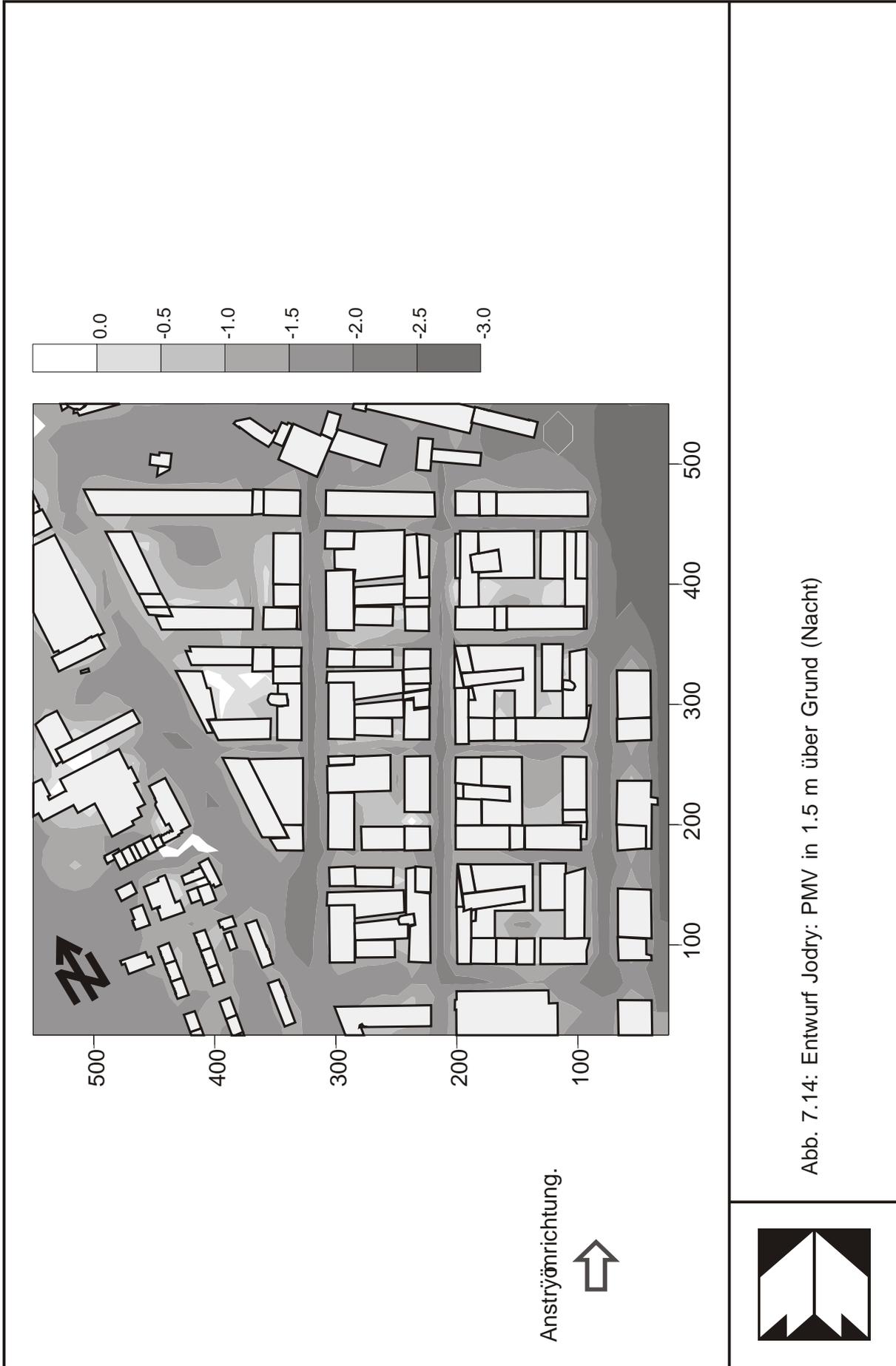


Abb. 7.14: Entwurf Jodry: PMV in 1.5 m über Grund (Nacht)





7.4 Entwurf Trojan

7.4.1 Windgeschwindigkeit

Im Vergleich zur Windgeschwindigkeitsverteilung im Istzustand zeigt die Windgeschwindigkeitsverteilung beim Entwurf Trojan eine den Bebauungsstrukturen entsprechende differenziertere Struktur, allerdings etwas weniger ausgeprägt als beim Entwurf Jodry. Sehr niedrige Windgeschwindigkeiten treten wieder in Innenhöfen und quer angeströmten Straßen auf, höhere Windgeschwindigkeiten in Straßen parallel zur Anströmrichtung (210°). Ausgeprägt sind auch die Nachlauf- und Rückströmgebiete hinter Gebäuden.

7.4.2 Lufttemperatur, Tagsituation

Die Lufttemperaturverteilung am Tage (**Abb. 7.16**) ist geprägt durch die jeweilige Unterlage und die Besonnung der Umgebung, wobei die Lufttemperaturen zwischen etwa 20 °C und etwa 30 °C, ähnlich dem im Istzustand, variieren. Der Einfluß der Unterlage zeigt sich z.B. deutlich im östlichen Teil der Abbildung, wo im Bereich des mittleren Schloßgartens mit die niedrigsten Temperaturen auftreten. Andererseits treten in besonnten Bereichen mit Westfassaden Temperaturen deutlich über 30 °C auf. Kleinere Innenhöfe, welche vollständig beschattet sind und in denen sich Grünanlagen befinden, sind kühler.

7.4.3 PMV und PET, Tagsituation

Ähnlich dem Istzustand sind die resultierenden Verteilungen der Belastungsstufen bei PMV und PET für den Entwurf Trojan untereinander recht ähnlich (**Abb. 7.17** und **Abb. 7.18**). Das Spektrum der Belastungsstufen reicht bei diesem Entwurf von behaglich bis heiß, wobei die niedrigsten Werte in schattigen und durchgrüntem Bereichen (z.B. mittlerer Schloßgarten im östlichen Teil der Abbildung) zu finden sind. Die höchsten Werte treten in offenen Bereichen der Heilbronner Straße, im Nachlauf z.B. der Bankgebäude und der neuen Bahnhofshalle sowie den besonnten Teilen größerer Innenhöfe auf. Neben der Besonnung und der Lufttemperatur wirkt sich hier auch die niedrige Windgeschwindigkeit in diesen Zonen deutlich auf PMV und PET aus.

Bereiche mit den Belastungsstufen behaglich/leicht warm treten in den Schattenzonen der Gebäude auf; ihr Anteil an der Gesamtfläche ist relativ gering. Starke Kontraste der Belastung auf relativ engem Raum können in Innenhöfen auftreten, was vor allem auf den Wechsel von Licht und Schatten zurückzuführen ist.

Wie bereits früher festgestellt, ist die PET-Verteilung etwas weniger differenziert als die PMV-Verteilung, liefert aber qualitativ und auch hinsichtlich der thermischen Belastungsstufen mit PMV vergleichbare Ergebnisse.

Insgesamt sind im Bereich der geplanten Bebauung die Belastungswerte etwas niedriger als im Istzustand; dies ändert jedoch nichts an der immer noch recht hohen thermischen Belastung des Areals.

7.4.4 Lufttemperatur, Nachtsituation

Abb. 7.19 zeigt die nächtliche Verteilung der Lufttemperatur. Die niedrigsten Temperaturen (um 9 °C) treten im Bereich der Parkanlagen auf, die höchsten (um 15 °C) im Bereich der Heilbronner Straße. Die höhere Lufttemperatur in Gebäudenähe durch langwellige Abstrahlung der Fassaden ist an einigen Stellen zu erkennen, ebenso die höhere Lufttemperatur in Innenhöfen.

7.4.5 PMV und PET, Nachtsituation

Die Verteilungen von PMV und PET (**Abb. 7.20** und **Abb. 7.21**) sind auch hier hinsichtlich ihrer Interpretation in thermischen Belastungsstufen ähnlich, wobei die Belastung zwischen kalt und behaglich variiert. Auch hier ist die PMV-Verteilung etwas differenzierter als die PET-Verteilung mit niedrigsten Werten im Bereich der Parkanlagen.

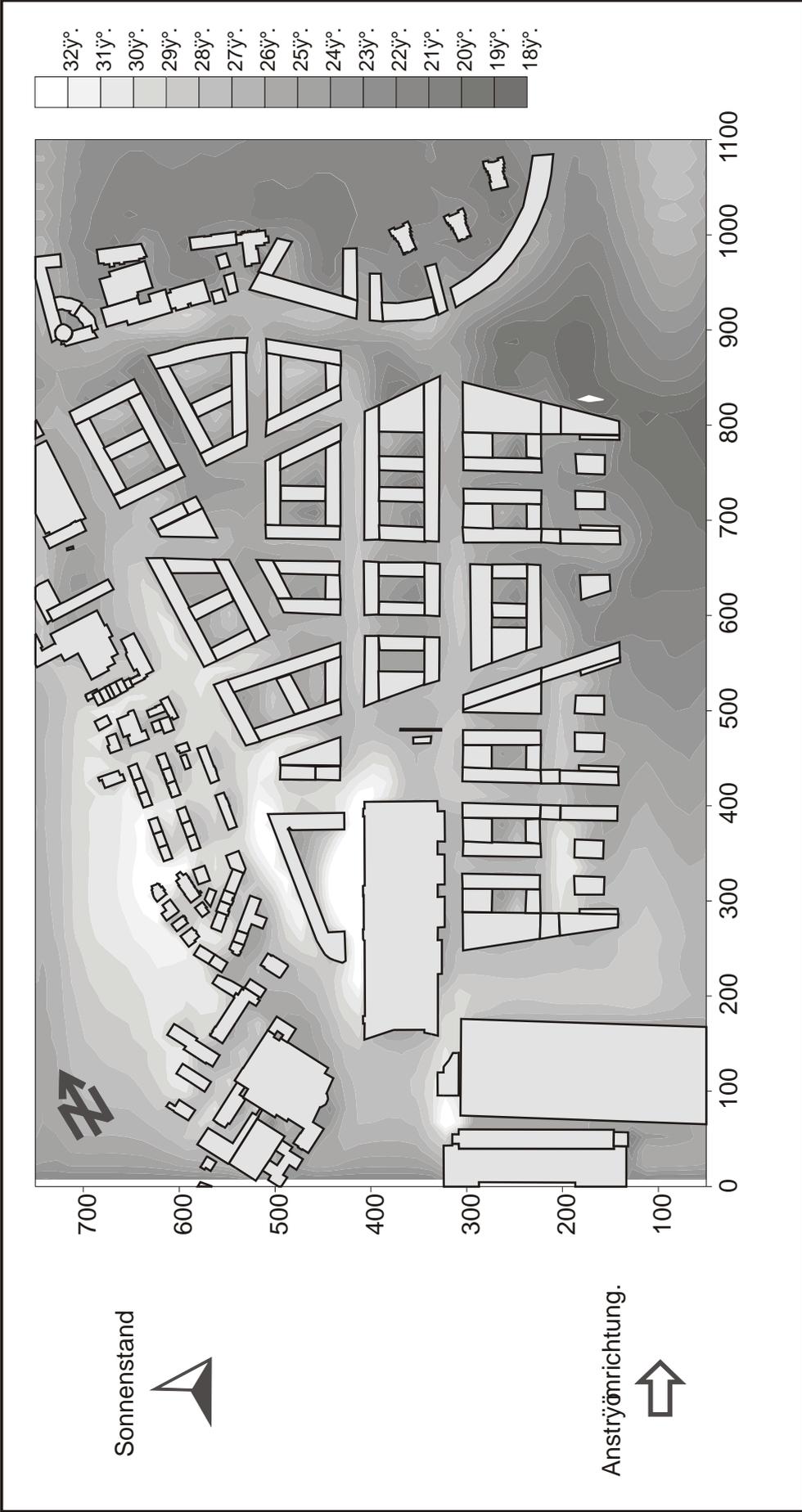


Abb. 7.16: Entwurf Trojan: Lufttemperatur in 1.5 m über Grund (Tag)



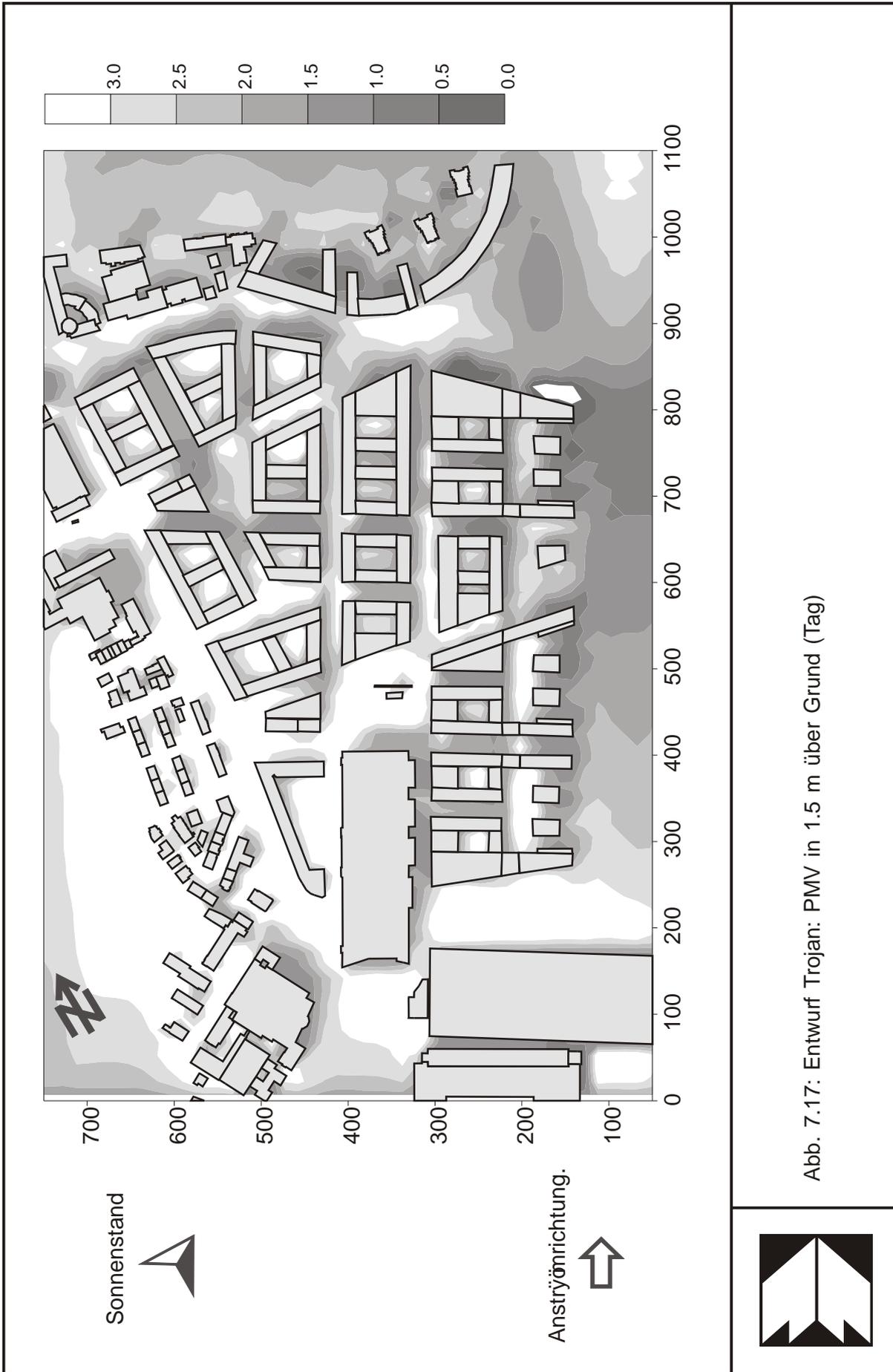


Abb. 7.17: Entwurf Trojan: PMV in 1.5 m über Grund (Tag)



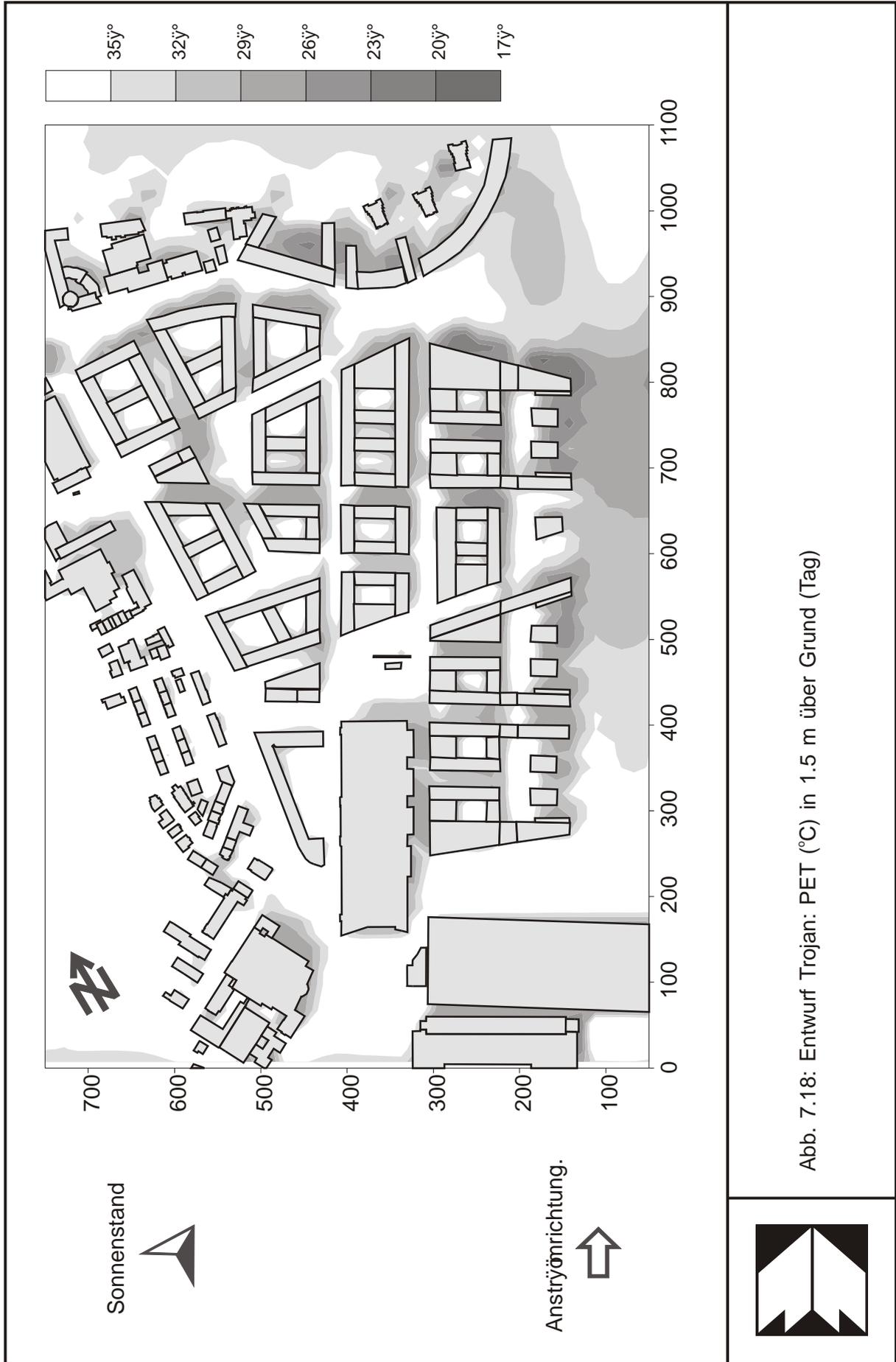
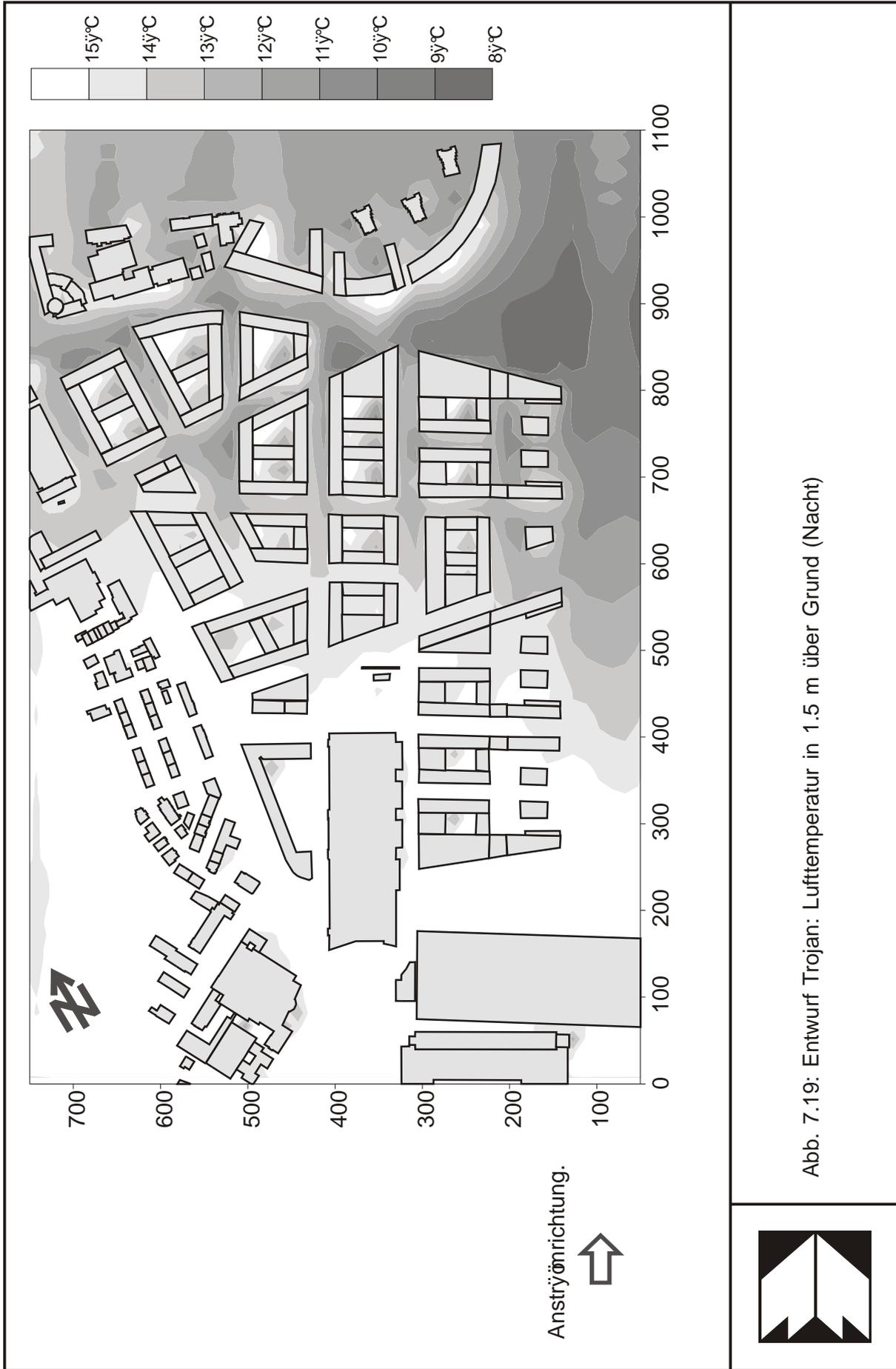


Abb. 7.18: Entwurf Trojan: PET (°C) in 1.5 m über Grund (Tag)



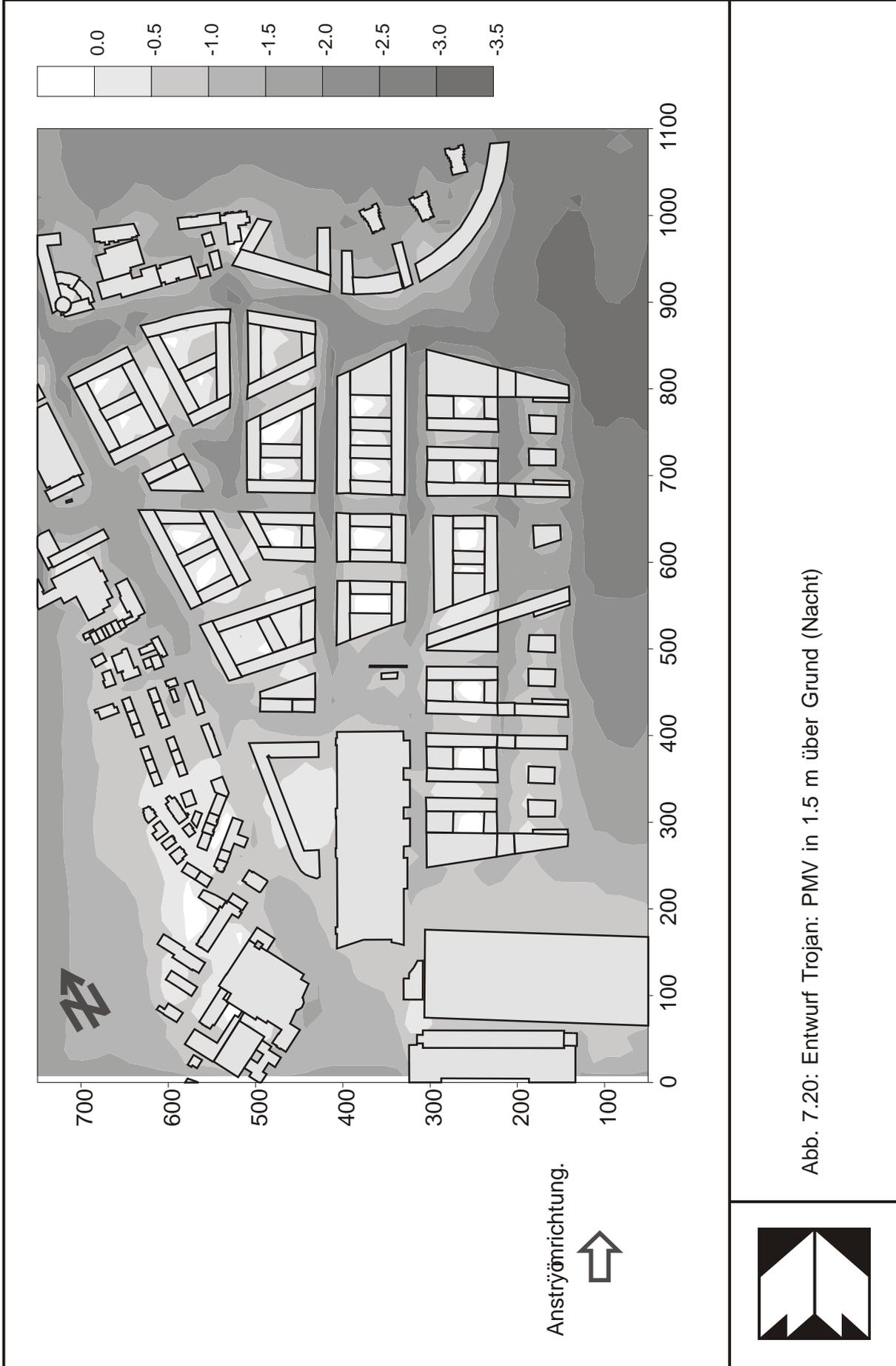


Abb. 7.20: Entwurf Trojan: PMV in 1.5 m über Grund (Nacht)



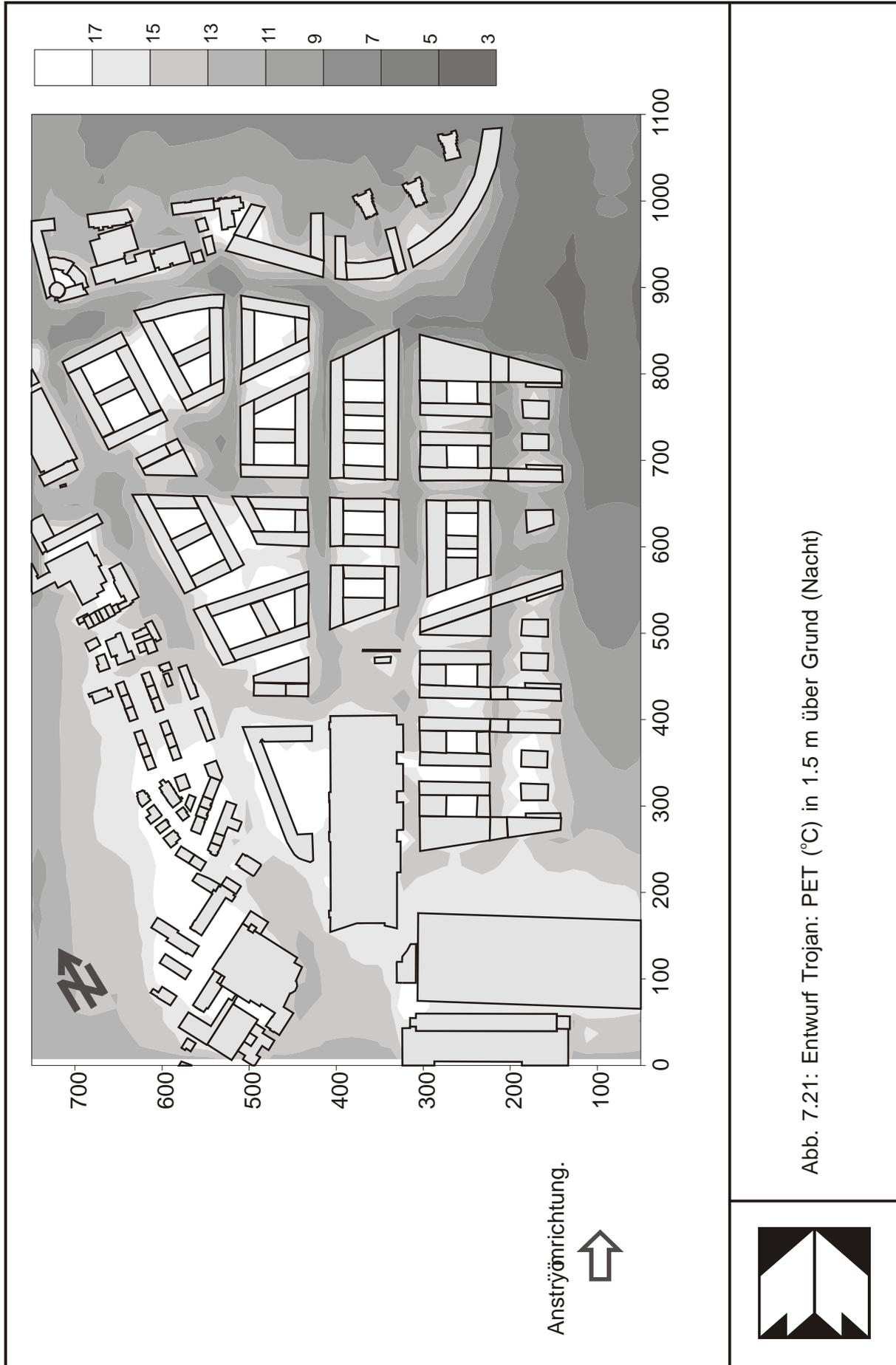


Abb. 7.21: Entwurf Trojan: PET (°C) in 1.5 m über Grund (Nacht)



8 BESCHATTUNGSVERHÄLTNISSE

In Wohngebieten trägt eine mögliche Besonnung der Fenster, Balkone, Hofbereiche etc. zum Wohlbefinden der Bewohner bei. Dementsprechend ist im Zuge der Planung eine Betrachtung der Besonnungs- und Beschattungsverhältnisse vorteilhaft. Für die Berechnung und graphische Darstellung der Beschattungsverhältnisse ist eine feine Auflösung der Gebäude nach Lage und Höhe sowie eine Ausrichtung nach Süden notwendig. In Ergänzung zu den in Kap. 7 beschriebenen bioklimatischen Verhältnissen werden die Beschattungsverhältnisse mit dem dafür konzipierten Berechnungsprogramm SHADOW (Bruse, 1995) simuliert und sowohl einer flächenhaften als auch punktuellen Analyse unterzogen.

8.1 Gebäudedarstellung für die Beschattungssimulation

Die Grundrisse der Gebäude des Istzustandes und der zwei betrachteten Varianten sind in den Abbildungen **Abb. 8.1** bis **Abb. 8.3** aufgezeigt. Die Abbildungen enthalten die Umrisse der Gebäude als Linien und die Überführung in das 4 m x 4 m-Raster, das der Beschattungsberechnung zugrundeliegt. Zudem sind bei jeder Variante die fünf Punkte gekennzeichnet, an denen Horizontogramme erstellt werden. Das Raster beinhaltet auch die Geländehöhe, die aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Abbildungen nicht dargestellt sind.

8.2 Beurteilungskriterien

Es gibt in Deutschland keine gesetzlichen Grundlagen über die Anforderungen an die Minimalbesonnung von Wohnungen. Grandjean et al. (1973) gibt jedoch eine Zusammenstellung von Beurteilungsmöglichkeiten. Vorschriften über die Auswahl der Zeitpunkte, zu denen die Beschattungsverhältnisse darzustellen sind, existieren nicht. Aus den Angaben der Beurteilungsmöglichkeiten wurden zusammen mit dem Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart geeignete Termine abgeleitet und für diese Untersuchung festgelegt.

Eine Auswahl der Beurteilungsmöglichkeiten der Minimalbesonnung ist in **Tab. 8.1** sinngemäß wiedergegeben und durch die DIN 5034 ergänzt.

Alle diese in **Tab. 8.1** genannten Kriterien beziehen sich auf die minimal erforderliche astronomisch mögliche Sonnenscheindauer, das heißt auf die Sonnenscheindauer, die ohne jegliche Bewölkung vorherrschen würde.

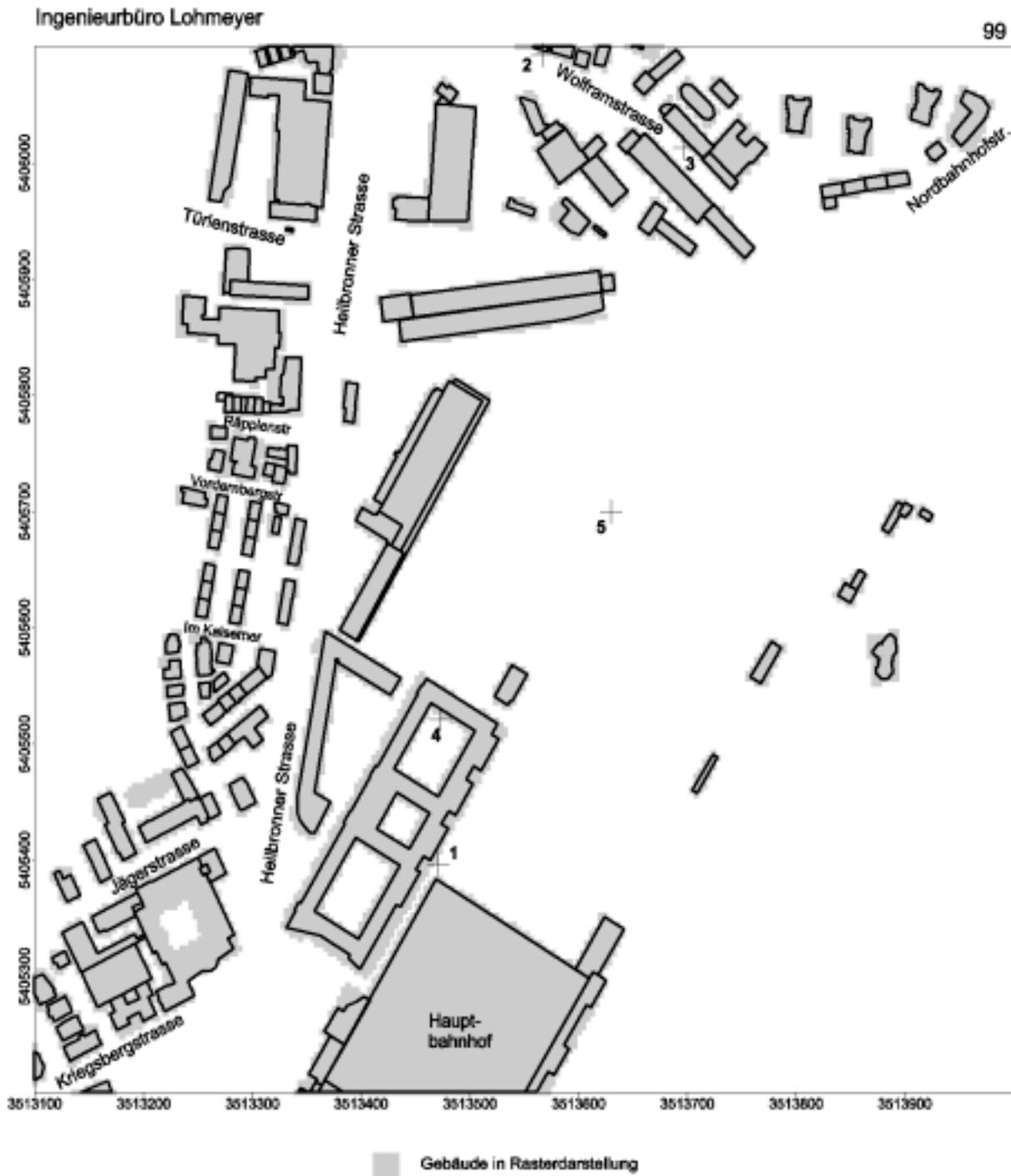


Abb. 8.1: Gebäude im Istzustand
Umrissdarstellung und Rasterdarstellung als Grundlage
für die Beschattungsberechnung, Kennzeichnung der
Orte für die Horizontogramme

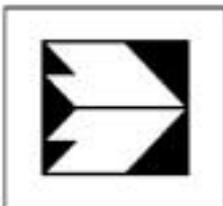


Abb. 8.2: Gebäude im Entwurf Jodry
 Umrissdarstellung und Rasterdarstellung als Grundlage
 für die Beschattungsberechnung, Kennzeichnung der
 Orte für die Horizontogramme

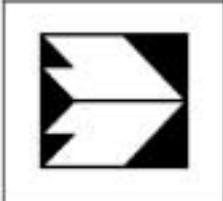
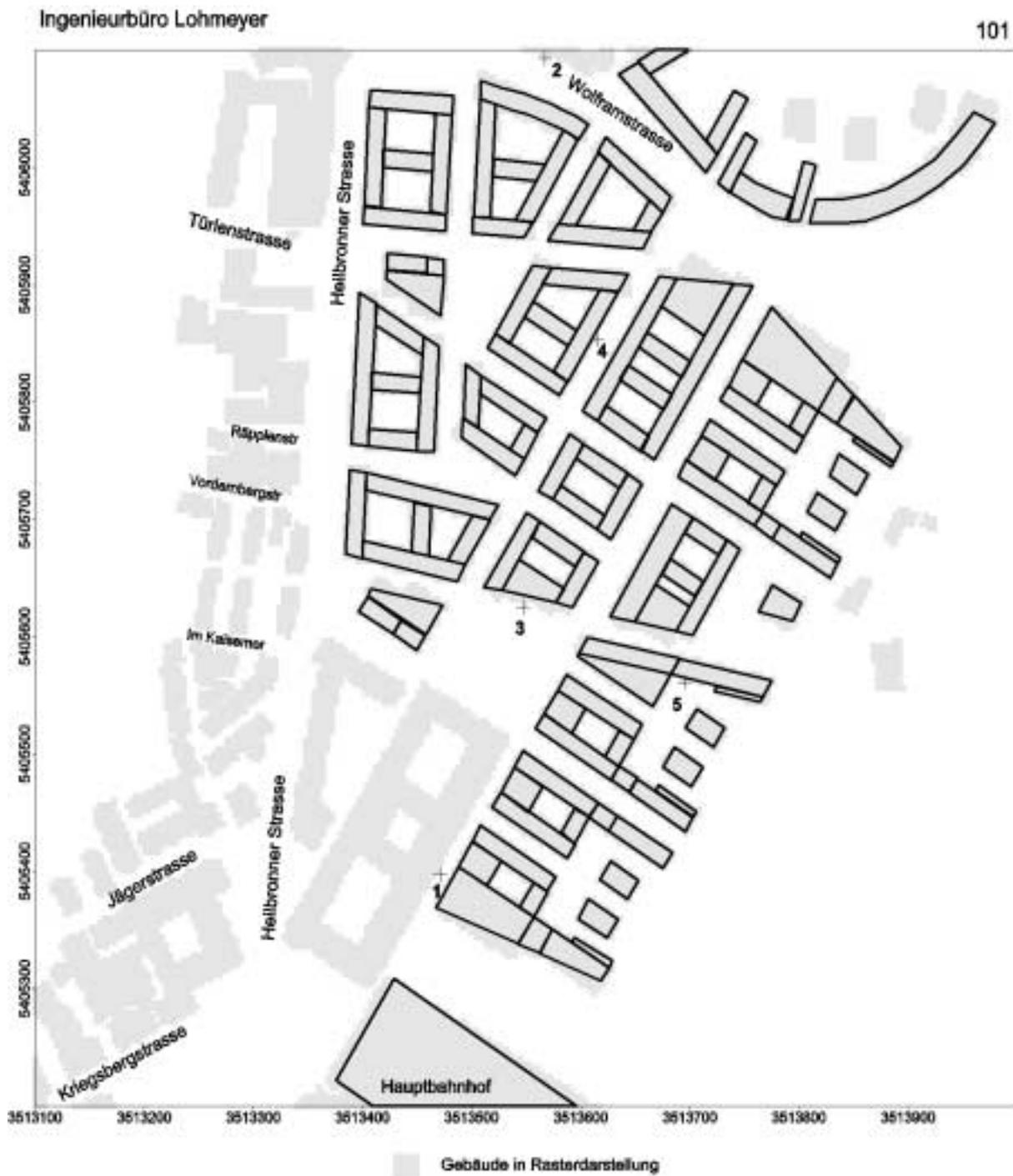


Abb. 8.3: Gebäude im Entwurf Trojan
Umrissdarstellung und Rasterdarstellung als Grundlage
für die Beschattungsberechnung, Kennzeichnung der
Orte für die Horizontogramme

Quelle	Minimal erforderliche mögliche Sonnenscheindauer
Berliner Baubehörde	3 h täglich während 8 Monaten
Beschluß des 4. Kongresses C.I.A.M. (Congress international d'Architecture Moderne)	2 h im Winter
Taschenbuch der Hygiene	2 h am 21. Februar mit Höhenwinkel von mindestens 16°
Grandjean	Festlegung des 08.02. als zu betrachtender mittlerer Wintertag
DIN 5034	4 h am 21.03. und 23.09. in Fenstermitte

Tab. 8.1: Kriterien für die für Fensterflächen von Wohnungen mindestens zu fordernde mögliche Sonnenscheindauer nach Grandjean et al. (1973) beziehungsweise DIN 5034

Für die flächenhafte Darstellung der Beschattung wird die Mittagstunde 12.00 Uhr am 21.03. bzw. 23.09. gewählt. Damit wird die Beschattung im Frühjahr und Herbst aufgezeigt. In Stuttgart ist der Sonnenstand zu diesem Termin mit einem Winkel von ca. 41 Grad über dem Horizont angegeben. In den Monaten zwischen dem 21.03. und dem 23.09. steht die Sonne höher, so daß der Schattenwurf der Gebäude kürzer wird.

Der zweite Termin wird mit der Mittagstunde 12.00 Uhr am 08.02. festgelegt. Nach Grandjean (1973) hat sich der 8. Februar als Stichtag für einen mittleren Wintertag in der Praxis eingebürgert. Zu diesem Zeitpunkt steht die Sonne in einem Winkel von ca. 26 Grad über dem Horizont.

8.3 Berechnungsverfahren

Die Untersuchung der Verschattung durch Gebäude und Orographie erfolgte mit Hilfe des Programms SHADOW (Bruse, 1995).

Das Modell verwendet zur Darstellung des Modellraumes ein Rechengitter äquidistanter Gitterweite. Der Verlauf der Schattengrenzen wird aus einer geometrischen Analyse aller relevanten Objekte im Untersuchungsgebiet bestimmt.

Das Programm ermöglicht es sowohl flächenhafte Darstellungen des Schattenwurfs zu bestimmten Terminen als auch punktgenaue Aussagen über die Beschattung während eines Jahres zu erstellen.

Für die Berechnung der Verschattung müssen folgende Eingangsparameter bekannt sein:

- 1) Orographie (Höhenverhältnisse des Geländes)
- 2) Lage und Höhe der Bebauung
- 3) Lage von Bewuchs

Der Bewuchs wurde bei der Berechnung der Beschattung aufgrund der noch nicht feststehenden konkreten Landschaftsplanung nicht berücksichtigt. Anhand dieses Gutachtens können jedoch Hinweise auf günstige Bepflanzungsorte gewonnen werden.

Für die Modellrechnungen wurde ein Rechengitter mit einem Gitterpunktabstand von 4 Metern erstellt. Damit kann das gesamte Plangebiet in einer Abbildung dargestellt werden. Die in dieses Gitter einzufügenden Gebäude wurden programmintern der Rechenauflösung des Modells angepaßt und in das Modellgitter eingesetzt. Somit sind die Gebäudekanten im Modell keine Geraden, sondern entsprechend der gewählten Gitterauflösung stufenförmige Linienzüge. Höhenstufen werden auch als stufenförmige Linienzüge interpretiert.

Die flächenhafte Berechnung ergibt die Darstellung des Schattenwurfs zu einem ausgewählten Termin und in einer ausgewählter Höhe über Grund. In dieser Untersuchung wird der Schattenwurf auf den Boden bzw. auf die Gebäudedächer untersucht und dargestellt.

Die punktförmige Berechnung ergibt eine Darstellung der Horizontüberhöhung an einem ausgewählten Punkt. Diese sog. Horizontogramme zeigen, zu welcher Zeit und bei welchem Sonnenstand der Punkt durch umliegende Gebäude oder Erhebungen beschattet wird.

8.4 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse der Beschattungsrechnung erfolgt flächenhaft für ausgewählte Termine und an ausgewählten Stunden im Jahresverlauf. An speziell festgelegten Punkten werden Horizontogramme erstellt, an denen die Dauer der Verschattung im Tages- und Jahresverlauf abgelesen werden kann.

8.4.1 Flächenhafte Ergebnisdarstellung

Die flächenhafte Darstellung der Verschattung zu einem ausgewählten Termin zeigt die Beeinflussung der Besonnung durch Gebäude. Die Einflüsse der Gebäudehöhen sind gegenüber denen der Gebäude in dem zu betrachtenden Untersuchungsgebiet gering. Dafür sind die Tage der Tag- und Nachtgleichen gewählt, also der 21.03. und 23.09. **Abb. 8.4** zeigt die Beschattungsverhältnisse im **Istzustand** um 12.00 Uhr an den Tag- und Nachtgleichen. Der

gesamte Gleisbereich weist aufgrund fehlender Gebäude uneingeschränkte Sonneneinstrahlung auf. Im Nahbereich der hohen Gebäude, wie z.B. zwischen dem Hauptbahnhof und der Heilbronner Straße, westlich der Heilbronner Straße und nördlich der Wolframstraße sind ausgeprägte Verschattungszonen zu erkennen. Abseits bestehender Gebäude zu erkennende Schattenwürfe sind durch die gerasterten Geländehöhen bedingt und von untergeordneter Bedeutung.

Im Februar ist der Sonnenstand zur Mittagstunde deutlich niedriger, so daß größere Verschattungszonen durch die bestehenden Gebäude entstehen (**Abb. 8.5**). Die Innenhofbereiche der Gebäude nördlich des Hauptbahnhofs und westlich der Heilbronner Straße erhalten dann keine direkte Sonneneinstrahlung.

Die massive Bebauung beim Entwurf **Jodry** führt dazu, daß an den Gebäuden intensive Verschattungszonen entstehen. Die Innenhofbereiche und die Sockelgeschosse werden zur Mittagszeit an den Tag-Nachtgleichen größtenteils im Schatten liegen (**Abb. 8.6**). Zu anderen Tageszeiten ist aufgrund der dichten und hohen Bebauung in den Innenhöfen und auf den Sockelgeschossen keine direkte Sonneneinstrahlung zu erwarten. Nur im Norden weist der Entwurf Jodry zwei ausgedehnte Innenhofbereiche auf, die zu diesen Terminen direkte Sonneneinstrahlung aufweisen. Der Abstand der geplanten Bebauung von der nördlich gelegenen Wolframstraße ist so groß, daß die bestehenden Gebäude nördlich der Wolframstraße nicht beschattet werden. Das geplante Hochhaus westlich des Bahnhofs wird zur Verschattung der nördlich anschließenden Gebäude führen.

Im Winter ist eine deutliche Vergrößerung der gebäudebedingten Verschattungsbereiche zu erwarten. Das ist in **Abb. 8.7** auf den ersten Blick zu sehen. Nahezu alle Innenhofbereiche und Straßenzüge sind zur Mittagstunde beschattet. Durch die Anordnung der unterschiedlich hohen Gebäude werden etliche Gebäudedachflächen im Schatten liegen. Dies ist insbesondere im zentralen Bereich der geplanten Bebauung beim Entwurf Jodry zu erkennen. An der Wolframstraße werden auch im Winter die bestehenden Gebäude während der Mittagstunde nicht wesentlich durch die geplanten Gebäude beschattet. Das geplante Hochhaus westlich des Hauptbahnhofs wirft im Winter einen langen Schatten, der auch die nördlich gelegenen Gebäude betrifft.

Die relativ große Höhe der Blockrandbebauung beim Entwurf **Trojan** führt zu einer intensiven Verschattung im ebenerdigen Bereich. Das betrifft sowohl die Innenhöfe als auch die Straßenräume. **Abb. 8.8** zeigt die Verschattungszonen um 12.00 Uhr an den Tag- und Nachtgleichen. Obwohl die Innenhöfe teilweise bedeutende Flächenausdehnungen aufwei-

sen, sind sie im Frühjahr und Herbst zur Mittagszeit größtenteils verschattet. In den Innenhöfen ist zu anderen Tageszeiten keine reduzierte Verschattung zu erwarten. In dem überplanten Bereich weisen insgesamt 4 größere Freiflächen eine geringe Verschattung auf. Entlang der Wolframstraße wird ein relativ breiter Bereich freigehalten, so daß die Bebauung nördlich der Wolframstraße nicht in die Verschattungszone der geplanten Bebauung fällt.

Im Winter werden die Innenhöfe und Straßenräume um 12.00 Uhr weitgehend verschattet sein (**Abb. 8.9**). Nur die nordsüdorientierten Straßenzüge und die vier ausgedehnten Freiflächen weisen Bereiche ohne Beschattung auf. In den Innenhöfen ist im Winter in Bodennähe aufgrund der hohen Randgebäude keine direkte Sonneneinstrahlung zu erwarten. Nachdem die Straßenzüge weitgehend gradlinig verlaufen, wird mindestens einmal pro Tag eine direkte Sonneneinstrahlung möglich sein. Im Winter wird die Wolframstraße zur Mittagszeit nahezu verschattet. Das betrifft teilweise auch die nördlich an der Wolframstraße gelegenen Gebäude.

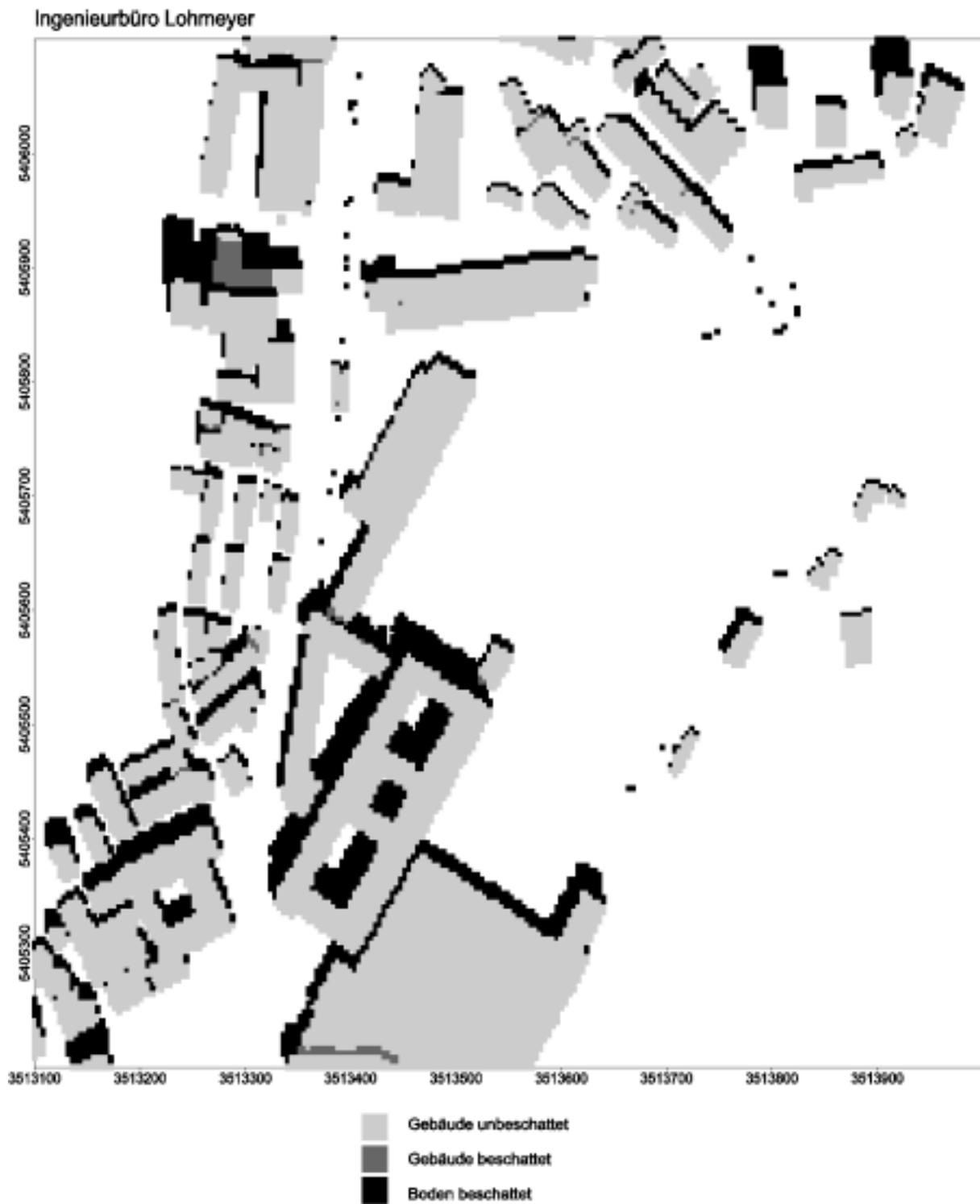


Abb. 8.4: Beschattung im Frühjahr am 21.03. und im Herbst am 23.09. um 12 Uhr im Istzustand



Abb. 8.5: Beschattung im Winter am 08.02 um 12 Uhr im Istzustand



Abb. 8.6: Beschattung im Frühjahr am 21.3. und im Herbst am 23.09.um 12 Uhr beim Entwurf Jodry



Abb. 8.7: Beschattung im Winter am 08.02. um 12 Uhr beim Entwurf Jodry



Abb. 8.8: Beschattung im Frühjahr am 21.3. und im Herbst am 23.09.um 12 Uhr beim Entwurf Trojan



Abb. 8.9: Beschattung im Winter am 08.02. um 12 Uhr beim Entwurf Trojan

8.4.2 Punktuelle Ergebnisdarstellung - Horizontogramme

An jeweils 5 ausgewählten Punkten jeder Variante wird ein Horizontogramm erstellt. Darunter ist die Horizontlinie zu verstehen, die ein Beobachter sieht bzw. sehen kann, der an genau diesem Punkt steht und sich einmal um die vertikale Achse dreht. Je nach Höhe des Geländes und dessen Abstand zum Beobachter zeigt sich eine unterschiedliche Auswirkung auf die Horizontlinie. In den Horizontogrammen sind konzentrische Kreise eingetragen, die Winkelgradbezeichnungen von 0° bis 90° aufweisen. Damit wird beschrieben, daß der Beobachter in einem Winkel zur Erdoberfläche nach oben schaut. Bei 0° ist der Blick geradeaus, d.h. parallel zur Erdoberfläche gerichtet, bei 90° schaut er senkrecht nach oben. Desweiteren sind drei Sonnenbahnen in die Horizontogramme eingezeichnet. Diese Linien zeigen den Sonnenstand über dem Horizont an ausgewählten Tagen. Im Winter weist der 21.12. den niedrigsten Sonnenstand und im Sommer der 21.06. den höchsten Sonnenstand auf. Am östlichen Ende dieser Sonnenbahnen sind die Uhrzeiten des Sonnenaufgangs vermerkt. Schneidet nun eine dieser Sonnenbahnen die Horizontlinie, bedeutet das ab diesem Zeitpunkt eine Verschattung des Standortes des Beobachters bis zum Austritt der Sonnenbahn aus der Horizontlinie.

Die 5 Punkte sind größtenteils so gewählt, daß sie auf der Erdoberfläche nahe bestehender bzw. geplanter Gebäude gelegen sind. Damit werden die Hofbereiche und die Zugangsbereiche der Gebäude erfaßt, die als potentielle Aufenthaltsorte im Freien der Bewohner zu erwarten sind.

Abb. 8.10 zeigt das Horizontogramm am Punkt 1 im Istzustand (siehe auch **Abb. 8.1**). In nordöstlicher bis östlicher Richtung wird das Sichtfeld nicht durch Gebäude bzw. Höhenzüge innerhalb des definierten Untersuchungsgebietes beeinflusst. In südöstlicher bis südlicher Blickrichtung schränkt das Bahnhofsgebäude die Sicht ein. Von südwestlicher Richtung über westliche bis nördliche Blickrichtung wird das Sichtfeld durch das langgestreckte und hohe Bankengebäude, das im Norden des Bahnhofs gelegen ist, eingeschränkt. Im Sommer wird der Standpunkt (Punkt 1) ab den Nachmittagsstunden durch dieses langgestreckte Gebäude verschattet. Im März und September wird der Standort ab ca. 10.00 Uhr bis ca. 14.00 Uhr durch das Bahnhofsgelände verschattet. Ab ca. 15.00 Uhr beginnt dann die Verschattung durch das langgestreckte Gebäude. Im Winter erhält dieser Punkt keine direkte Sonneneinstrahlung.

Der Punkt 2 (**Abb. 8.11** und **Abb. 8.1**) nördlich der Wolframstraße zeigt, daß die südlichen Richtungen ein weitgehend uneingeschränktes Sichtfeld bieten. Die Bebauung im Bahn-

hofsgelände ist nicht so hoch, daß der Horizont von dem etwas höher gelegenen Standort eingeschränkt wird. Vom Frühjahr bis zum Herbst weist der Standort 2 in den frühen Morgenstunden Verschattung auf. Während der anderen Zeiten ist eine direkte Sonneneinstrahlung möglich.

Der Punkt 3 (**Abb. 8.12** und **Abb. 8.1**) ist in einem Bereich der Wolframstraße mit beidseitiger Randbebauung gelegen. Damit ist eine Einschränkung des Sichtfeldes in nördlicher bis östlicher Richtung sowie südlicher bis westlicher Richtung gegeben. Vom Frühjahr bis Herbst bedeutet das eine Verschattung in den frühen Morgenstunden durch die nordwestlich vom Standpunkt gelegene Bebauung. Die südlich von dem Punkt 3 gelegene Bebauung führt im Frühjahr und Herbst zu Verschattungen in den Spätnachmittagstunden. Im Winter ist nahezu keine direkte Sonneneinstrahlung gegeben.

Der Punkt 4 (**Abb. 8.13** und **Abb. 8.1**) ist am nördlichen Rand des Innenhofs des massiven Bankengebäudes gelegen. Das Horizontogramm zeigt eine intensive Einschränkung des Sichtfeldes. Im Sommer ist ca. 6 Stunden pro Tag eine direkte Besonnung gegeben, vom Herbst bis zum Frühjahr nur weniger als 3 Stunden pro Tag. Von November bis Februar ist keine direkte Sonneneinstrahlung im Innenhof möglich.

Der Punkt 5 (**Abb. 8.14** und **Abb. 8.1**) wurde direkt auf die Gleisanlagen gelegt und zeigt keine wesentliche Beeinträchtigung des Sichtfeldes und der Sonneneinstrahlung.

Entwurf Jodry

Für die Dokumentation der Verschattung durch die Umgestaltung des Untersuchungsgebietes werden Punkt 1 und Punkt 2 bei den Entwürfen an dieselbe Stelle im Nahbereich bestehender Gebäude gesetzt, wie im Istzustand.

Am Punkt 1 entfällt die Halle des Hauptbahnhofs. Das Horizontogramm (**Abb. 8.15** und **Abb. 8.2**) zeigt demnach in südlicher Richtung nur eine geringe Einschränkung des Sichtfeldes. In östlicher Richtung führt ein geplantes Gebäude in den Morgenstunden vom Herbst bis zum Frühjahr zur Verschattung. Dafür ist ganzjährig zur Mittagszeit eine Besonnung dieses Punktes möglich. Ab dem Nachmittag führt das bestehende Gebäude, wie beim Istzustand, ganzjährig zur Verschattung.

Am Punkt 2 (**Abb. 8.16** und **Abb. 8.2**) zeigen sich bis auf den Monat Dezember die selben Besonnungsverhältnisse, wie im Istzustand. Die geplante massive Bebauung südlich der Wolframstraße wird nur im Dezember zur Verschattung am Punkt 2 führen. Im Dezember ist dann am Punkt 2 nahezu keine direkte Sonneneinstrahlung möglich.

Der Punkt 3 (**Abb. 8.17** und **Abb. 8.2**) beim Entwurf Jodry wurde so gewählt, daß er am südlichen Rand der geplanten Bebauung und im Einfluß des bestehenden massiven Bankengebäudes nördlich des Bahnhofs gelegen ist. Das Horizontogramm zeigt eine intensive Einschränkung des Sichtfeldes. Im Winter ist keine direkte Sonneneinstrahlung am Punkt 3 gegeben. Im Frühjahr und Herbst ist am Morgen eine Besonnung für ca. 1 Stunde möglich. Die Besonnung dehnt sich im Sommer auf ca. 4 Stunden am Morgen aus. Im Hochsommer ist am Abend noch eine Besonnung möglich. Außer den genannten Zeiten liegt der Punkt 3 fortwährend im Schatten bestehender und geplanter Gebäude. Sollte in diesem Gebäude Wohnnutzung vorgesehen sein, ist eine Vergrößerung des Abstandes zu bestehender Bebauung in Erwägung zu ziehen.

Der Punkt 4 im Entwurf Jodry liegt in der Mitte der geplanten Bebauung (**Abb. 8.18** und **Abb. 8.2**). Die Sichtverhältnisse werden durch die massive und hohe Bebauung bestimmt. Außer im Sommer sind größtenteils nur in weniger als 2 Stunden pro Tag direkte Sonneneinstrahlungsverhältnisse gegeben. Selbst im Sommer ist die Sonneneinstrahlung auf weniger als 5 Stunden pro Tag beschränkt. Damit werden der Straßenraum und die bodennahe Gebäudedefassade weitgehend im Schatten liegen.

Der Punkt 5 im Entwurf Jodry ist in der Nähe des Schloßgartens gelegen (**Abb. 8.19** und **Abb. 8.2**). Die Sichtverhältnisse werden durch die westlich bis nördlich anschließende massive Bebauung und einen südöstlich gelegenen Baukomplex geprägt. Damit ist im Winter eine nahezu gantztägige Verschattung verbunden. Im Frühjahr und Herbst weist der Punkt 5 weniger als 4 Stunden mögliche direkte Sonneneinstrahlung pro Tag während der Mittagstunden auf. Im Sommer sind vom Vormittag bis zum frühen Nachmittag direkte Besonnungsverhältnisse gegeben.

Entwurf Trojan

Für die Dokumentation der Verschattung durch die Umgestaltung des Untersuchungsgebietes werden Punkt 1 und Punkt 2 bei den Entwürfen an dieselbe Stelle im Nahbereich bestehender Gebäude gesetzt, wie im Istzustand und beim Entwurf Jodry.

Am Punkt 1 führen das bestehende westlich gelegene Gebäude und die geplanten Gebäude im Osten zu intensiver Verschattung. Das Horizontogramm (**Abb. 8.20** und **Abb. 8.3**) zeigt demnach nur in südlicher bis südwestlicher Richtung eine geringe Einschränkung des Sichtfeldes. In östlicher Richtung führen geplante Gebäude von den Morgenstunden bis zur Mittagszeit vom Herbst bis zum Frühjahr zur Verschattung. Dafür ist ganzjährig zur Mittagszeit für ca. 1 ½ Stunden eine Besonnung dieses Punktes möglich. Ab dem Nachmittag führt

das bestehende Gebäude, wie beim Istzustand, ganzjährig zur Verschattung. Die mögliche tägliche Sonnenscheindauer reicht am Punkt 1 von ca. 1 ½ Stunden im Winter bis etwas mehr als 2 Stunden im Sommer.

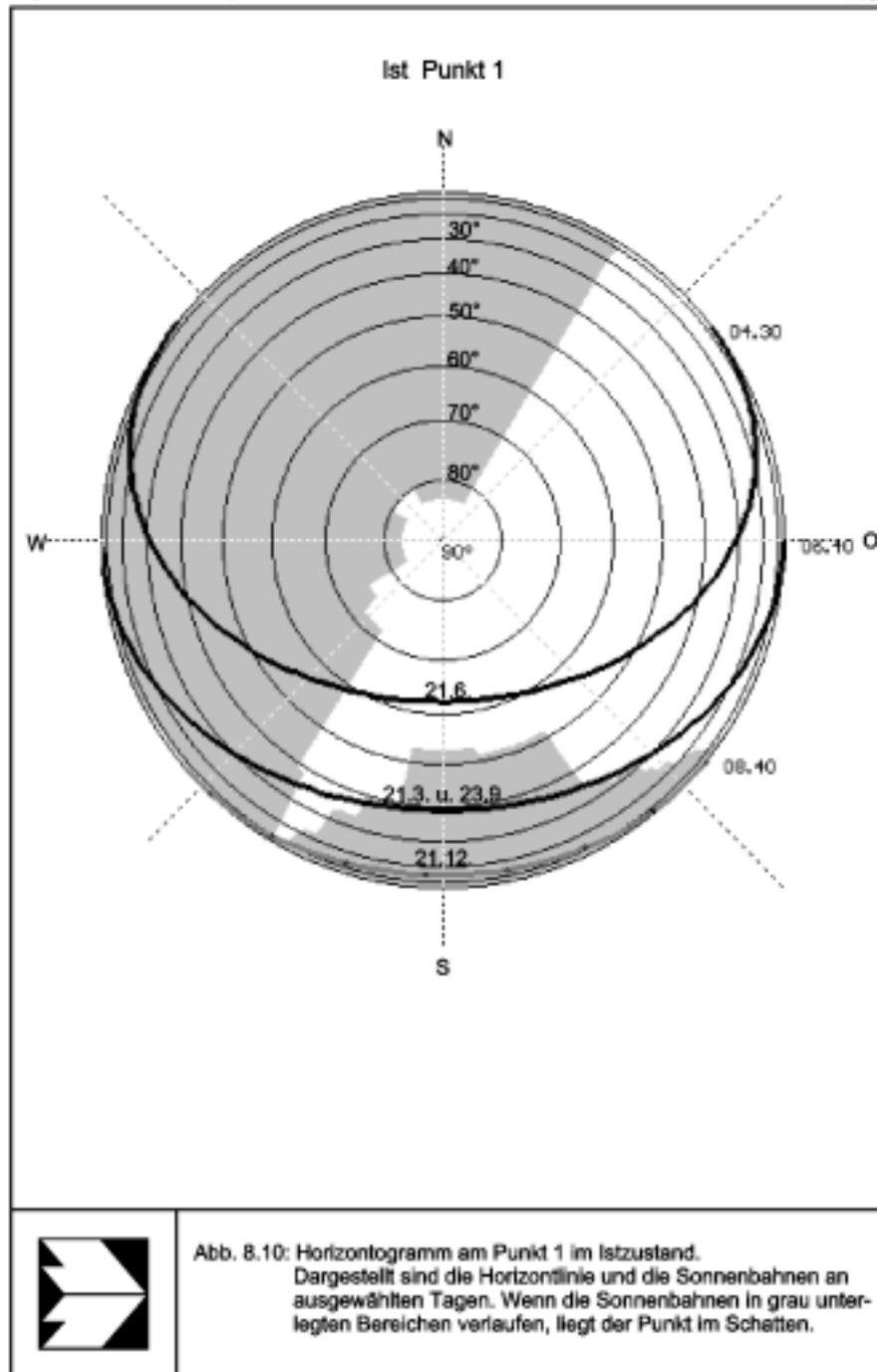
Am Punkt 2 (**Abb. 8.21** und **Abb. 8.3**) zeigen sich bis auf den Monat Dezember ähnliche Besonnungsverhältnisse, wie im Istzustand. Die geplante massive Bebauung südlich der Wolframstraße wird in den Wintermonaten zur Verschattung am Punkt 2 führen. In den Wintermonaten ist dann am Punkt 2 in Bodennähe nahezu keine direkte Sonneneinstrahlung möglich. Von Frühjahr bis Herbst ist nahezu eine uneingeschränkte Besonnung möglich.

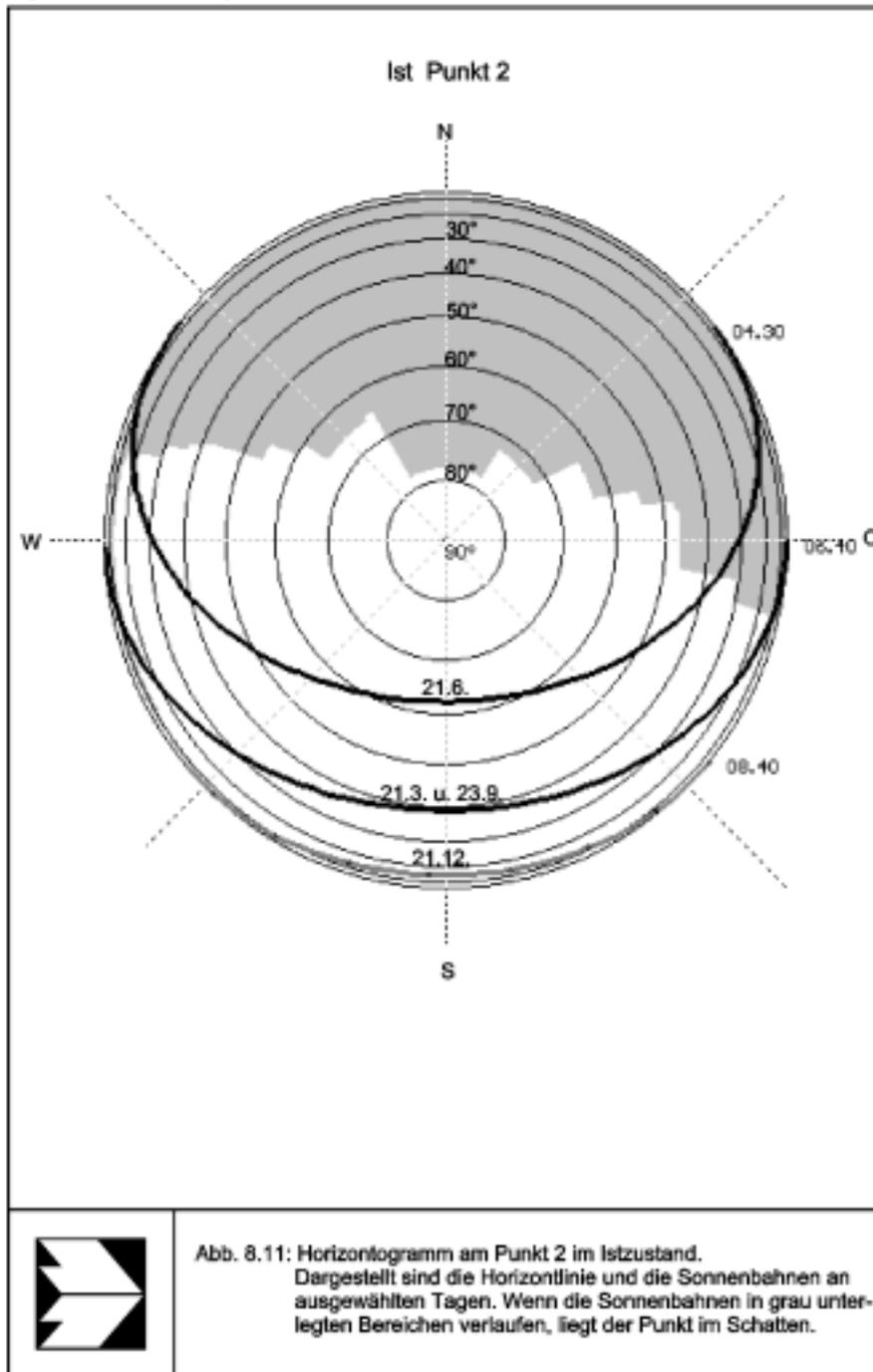
Der Punkt 3 (**Abb. 8.22** und **Abb. 8.3**) beim Entwurf Trojan wurde so gewählt, daß er am südlichen Rand der geplanten Bebauung und im Einfluß des bestehenden massiven Gebäudes nördlich des Bahnhofs gelegen ist. Damit befindet sich dieser Punkt am Rand einer geplanten innerstädtischen Freifläche. Das Horizontogramm zeigt eine nahezu uneingeschränkte Besonnung. Nur im Winter ist keine direkte Sonneneinstrahlung am Punkt 3 durch die südlich gelegenen Gebäude gegeben. Im Frühjahr und Herbst ist am frühen Morgen und am Abend eine Verschattung gegeben. Im Sommer ist die mögliche tägliche Besonnung nur in den frühen Morgenstunden eingeschränkt.

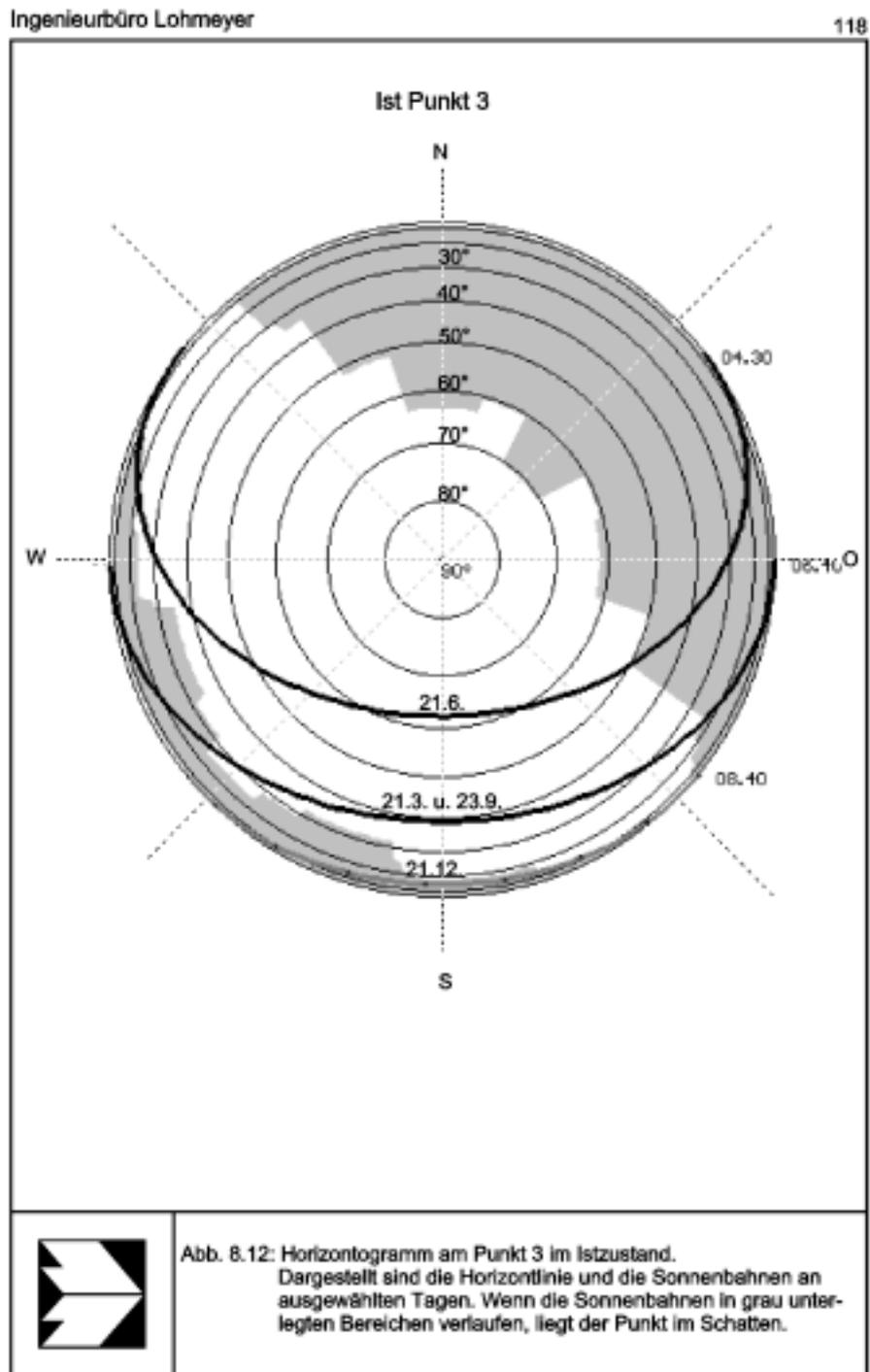
Der Punkt 4 im Entwurf Trojan liegt in der Mitte der geplanten Bebauung innerhalb eines Straßenraums (**Abb. 8.23** und **Abb. 8.3**). Aufgrund der von Südsüdwest nach Nordnordost orientierten Straße mit dichter Randbebauung werden die Sichtverhältnisse durch die massive und hohe Bebauung bestimmt. Außer im Sommer sind größtenteils nur in weniger als 2 Stunden pro Tag direkte Sonneneinstrahlungsverhältnisse gegeben. Selbst im Sommer ist die Sonneneinstrahlung auf weniger als 3 Stunden pro Tag während den Mittagsstunden beschränkt. Damit werden der Straßenraum und die bodennahe Gebäudefassade weitgehend im Schatten liegen. In den Tageszeiten der intensivsten möglichen Sonneneinstrahlung, den Mittagsstunden, ist eine Besonnung gegeben.

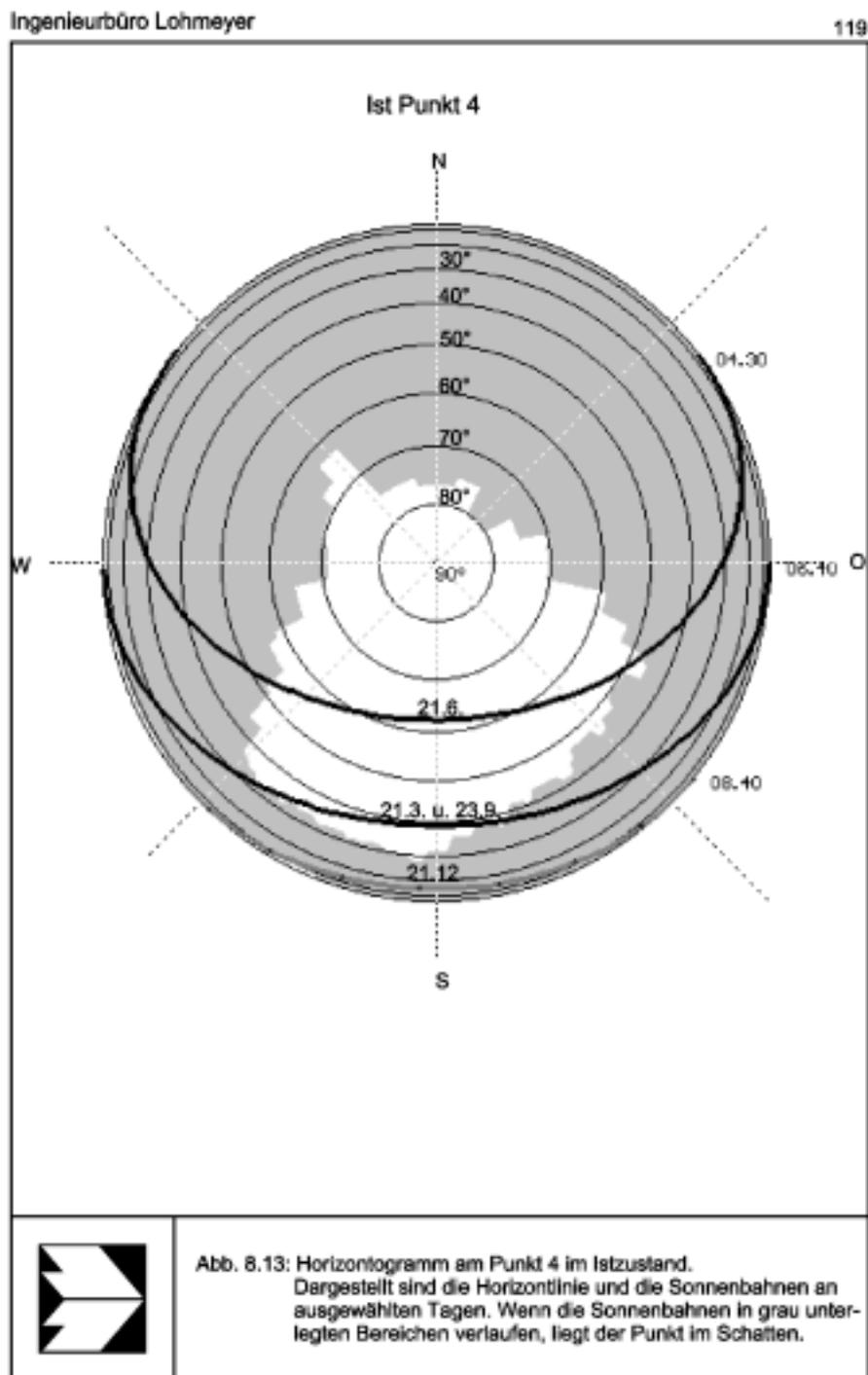
Der Punkt 5 im Entwurf Trojan ist in der Nähe des Schloßgartens gelegen (**Abb. 8.24** und **Abb. 8.3**). Er wurde so gewählt, daß er Wohnverhältnisse in der Nähe des Schloßgartens wiedergibt. Die Sichtverhältnisse werden durch die westlich bis nördlich anschließende massive Bebauung und einen südöstlich gelegenen hohen Baukomplex geprägt. Im Winter ist nur am Nachmittag für kurze Zeit eine direkte Besonnung möglich. Das südöstlich gelegene Gebäude führt bis zum Mittag zu einer Verschattung. In allen Monaten außer Dezember sind am frühen Vormittag und am Nachmittag direkte Besonnungsmöglichkeiten

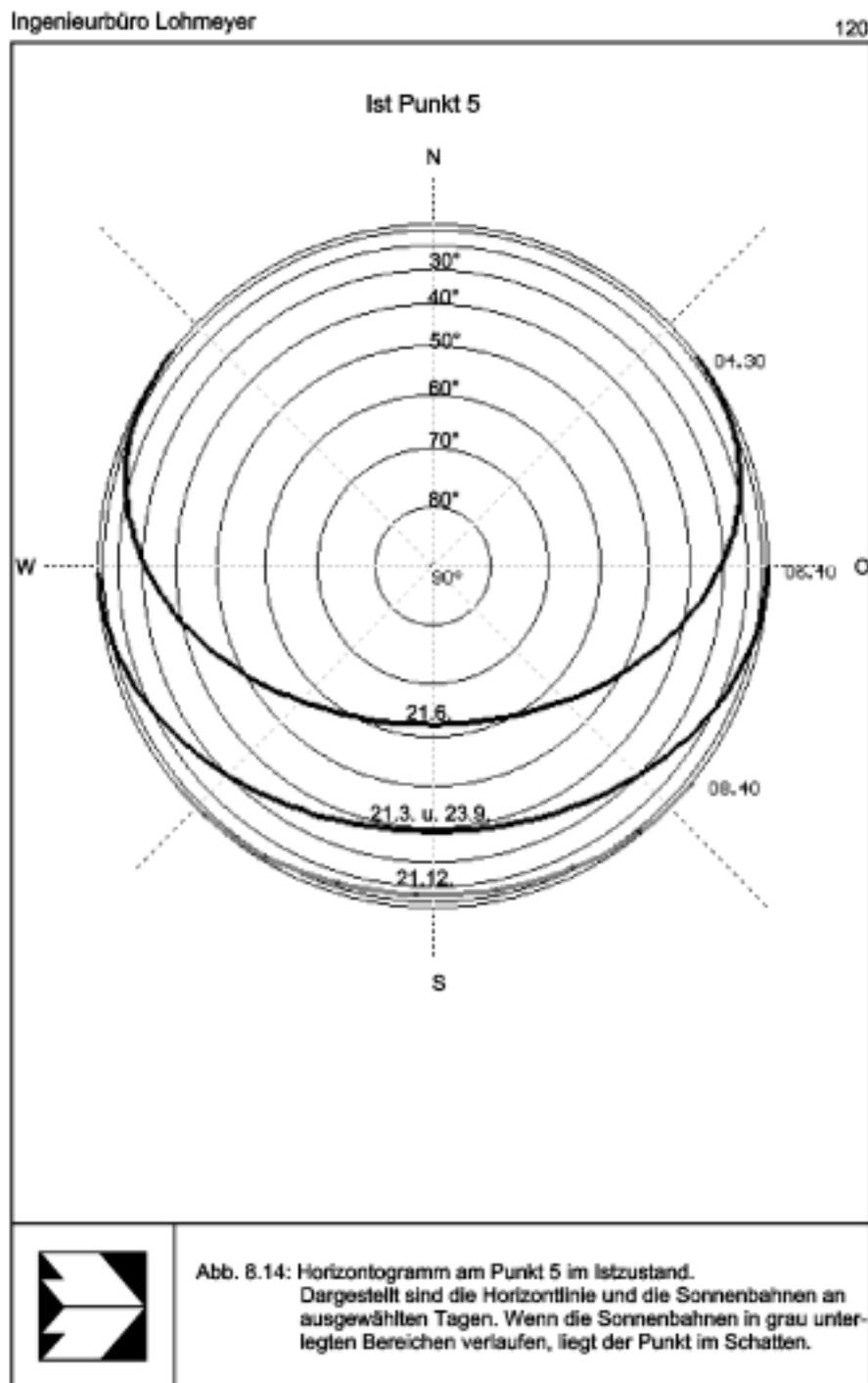
gegeben. Die mögliche tägliche Sonnenscheindauer beträgt zusammen ca. 3 Stunden pro Tag. Im Hochsommer führt das südöstlich gelegene hohe Gebäude nicht zur Verschattung, so daß ca. 6 Stunden mögliche Sonnenscheindauer zu erwarten ist.

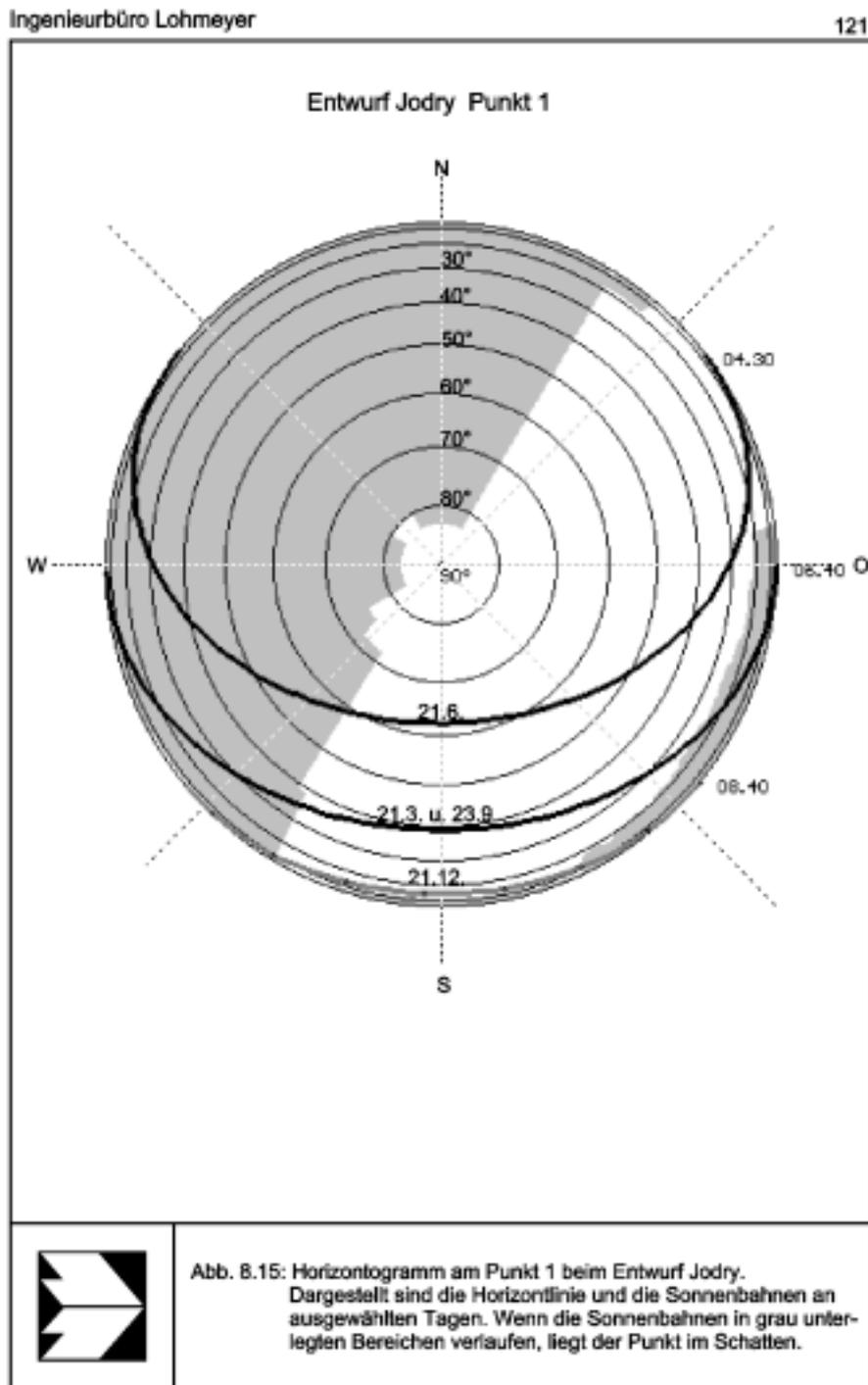


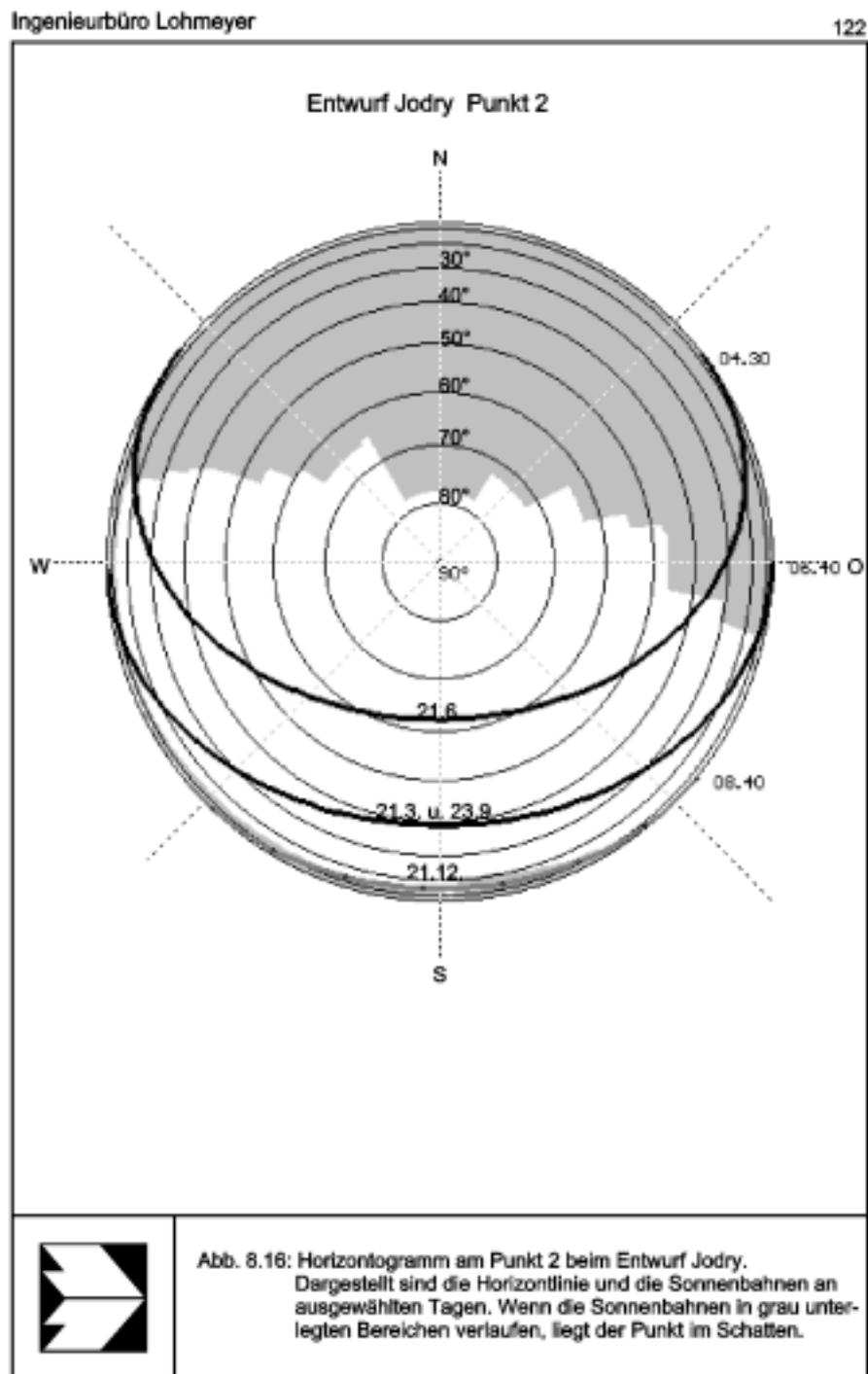


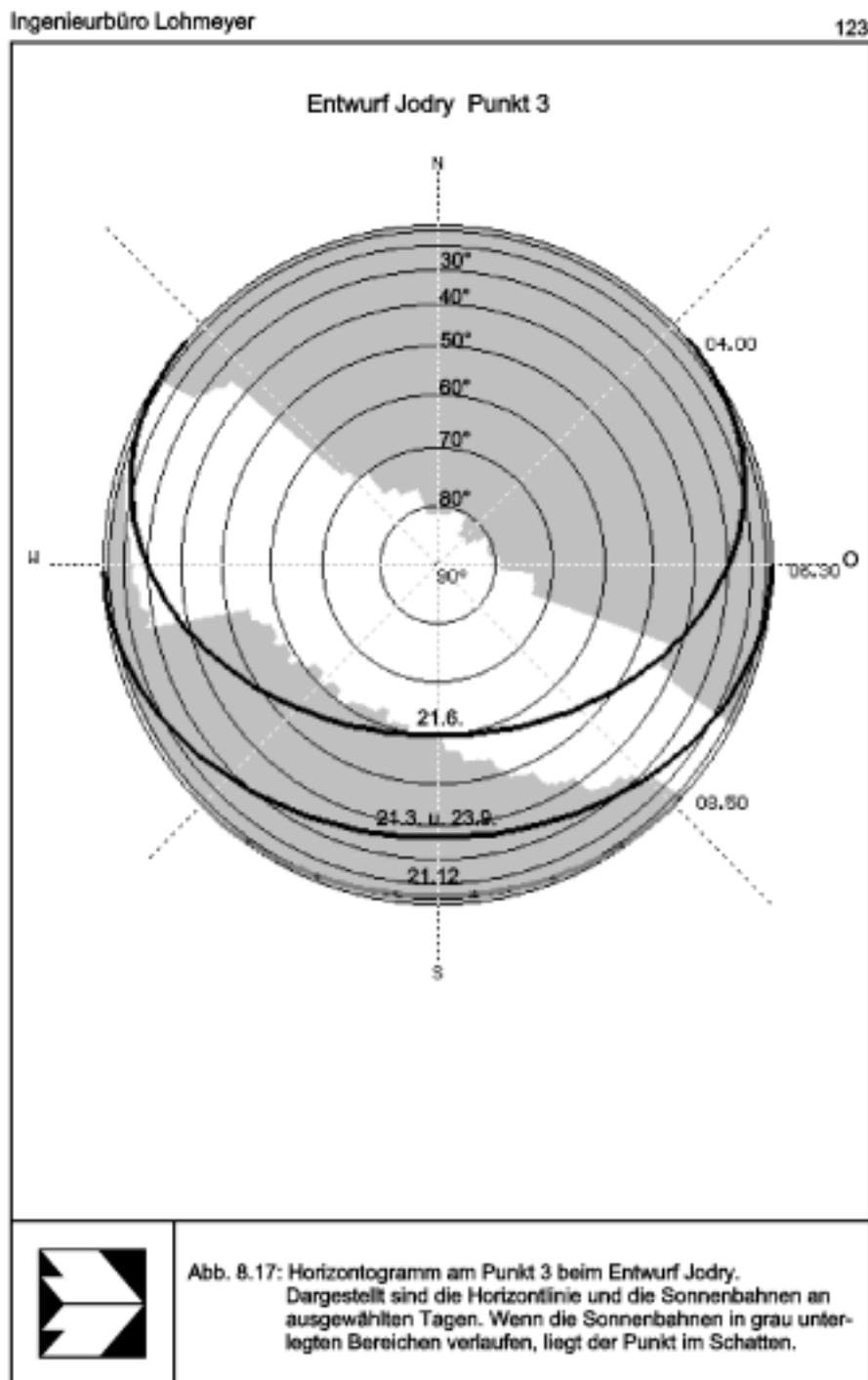


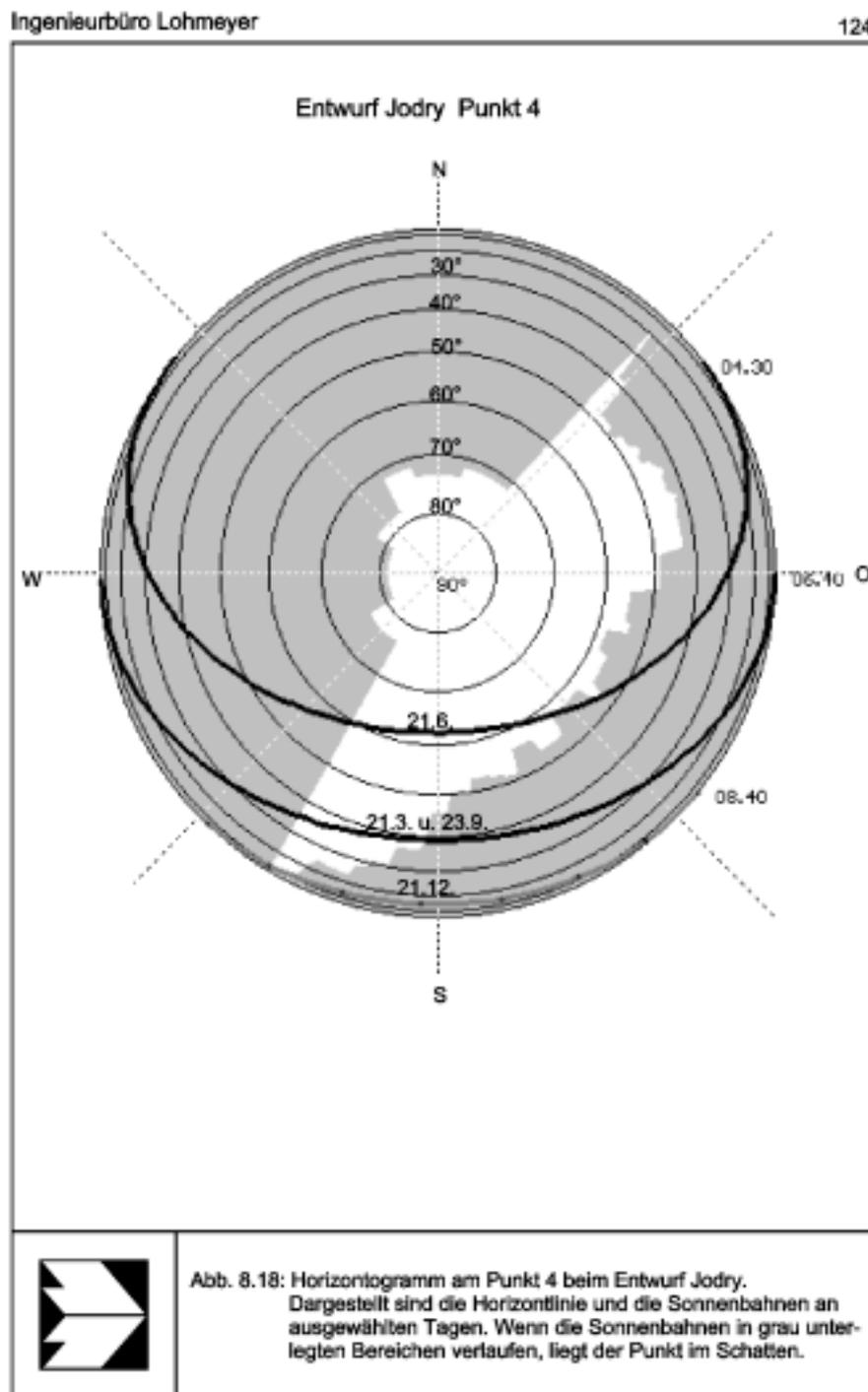


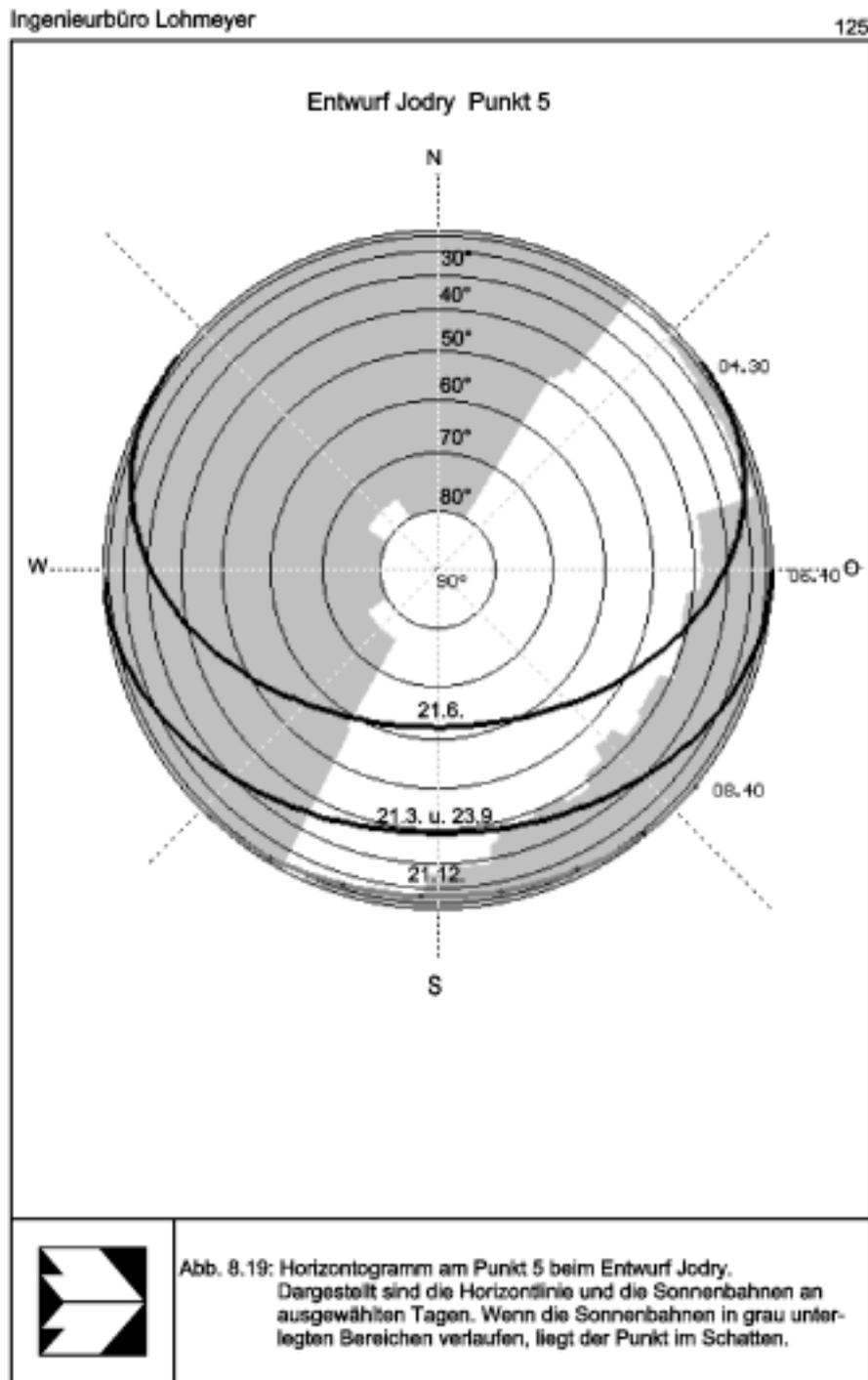


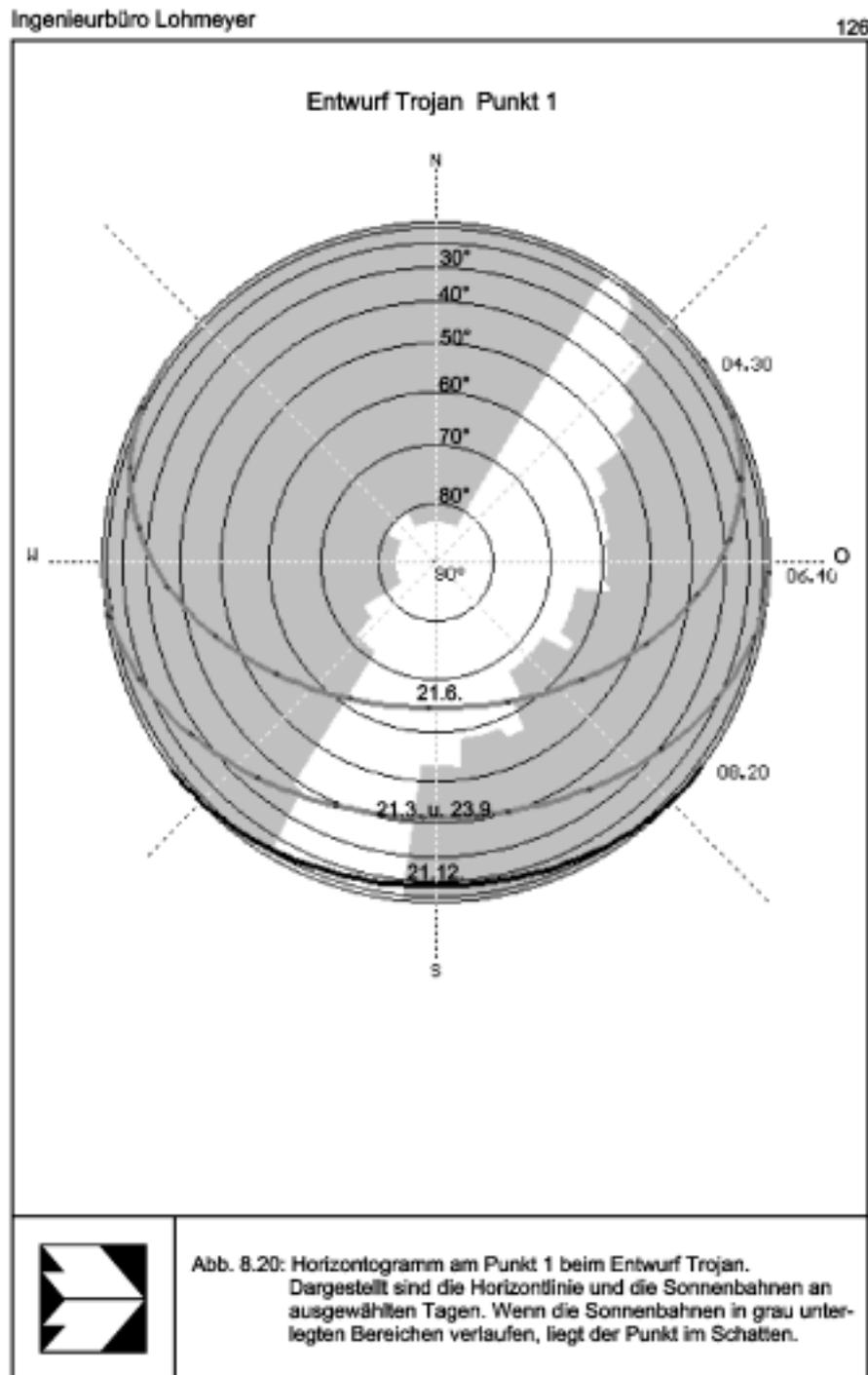


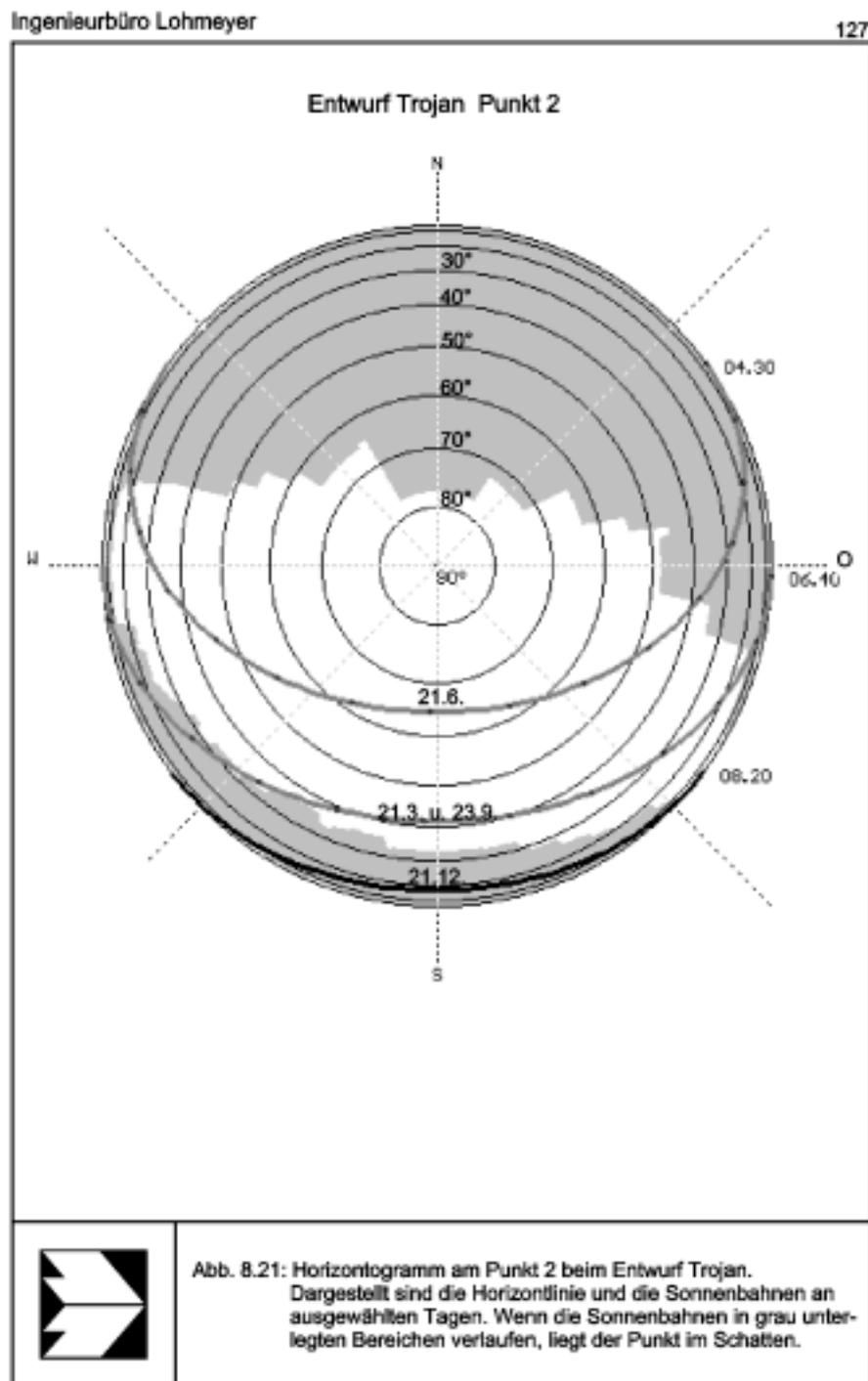


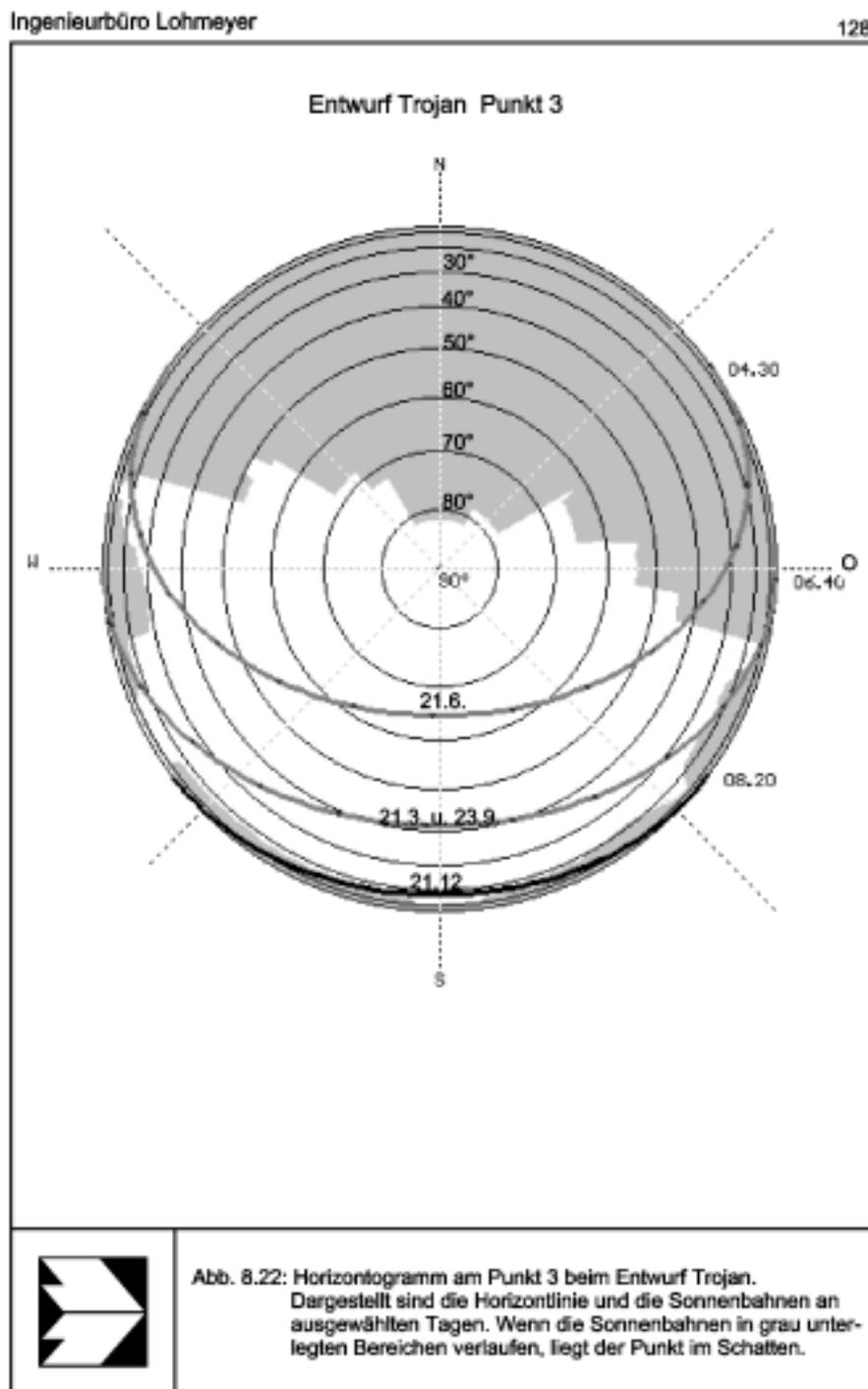


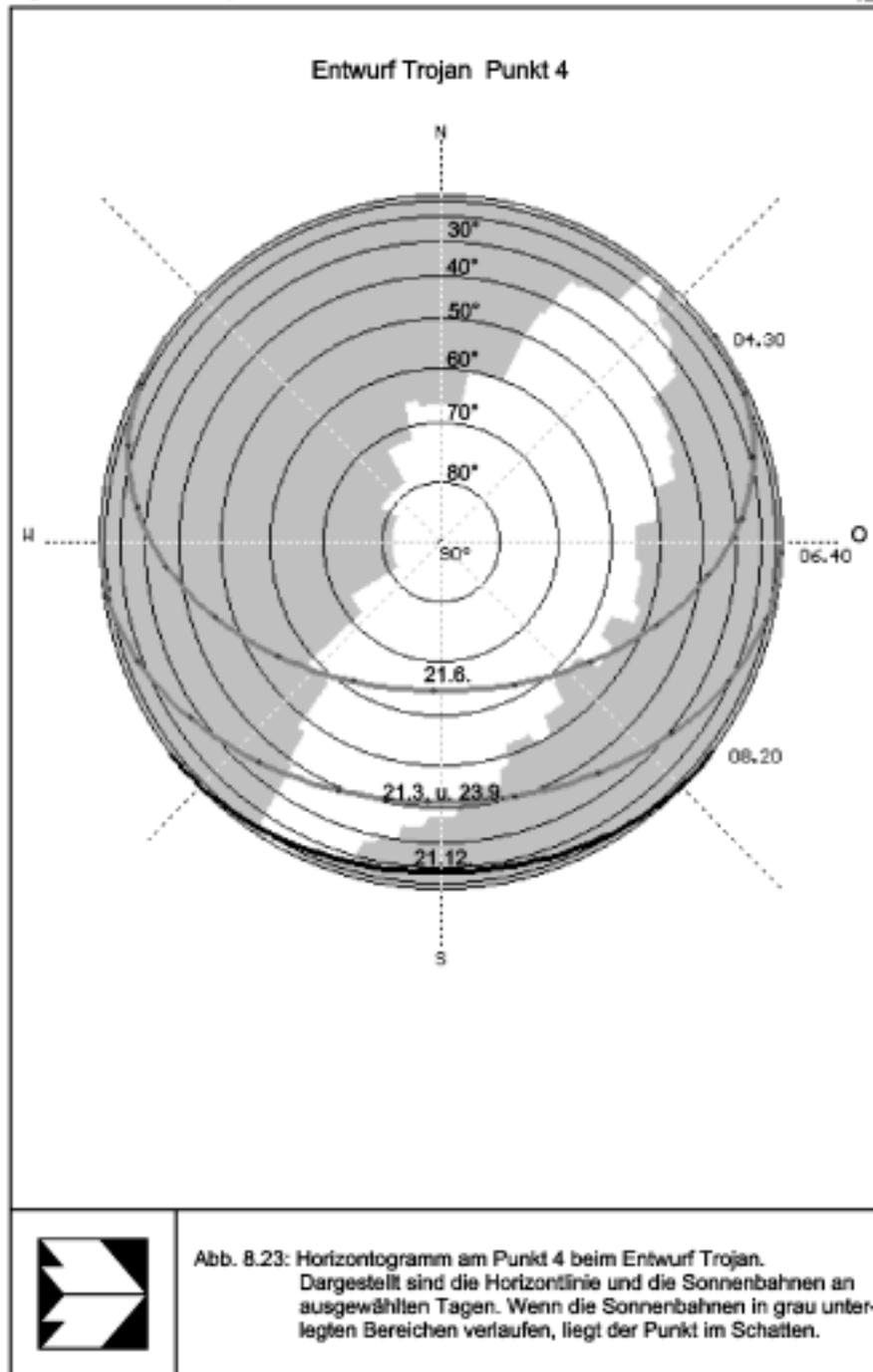


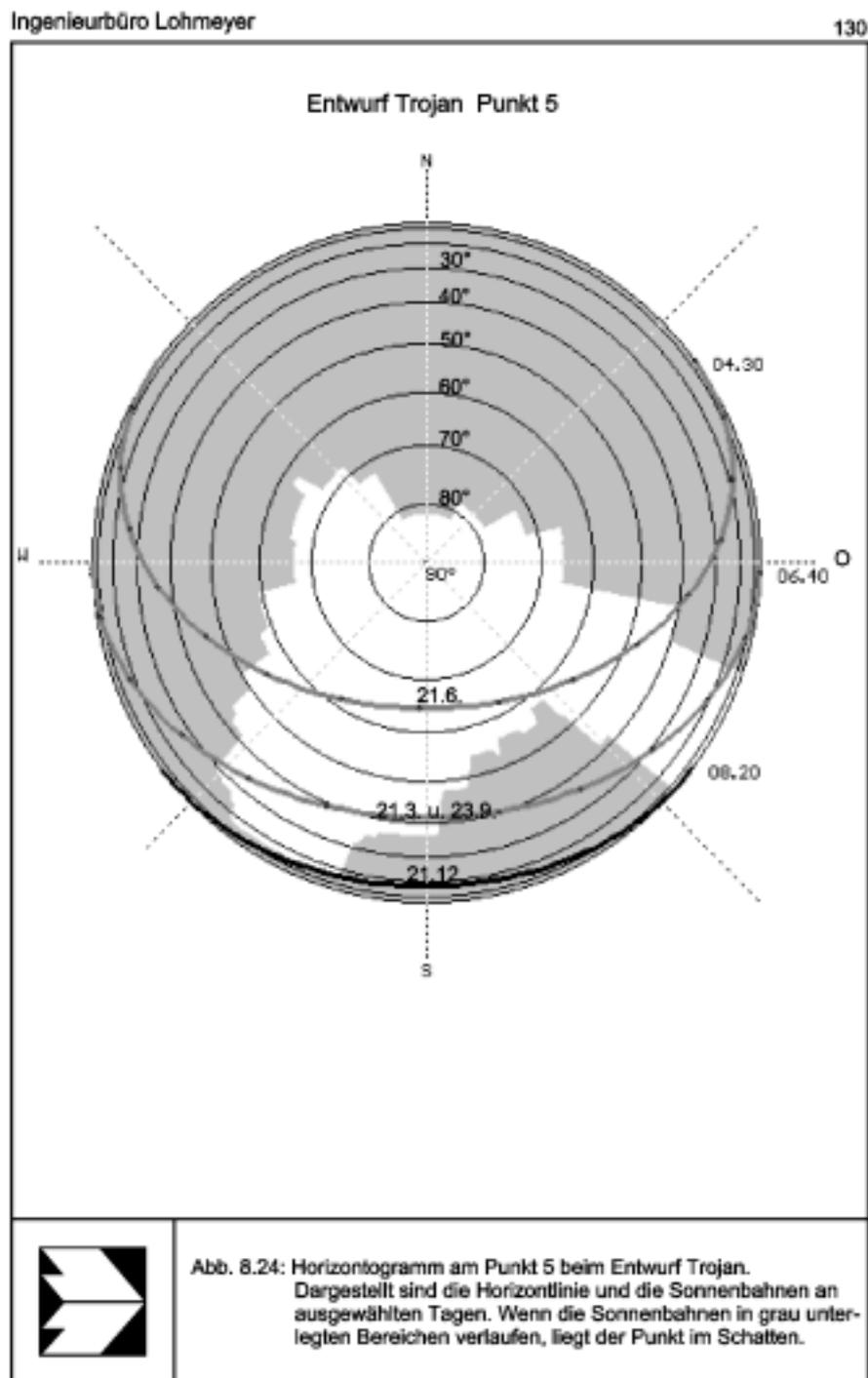












9 LITERATUR

- Amt für Umweltschutz (1996a): Kaltluft- und Windfeld-Berechnungen für Stuttgart, in: Untersuchungen zur Umwelt „Stuttgart 21“, Heft 1, Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz. Bearbeitung: Ingenieurbüro Dr.-Ing. A. Lohmeyer
- Amt für Umweltschutz (1996b): Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung „Stuttgart 21“; in: Untersuchungen zur Umwelt „Stuttgart 21“, Heft 2, Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz. Bearbeitung: Ingenieurbüro Dr.-Ing. A. Lohmeyer.
- Amt für Umweltschutz (1996c): Stadtklima 21. Grundlagen zu Klima, Luft und Lärm für die Planung „Stuttgart 21“. Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart.
23. BImSchV (1996): Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV). Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1996, Teil I, Nr. 66, ausgegeben zu Bonn am 20.12.1996.
- Bruse, M. (1995): Handbuch für Shadow, Version 2.0a, Universität Bochum, Geographisches Institut.
- DIN 5034, Teil 1 (1983): Tageslicht in Innenräumen: Allgemeine Anforderungen. Berlin: Beuth.
- DWD (1994): Amtliches Gutachten über die Auswirkungen eines geplanten Containerbahnhofs in Kornwestheim, Kreis Ludwigsburg. Wetteramt Stuttgart.
- Eichhorn, J. (1995): MISKAM-Handbuch zu Version 2 und 3, Universität Mainz, Institut für Physik der Atmosphäre.
- Fanger, P.O. (1972): Thermal Comfort. McGraw-Hill, New York.
- Grätz, A., Jendritzky, G., Sievers, U. (1992): The urban bioclimate model of the Deutscher Wetterdienst. Wiss. Ber. Inst. Meteor. Klimaforsch. Univ. Karlsruhe Nr. 16, 96-105.

- Grandjean, E., Gilgen A. (1973): Umwelthygiene in der Raumplanung. Luftverunreinigungen, Lärm, Grünflächen im Städtebau, Besonnung und natürliche Belichtung von Wohnungen. München: Thun Verlag.
- Hoffmann, U. (1977): Probleme des Stadtklimas von Stuttgart. In: Stadtklima, herausgegeben von E. Franke, Stuttgart: Karl Krämer Verlag.
- Höppe, P. (1992): Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur im Freien. *Wett. Leben* 44, 147-151.
- Jendritzky, G. (1990): Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten. *ARL Beiträge* Nr. 114, 7-69.
- LfU (1994): Solar- und Windenergieatlas Baden-Württemberg. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.
- Lutz/Jenisch/Klopfer/Freymuth/Krampf (1989): Lehrbuch der Bauphysik. Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand. Hrsg.: B.G. Teubner Verlag Stuttgart.
- Matzerakis, A., Mayer, H. (1997): Regionalisierung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur für Griechenland. Eingereicht bei *Annal. Meteorol.* 33.
- Mayer, H., Höppe, P. (1987): Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor. Appl. Climatol.* 38, 43-49.
- Meroney, R.N., Pavageau, M., Rafailidis, S., Schatzmann, M. (1995): Line Source Design and Street Canyon Physical Modelling" (Bericht in Vorbereitung). Univ. Hamburg, Meteorologisches Institut.
- Oke, T.R. (1987): *Boundary Layer Climates*. 2nd ed., London: Methuen.
- Pielke, R.A. (1984): *Mesoscale Meteorological Modeling*. New York: Academic Press.
- Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. In: *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft*, Band 56, Heft 6, S. 215-218.
- Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, T. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. In: *Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138)*.

- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Aufl. Stuttgart 1992.
- Stiemer, S.F. (1977): Windumströmung von Gebäuden und Gebäudeklima. In: E. Franke et al. (Editor): Stadtklima Stuttgart, S. 97-111.
- Taffé, P. (1997): A Qualitative Response Model of Thermal Comfort. In: Building and Environment, Vol. 32, No. 2, pp. 115-121. Elsevier Science Ltd.
- TA Luft (1986): 1. Allg. Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). GMBI., 37. J., Nr. 7, 28.02.1986, S. 95 - 143.
- VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 (Gründruck) (1996): Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.

ANHANG A: WINDSTRÖMUNGEN

A N H A N G A 1: M O D E L L G E S E T Z E

A1 MODELLGESETZE

Im folgenden wird erläutert, welche Modellgesetze bei der vorliegenden Untersuchung zu beachten waren und wie sie realisiert wurden. Es sei dabei bemerkt, daß im strömungsmechanischen Sprachgebrauch der Ausdruck "Ähnlichkeit" benutzt wird, wenn die Modellgesetze erfüllt sind, d.h., die Übertragbarkeit der Modellergebnisse auf die Großausführung gewährleistet ist. Bei den nachfolgenden Ausführungen wird stets geometrische Ähnlichkeit vorausgesetzt, d.h., alle geometrischen Längen in der Natur stehen in einem konstanten Verhältnis zu den entsprechenden Längen im Modell.

Die Modellgesetze können in zwei Gruppen untergliedert werden:

Ähnlichkeit der anströmenden Grenzschicht

Ähnlichkeit des Strömungsfeldes um die Bauwerke

Für die Modellierung einer naturgetreuen neutralen atmosphärischen Grenzschicht werden ähnliche Windgeschwindigkeitsprofile, Turbulenzintensitätsprofile und Turbulenzspektren im Modell und in der Natur gefordert. Dabei können die Grenzschichtprofile beschrieben werden mit dem Potenzansatz der Form

$$\frac{\bar{u}}{u_{ref}} = \left(\frac{z - d_o}{z_{ref} - d_o} \right)^\alpha$$

wobei d_o die Verdrängungsdicke und u_{ref} die Referenzgeschwindigkeit in der Höhe z_{ref} darstellen.

Die Ähnlichkeitsbedingungen bezüglich Turbulenz fordern:

a) ähnliche Turbulenzintensitätsprofile im Modell und in der Natur mit

$$\left(\frac{\sigma_u(z)}{\bar{u}(z)} \right)_{Modell} = \left(\frac{\sigma_u(z)}{\bar{u}(z)} \right)_{Natur}$$

wobei σ_u die Standardabweichung der longitudinalen Komponente der Windgeschwindigkeit darstellt.

b) ähnliche Turbulenzspektren im Modell und in der Natur mit

$$\left(\frac{f_{\max} \cdot S_u(f)}{s_u^2} \right)_{\text{Modell}} = \left(\frac{f_{\max} \cdot S_u(f)}{s_u^2} \right)_{\text{Natur}}$$

wobei f_{\max} die Frequenz darstellt, bei der das gemessene Frequenzspektrum $S_u(f)$ ein Maximum besitzt. Ferner muß die Größe der Wirbel im Vergleich zu den Bauwerksabmessungen in Modell und Natur ähnlich sein. Dies wird erreicht, wenn die Forderung

$$\left(\frac{f_{\max} \cdot L}{u} \right)_{\text{Modell}} = \left(\frac{f_{\max} \cdot L}{u} \right)_{\text{Natur}}$$

erfüllt ist, wobei L die Abmessung eines beliebigen, aber in Modell und Natur gleichen Bauwerkes darstellt.

c) Zur Gewährleistung einer ähnlichen Umströmung der Bauwerksmodelle im Windkanal müssen die Trägheits- und Reibungskräfte in der Natur und im Modell im gleichen Verhältnis zueinander stehen. Diese Ähnlichkeitsforderung wird durch die Reynoldszahl Re erfaßt mit

$$Re = \left(\frac{u \cdot L}{\nu} \right)_{\text{Modell}} = \left(\frac{u \cdot L}{\nu} \right)_{\text{Natur}}$$

wobei ν die kinematische Zähigkeit darstellt.

**A N H A N G A2: VERSUCHSDURCHFÜHRUNG
- REALISIERUNG DER MODELLGESETZE**

A2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG - REALISIERUNG DER MODELLGESETZE

A2.1 Beschreibung des Windkanals

Für die Durchführung der Modellversuche stand der Grenzschichtwindkanal des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Abteilung Gebäudeaerodynamik, der Universität Karlsruhe zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um ein Versuchsgerät von ca. 16 m Länge, das im wesentlichen aus einer Einlaufdüse, einer ca. 5 m langen Anlaufstrecke, einer 4 m langen Meßstrecke sowie einem Radialgebläse besteht (siehe **Abb. A2.1**). Der Strömungsquerschnitt ist in der Anlauf- und Meßstrecke 2 m breit und 1 m hoch. Der Windkanal arbeitet im Saugbetrieb, um Störwirkungen des Gebläses auf die Strömungsverhältnisse im Kanal möglichst auszuschließen. Druckgradienten in Windrichtung werden mit Hilfe einer verstellbaren Zwischendecke ausgeglichen. Damit wird erreicht, daß sich, wie in der Atmosphäre oberhalb der Reibungsschicht auch, eine Gleichgewichtsgrenzschicht mit $dp/dx = 0$ einstellen kann. Die Drehung des Windvektors mit der Höhe kann nicht realisiert werden.

A2.2 Nachbildung der atmosphärischen Grenzschicht im Windkanal

Die durch eine Potenzfunktion anzunähernde, vertikale Geschwindigkeitsverteilung wird erzeugt, indem die nach Passieren der Einlaufdüse zunächst gleichförmige und turbulenzarme Strömung durch sogenannte Wirbelgeneratoren und über Rauigkeitselemente geleitet wird (**Abb. A2.2**). Die Wirbelgeneratoren verbauen den Strömungsquerschnitt unten stärker als oben und formen damit das Grenzschichtprofil vor, bevor die durch Bodenrauigkeit erzeugte Scherturbulenz in die Strömung hineinwachsen kann.

Solange die Reynoldszahl der Grenzschicht einen unteren kritischen Wert nicht unterschreitet, lassen sich auch die Turbulenzeigenschaften der neutral geschichteten Grenzschicht in guter Näherung nachbilden. **Abb. A2.3** zeigt Vertikalprofile der mittleren Windgeschwindigkeit und der Turbulenzintensität.

Systematisch kleinere Werte werden allerdings für die mit der Lateralkomponente des Windes gebildeten Korrelationskoeffizienten registriert. Sie sind darauf zurückzuführen, daß im Labor niederfrequente, auf Windrichtungsschwankungen basierende Änderungen der v -Komponente nicht vorhanden sein können. In Ausbreitungsmodellversuchen hat das zur Folge, daß die Breitenentwicklung von Abgasfahnen im Zeitmittel zu gering ausfällt und sich

etwas zu hohe Bodenkonzentrationen einstellen. Im vorliegenden Anwendungsfall sind hieraus resultierende Fehler jedoch nicht gravierend.

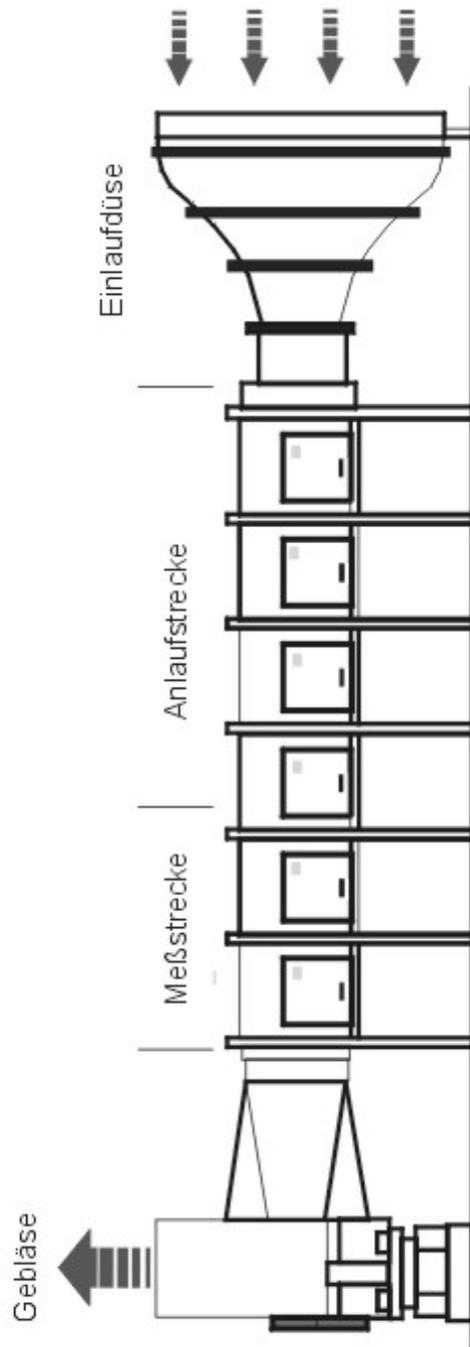


Abb. A2.1: Aufbau des Grenzschichtwindkanals. Strömungsrichtung von rechts nach links



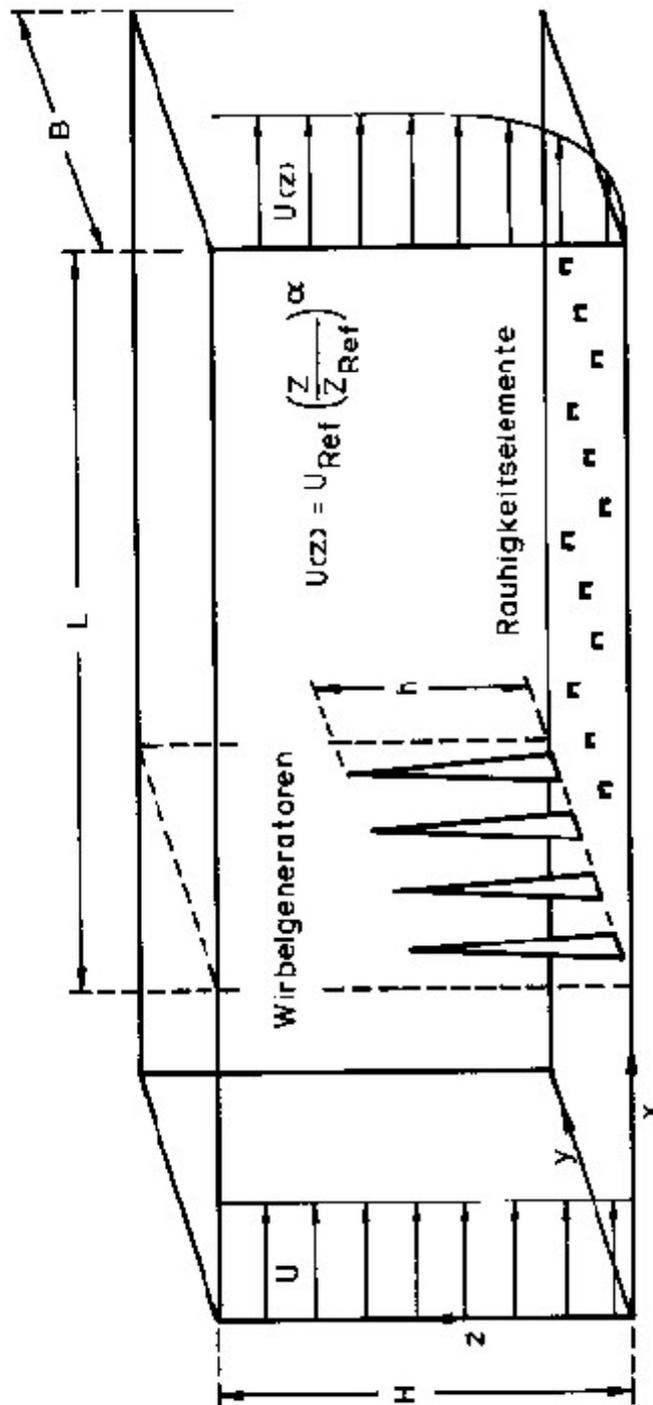


Abb. A2.2: Erzeugung eines Grenzschichtprofils im Windkanal. Strömungsrichtung von links nach rechts



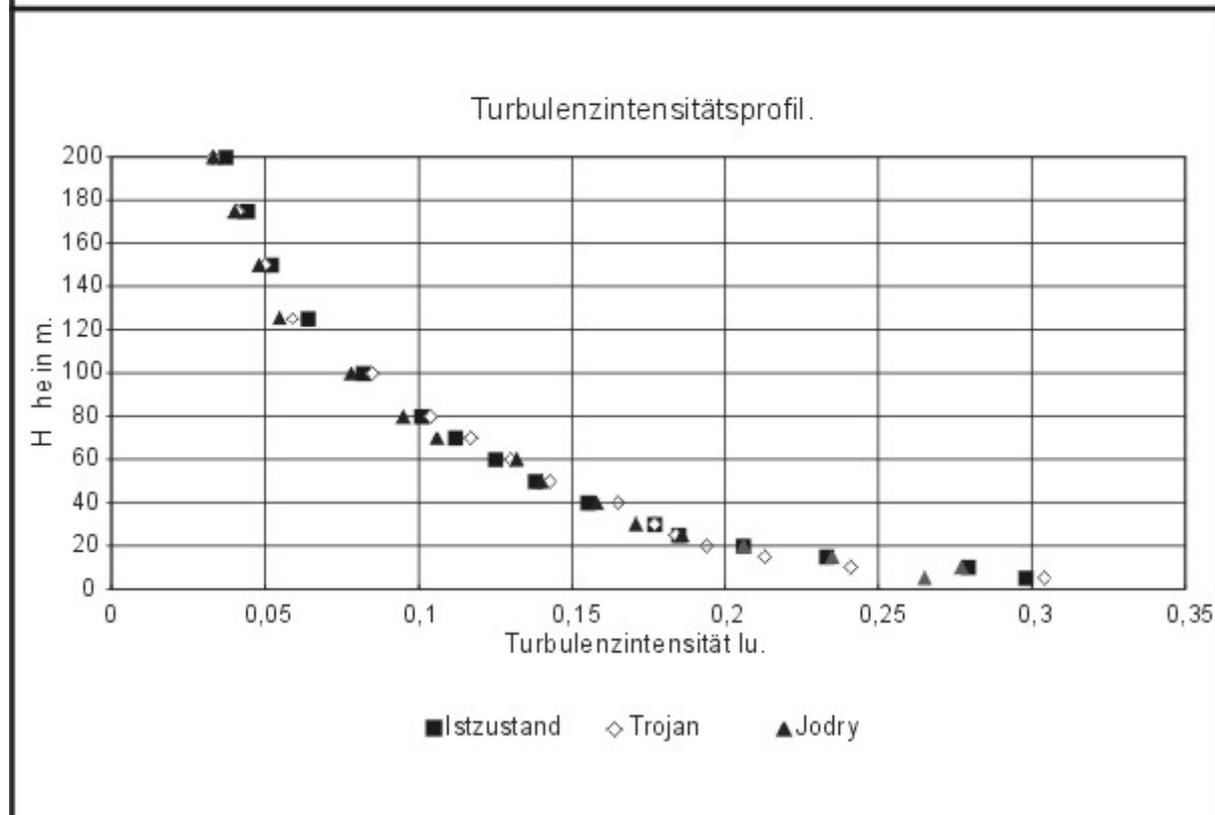
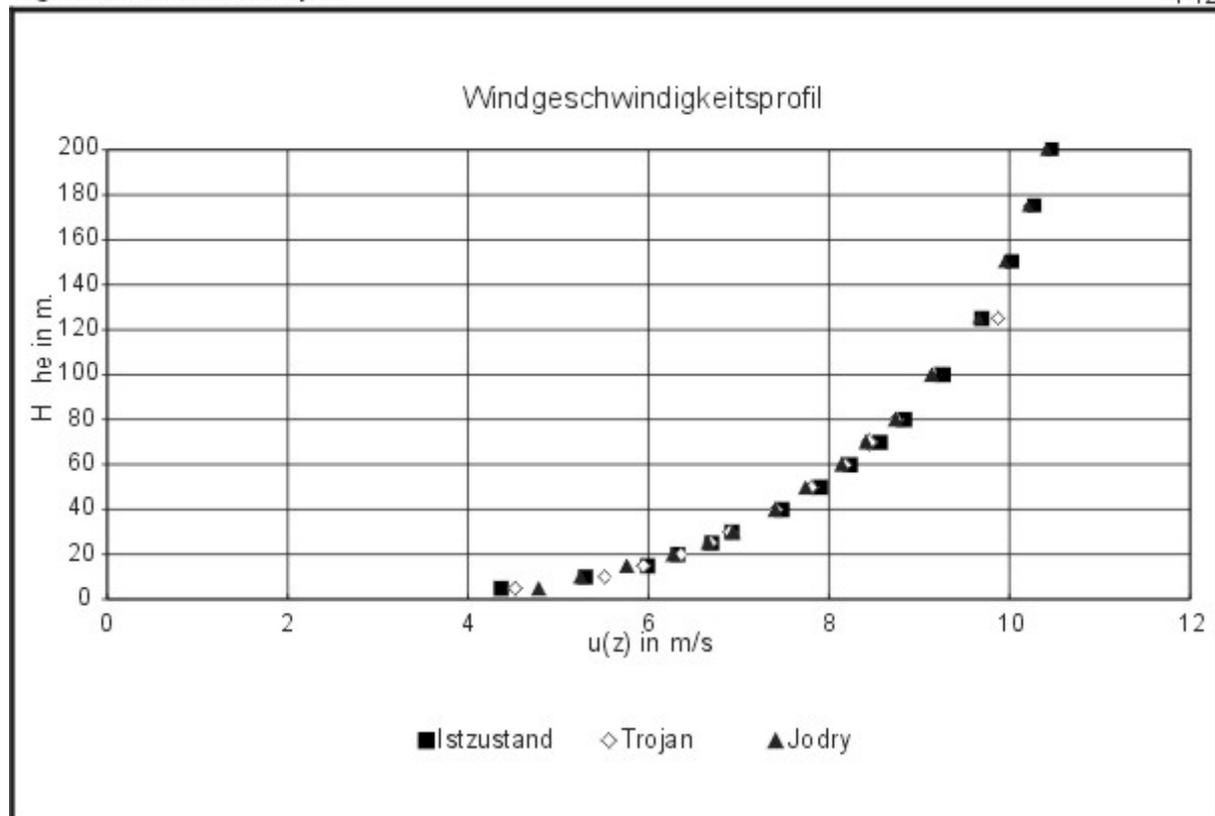


Abb. A2.3: Vertikalprofile der mittleren Windgeschwindigkeit (Bild oben) und der Turbulenzintensität (Bild unten) für die verschiedenen Varianten

Die Untersuchung beschränkt sich auf den Fall von Situationen mit höheren Windgeschwindigkeiten mit der dann neutral geschichteten atmosphärischen Grenzschicht. Durch Wahl einer bestimmten Kombination von Wirbelgeneratoren und Rauigkeitselementen im Kanal können entsprechende Wind- und Turbulenzprofile simuliert werden. Die im Windkanal vorhandene Grenzschichtdicke von ca. 45 cm entspricht einer Dicke von ca. 225 m in der Natur.

A2.3 Geschwindigkeits- und Turbulenzmessungen

Der gesamte Versuchsaufbau ist schematisch in **Abb. A2.4** dargestellt. Zur Messung der Windgeschwindigkeit und -turbulenz zwischen den Gebäuden wurde ein Konstant-Temperatur-Hitzdrahtanemometer (CTA) der Baureihe 56 der Firma DANTEC verwendet. Bei der Hitzdrahtsonde handelte es sich um eine Einzeldrahtsonde vom Typ 55P03 mit einem zur Sondenachse parallelen Sensordraht. Diese Anordnung des Hitzdrahtes senkrecht zur Grundplatte des Modells läßt eine Erfassung der besonders interessierenden Horizontal-komponenten der Strömung in weitgehender Unabhängigkeit von der Anströmrichtung zu. Gemessen wurde jeweils in ca. 3 mm - 4 mm Höhe über der Modelloberfläche, bei einem Maßstab von 1:500 entsprechend einer Höhe von 1.5 m - 2 m in der Natur.

Die Erfassung der Zeitreihen erfolgte mittels eines 12 bit AD-Wandlers und entsprechender Software. Die Abtastfrequenz betrug 100 Hz, die Aufnahmedauer an jedem Meßpunkt 20 s. Die gemessenen Spannungen wurden nach der Gleichung

$$u = \left(\frac{E^2 - A}{B} \right)^{1/n}$$

mit

- u = Strömungsgeschwindigkeit in m/s
- E = el. Spannung in V
- A, B, n = Kalibrierkonstanten

in Geschwindigkeiten umgerechnet. Aus den Geschwindigkeitswerten wurden die Mittelwerte und die Schwankungsgrößen bestimmt. Die Bestimmung der Kalibriergrößen A, B und n

erfolgte täglich neu. Dazu wurden den mit dem Hitzdraht gemessenen Spannungen Geschwindigkeitswerte, die mit einem Prandtlrohr ermittelt wurden, zugeordnet.

A2.4 Konzentrationsmessungen

Um die Ausbreitung verkehrsinduzierter Emissionen im Windkanalmodell bestimmen zu können, waren verschiedene Straßen (Arnulf-Klett-Platz, Heilbronner Straße, Wolframstraße) mit sogenannten Linienquellen nach einem bei Meroney et al. (1995) beschriebenen Prinzip versehen worden. Aus diesen Linienquellen wurde ein nahezu dichteneutrales Gasgemisch, das u.a. das Tracergas SF₆ enthielt, emittiert.

Nach einer Vorlaufzeit von bis zu 15 Minuten wurden an bis zu 18 Meßpunkten im Modell gleichzeitig Luftproben in Ansaugkolben eingesaugt. Anschließend wurden diese Proben nacheinander mittels eines Meßgerätes vom Typ MELTRON LH 108, eines Elektroneneinfangdetektors, auf ihren Gehalt an SF₆ untersucht. Vergleicht man das aktuelle Gerätesignal mit demjenigen bei einer Kalibrierkonzentration von hier ca. 5 ppm (5 Teile SF₆ auf 10⁶ Teile Reinluft), wobei die Hintergrundkonzentration im Windkanal zu berücksichtigen ist, erhält man die aktuelle SF₆-Konzentration. Die Ergebnisse werden dimensionslos dargestellt als

$$c^* = \frac{c \cdot u_{100} \cdot L}{Q / L_Q}$$

mit

- c = Konzentration in Volumen Gas pro Volumen Reinluft in Natur
- u₁₀₀ = Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe in der Natur in m/s
- L = Längenmaß in m, hier z.B. 1 m in der Natur
- Q = Gesamtemission an SF₆ einer Linienquelle der Länge L_Q in m³/s in Natur
- L_Q = Länge der Linienquelle in m in Natur

Die c*-Werte sind direkt in die Natur übertragbar, wobei Emission und Windgeschwindigkeit beliebig sein können, solange die Dichte der Emission etwa der der Umgebungsluft entspricht und keine Umwandlungs-, Depositions- oder ähnliche Vorgänge zu beachten sind.

A N H A N G A3: QUALITÄTSSICHERUNG BEI DEN WINDKANALTESTS

A3 QUALITÄTSSICHERUNG BEI DEN WINDKANALTESTS

Im Rahmen der Qualitätssicherung der Windkanaluntersuchungen wurden verschiedene Tests durchgeführt. Dazu gehören z.B. Wiederholung der Messungen an verschiedenen Tagen bei bestimmten Meßpunkten und unter konstanten äußeren Bedingungen und Eingangsgrößen. Überprüft wurden sowohl die Geschwindigkeits- als auch die Konzentrationsmeßtechnik.

A3.1 Geschwindigkeitsmessungen

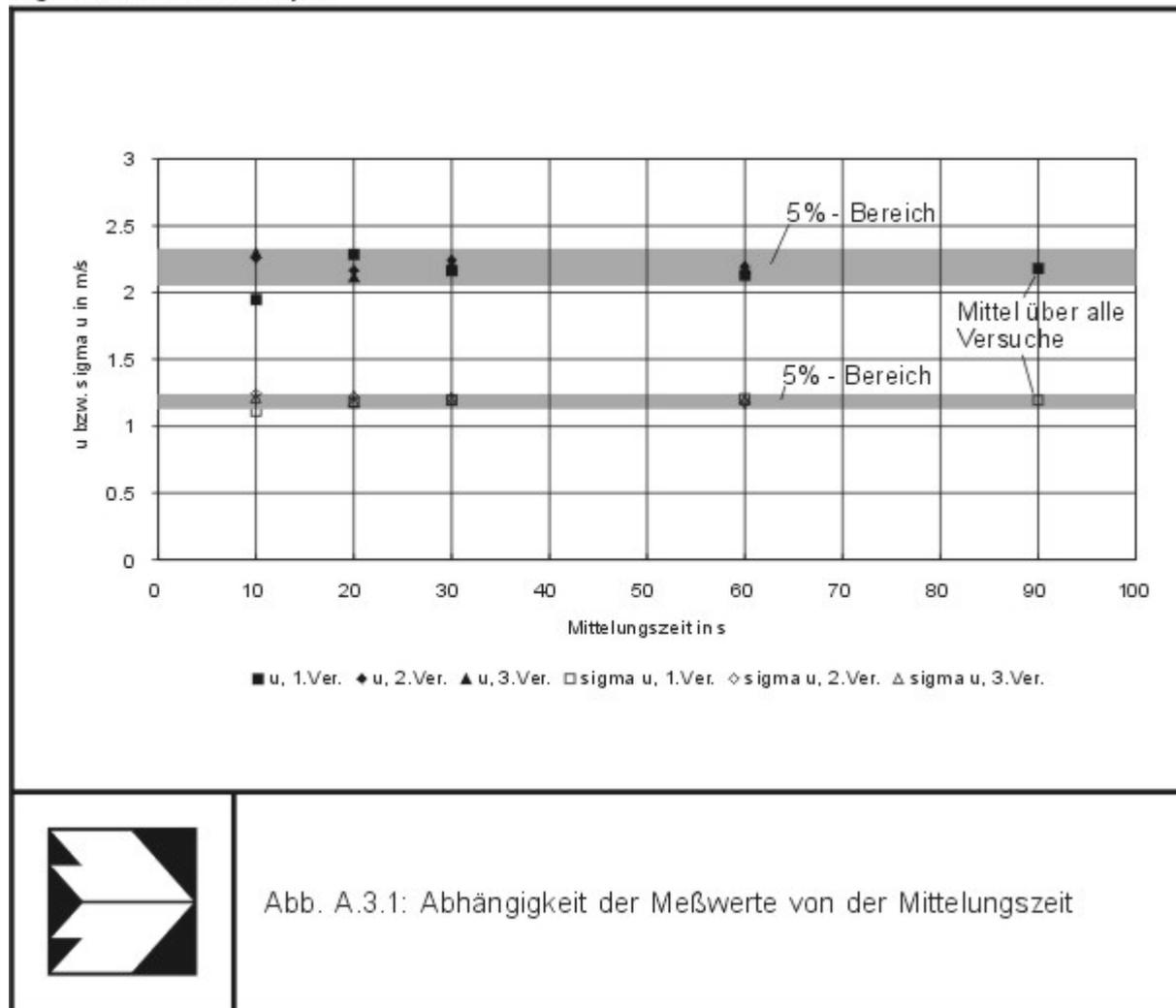
A3.1.1 Einfluß der Mittelungszeit

Windgeschwindigkeit und -turbulenz sind fluktuierende Größen. Die Reproduzierbarkeit sowohl der mittleren Geschwindigkeiten u , als auch der Schwankungsanteile σ_u hängt damit von der Länge der Mittelungszeit ab. In **Abb. A3.1** sind zu mehreren Zeitpunkten mit unterschiedlichen Mittelungszeiten gemessene Werte für u und σ_u (je 3 Versuche mit 10, 20, 30 und 60 s Mittelungszeit) dargestellt. Betrachtet wird eine typische Untersuchungssituation (Meßpunkt 10, Bebauung Entwurf Jodry, Windrichtung 210°). Sieht man die Mittelwerte für u und σ_u aus allen 12 Versuchen als die "wahren" Werte an, so weichen bei der gewählten Mittelungszeit von 20s die mittleren Geschwindigkeiten u und die Schwankungsanteile σ_u um max. ca. $\pm 5\%$ von dem Mittel über alle Versuche ab.

A3.1.2 Anfahrgenauigkeit der Meßpunkte und Kalibrierung der Sonde

Für ca. je 1 - 3 Meßpunkte je Bebauung und Windrichtung wurden Wiederholungsmessungen durchgeführt. Der jeweilige Meßpunkt wurde am Ende eines Meßzyklusses neu angefahren. Einige dieser Tests wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt, so daß zusätzlich zur Genauigkeit des Anfahrens des Punktes mit der Meßsonde der Einfluß der Kalibrierung der Sonde deutlich wird. Diese Beispiele sind in **Abb. A3.2** zusammengestellt. Danach treten Abweichungen von bis zu 10 % bei den mittleren Geschwindigkeiten und ca. 15 % bei den Schwankungsanteilen auf. Die höheren Abweichungen ergeben sich vor allem bei niedrigen Geschwindigkeiten.

Ingenieurbüro Lohmeyer



A3.1.3 Referenzpunkte

Einige Meßpunkte liegen bei manchen Windrichtungen außerhalb der direkten Beeinflussungsbereiche durch die unterschiedlichen Bebauungen (Istzustand, Entwürfe Jodry und Trojan). Dies ermöglicht, u und σ_u für diese Punkte bei gleichen Anströmbedingungen für alle 3 untersuchten Bebauungen zu vergleichen. In **Abb. A3.3** wird ein solcher Vergleich für den Meßpunkt 6 bei den Windrichtungen 30° und 210° und den Meßpunkt 10 bei der Wind-

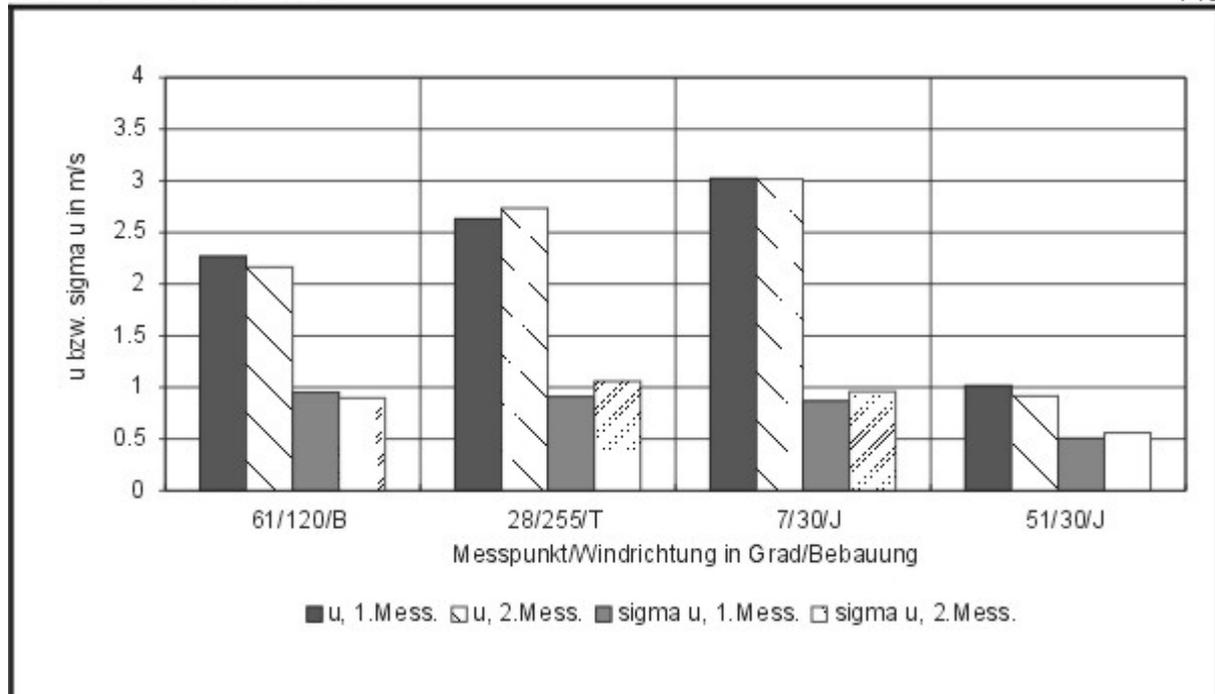


Abb. A3.2: Wiederholung von Geschwindigkeitsmessungen

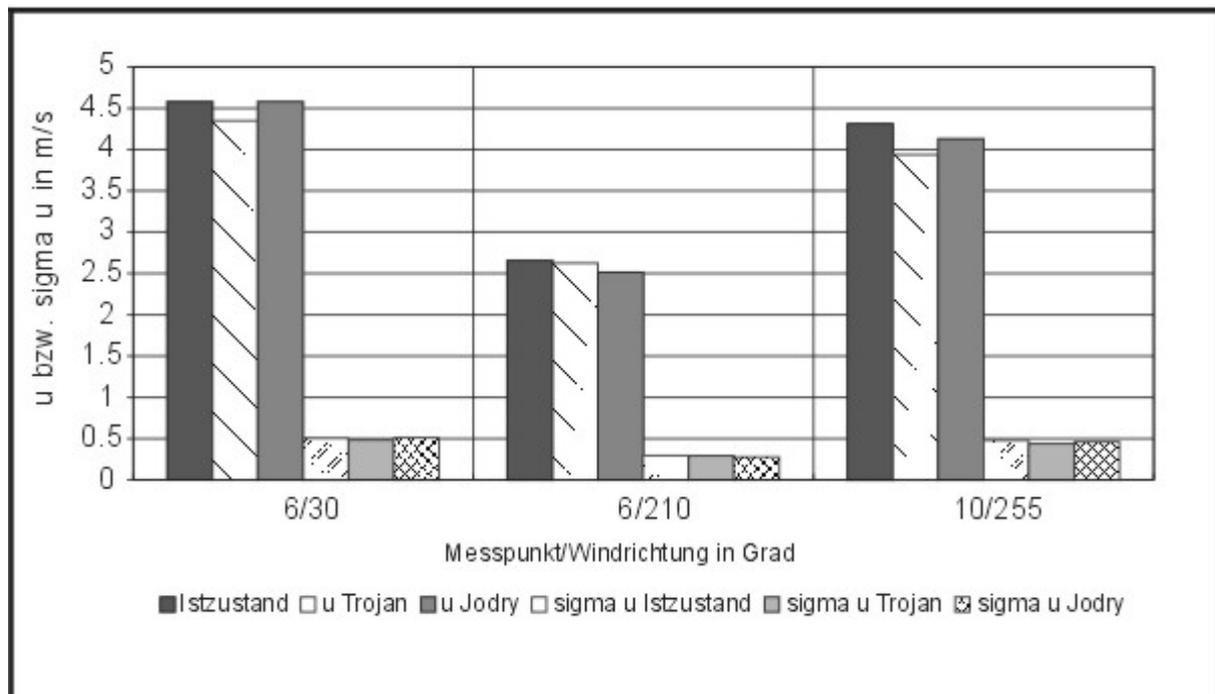


Abb. A3.3: Vergleich der Geschwindigkeiten an den Referenzpunkten

A3.2 Konzentrationsmessungen

A3.2.1 Überprüfung der Meßapparatur

Bei den Konzentrationsmessungen wurden grundlegende Tests, wie eine Überprüfung der Linienquellen vor ihrem Einbau, und Wiederholungsmessungen für die Quelle am Arnulf-Klett-Platz und für die Quellen entlang der Heilbronner Straße und der Wolframstraße durchgeführt.

Die **Abb. A3.4** und **Abb. A3.5** zeigen exemplarisch die Ergebnisse solcher Wiederholungsmessungen für die Heilbronner Straße, einmal mit der Bebauung Entwurf Jodry, Windrichtung 30° (**Abb. A3.4**), und zum zweiten für die Bebauung nach Entwurf Trojan, Windrichtung 210° (**Abb. A3.5**). Die Messungen folgten nicht unmittelbar aufeinander, sondern am Anfang und am Ende eines Meßzyklusses, der jeweils die 3 Linienquellen Heilbronner Straße, Wolframstraße und Arnulf-Klett-Platz umfaßte. Die Abweichungen betragen bis zu ca. 6 % bei den höheren Konzentrationen, bei niedrigeren Konzentrationswerten kann die prozentuale Abweichung ansteigen.

A3.2.2 Gebäudereynoldszahl

Die dimensionslosen Konzentrationen $c \cdot u \cdot L / q$ sind unabhängig von der Anströmgeschwindigkeit, solange diese eine Mindestgeschwindigkeit überschreitet: Diese ergibt sich aus der Bedingung $Re = u_H \cdot H / \nu > 10.000$. Die Geschwindigkeit u_H wird dabei in der mittleren Gebäudehöhe H im Modell bestimmt. Mit einer mittleren Gebäudehöhe H von 0.06 m, einem u_H von ca. 4.4 m/s und einer kinematischen Zähigkeit der Luft ν von $15 \cdot 10^{-6}$ lautet die Reynoldszahl Re ca. 17 500. Damit sollten die dimensionslosen Konzentrationen von der Anströmgeschwindigkeit unabhängig sein, was durch zusätzliche Tests bestätigt wurde.

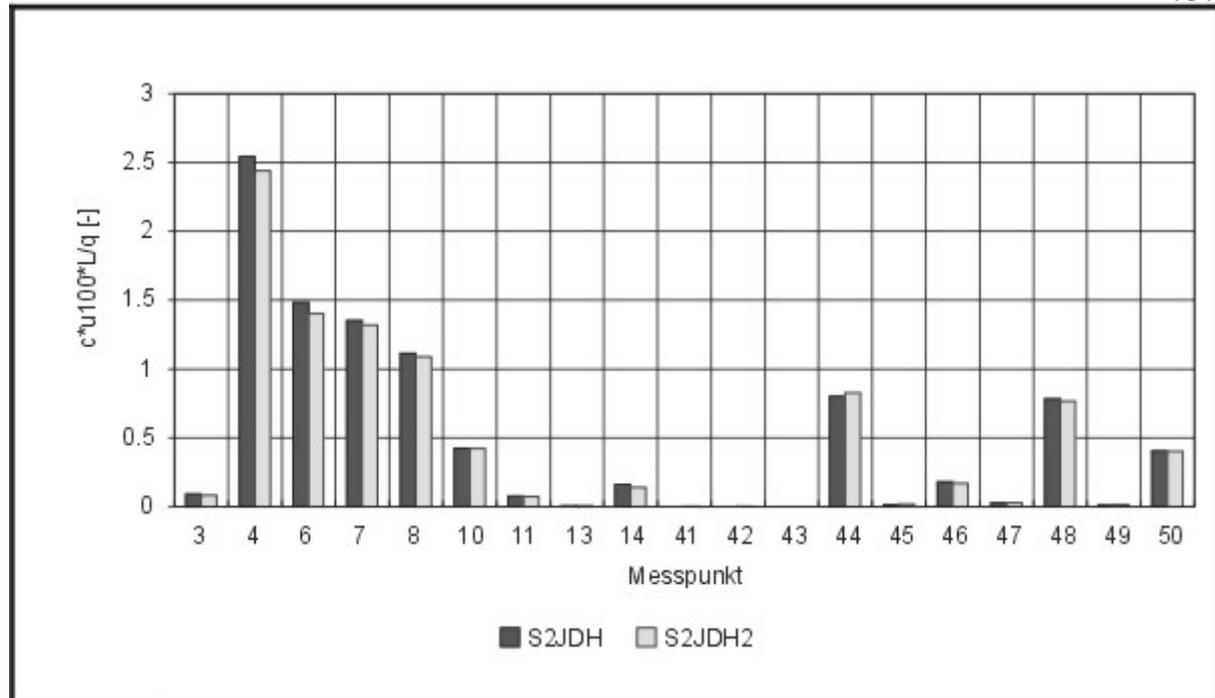


Abb. A3.4: Wiederholung von Konzentrationsmessungen:
 Bebauung Entwurf Jodry, Windrichtung 30 Grad,
 Quelle Heilbronner Straße

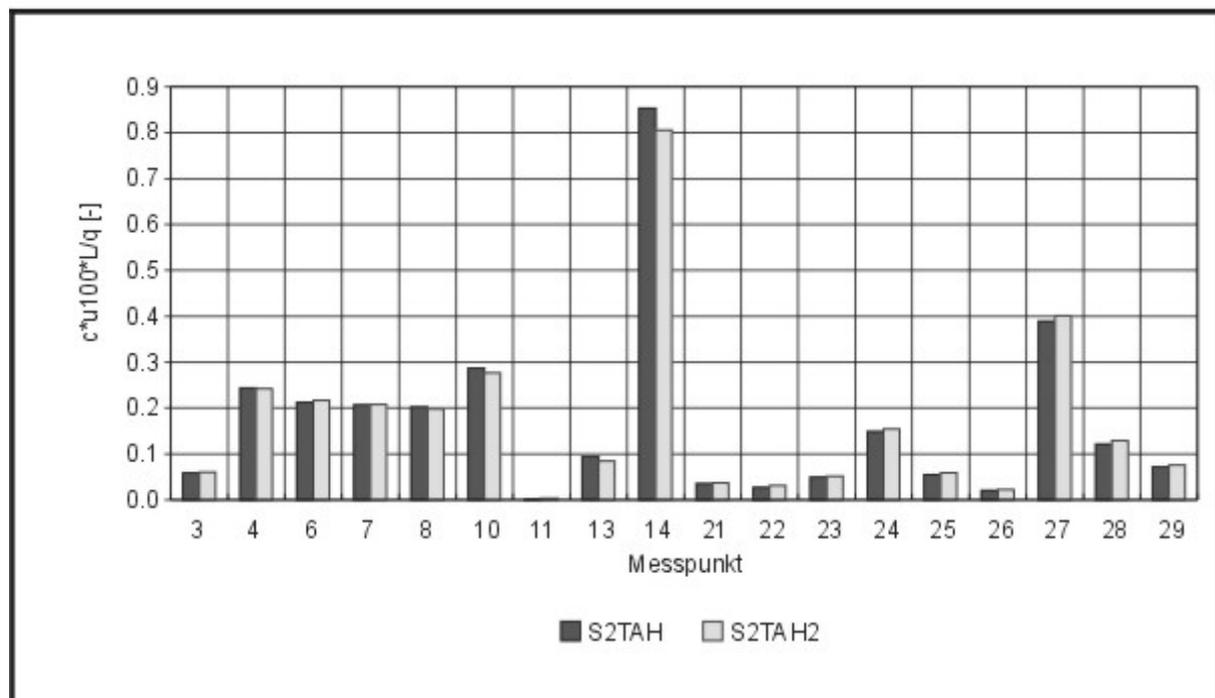


Abb. A3.5: Wiederholung von Konzentrationsmessungen:
 Bebauung Entwurf Trojan, Windrichtung 210 Grad,
 Quelle Heilbronner Straße

A N H A N G A4: PRINZIP DER SANDEROSIONSVERSUCHE

A4 WINDKANALVERSUCHE ZUR SICHTBARMACHUNG DER BODENNAHEN WINDGESCHWINDIGKEITSVERHÄLTNISSE, Z.B. IN DER NÄHE EINES HOCHHAUSES

Das zu betrachtende Gebäudemodell wird einschließlich einer Sandauflage in den Windkanal eingebaut.

Bild 1 zeigt das quaderförmige Modell und die Sandauflage in der Umgebung des Modells.

Bild 2 zeigt die Situation, nachdem die Windgeschwindigkeit auf den Wert u_1 gebracht wurde. Es zeigen sich erste Erosionserscheinungen in Gebieten mit besonders hohen Geschwindigkeiten (Gebäudeecken).

Bild 3 zeigt die Verhältnisse nach Erhöhung der ungestörten Windkanalgeschwindigkeit auf den höheren Wert u_2 .

Bild 4 zeigt die Verhältnisse nach weiterer Erhöhung der Windgeschwindigkeit im Windkanal.

Durch Nachfahren der Konturen der jeweiligen erodierten Flächen lassen sich für das gesamte Strömungsfeld die Linien gleicher Geschwindigkeit bestimmen.

Die Genauigkeit des Verfahrens ist dadurch herabgesetzt, daß die Sandkörner nicht nur durch die mittlere Windgeschwindigkeit, sondern auch durch die Turbulenz und Druckkräfte in Bewegung gesetzt werden können. Trotzdem ist das gezeigte Verfahren eine brauchbare Möglichkeit um sich einfach einen Überblick über das gesamte Geschwindigkeitsfeld zu verschaffen.

Bild 1 – 4 fehlt

ANHANG B: LUFTHYGIENE

B1 Das numerische Modell MISKAM

Die Untersuchungen zur Lufthygiene erfolgten mit Hilfe des numerischen Modells MISKAM in der Version 3.11. Der Name MISKAM steht für „Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell“. Es ist ein dreidimensionales, nicht-hydrostatisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell. Die Bezeichnung „mikroskalig“ bedeutet, daß es mit einer räumlichen Auflösung von wenigen Metern die Strömungs- und Konzentrationsfelder berechnen kann. Es simuliert auch die „nicht-hydrostatischen“ physikalischen Prozesse der atmosphärischen Ausbreitung. Das heißt, die Modellgleichungen beruhen nicht auf der vereinfachten Annahme des hydrostatischen Gleichgewichts. Es ist ein „dreidimensionales“ Modell, mit dem alle drei Raumkoordinaten erfaßt werden. MISKAM erlaubt so die Berechnung der komplexen Strömungs- und Ausbreitungsbedingungen innerhalb von bebautem Gebiet.

MISKAM verwendet zur Diskretisierung der physikalischen Parameter ein kartesisches Rechengitter. Das heißt, daß das Modell den dreidimensionalen Untersuchungsraum in aneinander grenzende quaderförmige Volumina (Gitterboxen) aufteilt, denen eine mittlere physikalische Größe, z.B. Luftdruck oder Stoffkonzentration zugeordnet ist. Dies führt dazu, daß MISKAM Konzentrationswerte nicht punktgenau sondern als Volumenmittelwert berechnet. Eine weitere Konsequenz dieser Vorgehensweise ist, daß die Schadstoffquellen im Modell als Volumenquellen realisiert sind. Punkt-, Linien- oder Flächenquellen können durch Verringerung der jeweiligen Gitterboxdimensionen angenähert werden. Gebäude werden bei MISKAM dadurch simuliert, daß entsprechende quaderförmige Gitterboxen für die Strömung undurchlässig definiert werden. Daraus folgt, daß bestimmte Gebäudekonturen, z.B. Rundungen sowie schräg zum Rechengitter verlaufende Gebäudekanten nicht exakt nachgebildet werden können. MISKAM bietet keine explizite Unterstützung zur Berücksichtigung von topographisch gegliedertem Gelände.

Zur Berechnung der turbulenten Anteile des Windfeldes bietet MISKAM zwei Parametrisierungen (sogenannte Turbulenzschließungen) an: der diagnostische K-Ansatz, der auf Mischungsweglängen beruht, und der prognostische E- ϵ -Ansatz, der zwei zusätzliche Prognosegleichungen für die turbulente kinetische Energie und die Energiedissipation benötigt. Grundsätzlich stellt der E- ϵ -Ansatz das physikalisch höherwertige Verfahren dar. Er benötigt jedoch einen höheren Rechenaufwand (weitere Details siehe Eichhorn, 1995).

Bei der numerischen Behandlung der Schadstoffausbreitung spielt der Transport mit dem mittleren Wind, die sogenannte Advektion, eine wichtige Rolle. Das in MISKAM standard-

mäßig verwendete Upstream-Verfahren weist ein relativ hohes Maß an unerwünschter, weil in der Realität nicht vorhandener, Diffusion (sogenannter „numerischer Diffusion“) auf. Daher beinhaltet MISKAM ein optionales Korrekturverfahren nach Smolarkiewicz. Bei Verwendung dieses Korrekturverfahrens steigt der Rechenaufwand allerdings stark an (weitere Details siehe Eichhorn, 1995).

Berechnung von statistischen Jahreskennwerten der Konzentration

Für die Berechnung statistischer Jahreskennwerte (Jahresmittelwert, 98-Perzentil) werden für mehrere meteorologische Situationen Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. Mit Hilfe einer Windstatistik werden die berechneten Konzentrationswerte zu Jahreskennwerten überlagert.

Die Konzentrationsfelder verschiedener Windrichtungen unterscheiden sich sehr erheblich voneinander. Die Konzentrationsfelder derselben Windrichtung, aber verschiedener Windgeschwindigkeiten sind jedoch proportional zueinander. Aus diesem Grund brauchen die Konzentrationsverteilungen nicht für verschiedene Windgeschwindigkeiten aus einzelnen Modellrechnungen ermittelt werden, sondern können infolge des Zusammenhang von Geschwindigkeit und Konzentration aus dem Konzentrationsfeld einer Windgeschwindigkeit erzeugt werden.

Über die Modellierung der fahrzeuginduzierten Turbulenz besteht derzeit in der Literatur kein Konsens. Mit der derzeitigen Version des Modells MISKAM ist die Berücksichtigung der fahrzeuginduzierten Turbulenz bei der Berechnung der einzelnen Konzentrationsfelder nicht direkt möglich. Es wird daher bei der Skalierung im Straßenraum statt mit $c \sim 1/u$ aufgrund von Erfahrungswerten aus der Literatur sowie eigener Arbeiten (Schädler et al., 1996) $c \sim 1/u^n$ mit $n = 0.35$ gerechnet.

B2 Kalibrierung des numerischen Modells

Die Kalibrierung des mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodells MISKAM erfolgte auf der Basis der Windkanaluntersuchungen. Das von MISKAM verwendete Untersuchungsgebiet entspricht in Größe und Lage weitgehend dem Windkanalmodell. Dies gewährleistet die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Die Eingangsdaten für das numerische Modell wie Gebäude, Topographie und Quellverteilung, wurden ebenfalls den Verhältnissen im Windkanalmodell angenähert. Mit diesen Randbedingungen können die im Windkanal gemessenen und mit dem Modell MISKAM berechneten Konzentrationen verglichen werden.

Durch Variation bestimmter Modell- und Bebauungsparameter erfolgte eine Kalibrierung von MISKAM.

Bei dem Vergleich von Ergebnissen des numerischen Modells MISKAM mit denen von Windkanalexperimenten sind eine Reihe von systembedingten Unterschieden zu beachten, die eine völlige Übereinstimmung der Ergebnisse unmöglich machen. Der wichtigste dieser Unterschiede liegt in der Art der Gebäude- und Topographiemodellierung. Wie in Anhang B1 beschrieben, werden diese Strömungshindernisse in MISKAM immer durch Quader angenähert, im Windkanal können beliebige Gebäudeformen und Dachneigungen modelliert werden. Ein weiterer wichtiger Unterschied liegt in der Berücksichtigung der Schadstoffquellen. Im Windkanalexperiment sind die Quellen linienförmig ausgebildet, im numerischen Modell MISKAM werden die Quellen in Form von linienförmigen Quellboxen berücksichtigt. Dies kann hauptsächlich im Nahbereich der Quellen zu systembedingten Konzentrationsunterschieden führen.

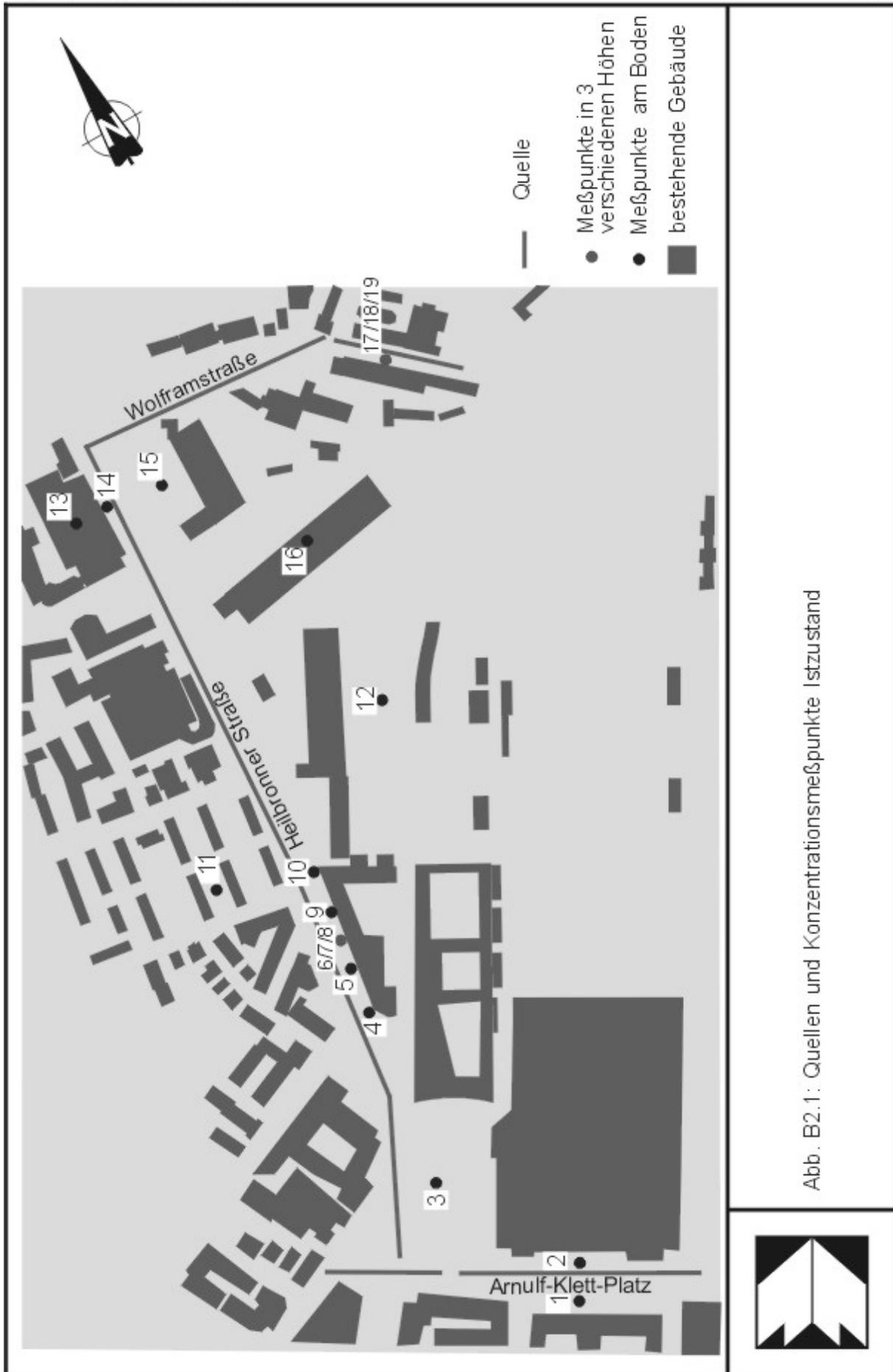
Diese unterschiedlichen Vorgehensweisen führen zwangsläufig zu gewissen Konzentrationsunterschieden zwischen Windkanal und numerischem Modell. Dennoch kann durch Kalibrierung ein optimiertes Ergebnis des numerischen Modells erreicht werden.

Im folgenden werden die der Kalibrierung zugrunde liegenden Windkanalexperimente sowie die MISKAM-Rechnungen beschrieben und der Vergleich dargestellt.

B2.1 Windkanalexperimente

Für die Erfassung der Kalibrierungsdaten wurden für die vier ausgewählten Windrichtungen 30 Grad, 120 Grad, 210 Grad und 300 Grad sowohl für den Istzustand als auch für die beiden Planvarianten gezielte Ausbreitungsexperimente im Windkanal durchgeführt. Für diese Versuche wurden in Teilen der Heilbronner Straße, der Wolframstraße und des Arnulf-Klett-Platzes linienförmige Emissionsquellen in das Windkanalmodell eingebaut. Die einzelnen Quellen wurden getrennt mit dem Tracergas SF₆ betrieben und in der Umgebung die Konzentrationsverhältnisse vermessen. In **Tab. B2.1** sind die durchgeführten Konzentrationsexperimente mit ihren im vorliegenden Bericht verwendeten Abkürzungen aufgelistet. Für die Quellkonfiguration Arnulf-Klett-Platz erfolgten keine Experimente für die Windrichtungen 120 Grad und 300 Grad, weil bei dieser Konstellation die Quelle zu nah an den seitlichen Windkanalwänden lag und somit keine zuverlässigen Daten zu erwarten waren.

Die Meßstellen wurden so ausgewählt, daß für die Kalibrierung geeignete Daten erfaßt wurden. Die Anordnung der Quellen sowie die Verteilung der Meßpunkte mit den entsprechenden Meßhöhen ist in **Abb. B2.1** exemplarisch für den Istzustand dargestellt. Die Konzentrationsmeßtechnik ist in Anhang A2 näher beschrieben.



Quellverteilung			
Wolframstraße	Heilbronner Straße	Arnulf-Klett-Platz	Anströmrichtung [Grad]
AW	AH	AA	210
BW	BH	-	120
DW	DH	DA	30
EW	EH	-	300

Tab. B2.1: Durchgeführte Konzentrationsexperimente

Aus den Windkanalexperimenten wurden die dimensionslosen Konzentrationen c^* bestimmt mit

$$c^* = \frac{c \cdot u_{100} \cdot L}{Q/L_Q}$$

wobei

- c^* = dimensionslose Abgaskonzentration
- c = Abgaskonzentration ermittelt aus Experiment
- Q = Schadstoffmassenstrom
- L = Längenmaß, hier gewählt zu $L = 1$ m
- u_{100} = Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe
- L_Q = Länge der Linienquelle in m

Bei dieser Darstellungsart können die Ergebnisse direkt mit den Naturverhältnissen bzw. mit den aus dem numerischen Modell gewonnenen Werten verglichen werden. In **Abb. B2.2** sind die dimensionslosen Konzentrationen beispielhaft für ein Windkanalexperiment dargestellt.

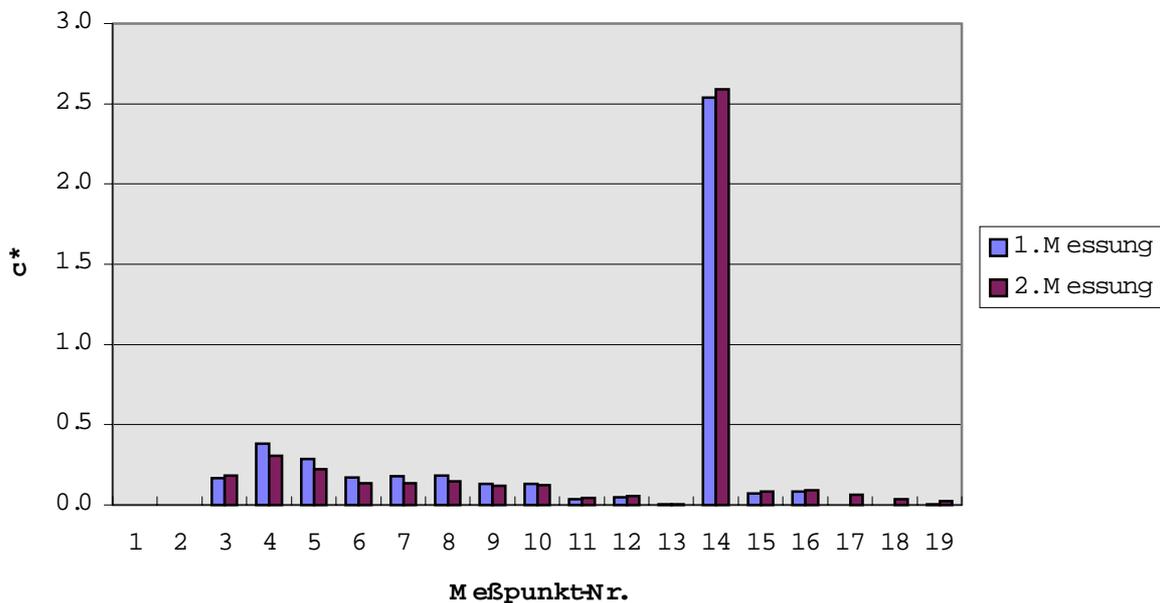


Abb. B2.2: Im Windkanal ermittelte normierte Konzentrationen für den Istzustand, Windrichtung 300 Grad, Schadstoffquelle Heilbronner Straße

B2.2 MISKAM-Rechnungen zur Kalibrierung

Bei den MISKAM-Rechnungen zur Kalibrierung wurden die linienförmigen Emissionsquellen der Windkanalexperimente durch Volumenquellen von der Größe der oben genannten Gitterboxen ($4 \times 4 \times 2.5 \text{ m}^3$, $4 \times 10 \times 2.5 \text{ m}^3$, bzw. $10 \times 4 \times 2.5 \text{ m}^3$) angenähert. Dabei wurden die Emissionsmassenströme der Boxen so gewählt, daß sich ein konstanter längenspezifischer Emissionsmassenstrom entsprechend den Versuchsbedingungen aus dem Windkanal ergibt.

Es wurden die folgenden Windkanalexperimente für den Istzustand nachgerechnet: AH, BH, DH, DW und EH (Abkürzungen siehe **Tab. B2.1**). In dieser Auswahl sind die Situationen mit der Heilbronner Straße als Quelle besonders stark vertreten.

In der ersten Kalibrierungsphase wurden die oben genannten Ausbreitungssituationen mit Standardparametern, die in **Tab. B2.2** aufgeführt sind, gerechnet.

Danach wurden für weitere Rechnungen der Situationen AH, BH und EH (120, 210 und 300 Grad Anströmung, Quelle: Heilbronner Straße) Modifikationen an Details der Gebäudekonfi-

guration im Bereich des Bankenareals sowie an Modellparametern entsprechend **Tab. B2.2** vorgenommen.

	Rauhigkeitslänge z_0 für das Startwindprofil	Turbulenzparametrisierung	Advektionsschema für Ausbreitungsrechnung
Standard	0.1 m	K-Ansatz	Upwind
	0.5 m	K-Ansatz	Upwind
	0.5 m	E- ϵ -Ansatz	Upwind
	0.5 m	K-Ansatz	Smolarkiewicz (1 Korrekturschritt)

Tab. B2.2: Standardparameter und Modifikationen für MISKAM-Rechnungen

B2.3 Ergebnisse des Vergleichs

Die Ergebnisse der oben aufgeführten MISKAM-Ausbreitungsrechnungen werden im folgenden in Form von normierten Konzentrationen c^* (siehe Abschnitt B2.1) den Windkanalergebnissen gegenübergestellt und an den einzelnen Untersuchungspunkten verglichen. Zur einfacheren Analyse werden aus dieser Vielzahl von Einzelwerten statistische Gütemaße bestimmt.

Es sind dies (c^* = MISKAM-Ergebnisse, C^* = Windkanalergebnisse):

- Korrelationskoeffizient r

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (c_i^* - \overline{c^*})(C_i^* - \overline{C^*})}{\sigma_{\text{Miskam}} \cdot \sigma_{\text{Windkanal}}}$$

Die beste Übereinstimmung zwischen Windkanal und numerischen Modellen wäre bei $r = 1$ erreicht, $r = 0$ bedeutet keinen Zusammenhang zwischen den beiden Ergebnissen und bei $r = -1$ würden Windkanal und numerisches Modell genau entgegengesetzte Aussagen zur Konzentration treffen.

- Trefferquote T für Faktor 2

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N j$$

$$\text{mit } j = \begin{cases} 1 & \text{wenn } \frac{1}{2} \leq \frac{c^*}{C^*} \leq 2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die bestmögliche Trefferquote liegt bei 100 %, das schlechteste Ergebnis des Vergleichs wäre eine Trefferquote von 0 %.

- normiertes mittleres Fehlerquadrat RMS

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum (c^* - C^*)^2}{\sum C^{*2}}}$$

Der beste theoretische Wert für das normierte mittlere Fehlerquadrat wäre 0.0. Nach oben ist diese Größe nicht beschränkt.

Der Vergleich der mit MISKAM nachgerechneten Windkanalexperimente war bereits bei den Rechnungen mit den Standardparametern befriedigend. In **Tab. B2.3** sind die Gütemaße für diese MISKAM-Rechnungen dargestellt.

	Korrelationskoeffizient	Trefferquote	normiertes mittleres Fehlerquadrat
AH	0.30	70 %	0.84
BH	0.67	30 %	0.64
DH	0.97	73 %	0.20
DW	0.95	67 %	0.45
EH	0.99	60 %	0.50
Jodry EH	0.86	63 %	0.49

Tab. B2.3: Gütemaße für die MISKAM-Rechnungen mit Standardparametern

Die Windkanalversuche DH, DW, EH sowie Jodry EH zeigen eine gute Übereinstimmung. Der Versuch AH weist dagegen einen deutlich geringeren Korrelationskoeffizienten und ein höheres normiertes mittleres Fehlerquadrat auf. Diese schlechteren Ergebnisse sind geprägt durch den Untersuchungspunkt 14. Dieser Punkt liegt im Windkanalmodell relativ nah an der

Linienquelle. Hier wirkt sich der Unterschied bei der Modellierung der Quellen zwischen Windkanal und numerischem Modell stark aus. Läßt man diesen quellnahen Punkt bei der Berechnung der Gütemaße weg, so verbessert sich z.B. der Korrelationskoeffizient auf 0.94. Dies deutet auf systembedingte Unterschiede beim Vergleich Windkanal - numerisches Modell hin (siehe Anfang des Kapitels B2).

In der folgenden **Tab. B2.4** ist zu erkennen, daß z.B. die Variation der Gebäudehöhe um eine Gitterbox im Bereich des Bankenareals (in der Tabelle mit „Geb. mod“ bezeichnet) eine Verbesserung der Trefferquote sowie des normierten mittleren Fehlerquadrats gegenüber der ersten Rechnung ergibt. Eine Veränderung der Rauigkeitslänge z_0 des Initialwindprofils von 0.1 m auf 0.5 m bewirkt nochmals eine geringe Verbesserung des normierten mittleren Fehlerquadrats. Durch den zusätzlichen Wechsel der Turbulenzparametrisierung vom K- zum E- ϵ -Ansatz verschlechtern sich alle verwendeten Gütemaße deutlich. Bei der Verwendung des Korrekturverfahrens nach Smolarkiewicz für die Ausbreitungsrechnung ergibt sich eine Verbesserung beim normierten mittleren Fehlerquadrat jedoch eine Verschlechterung bei der Trefferquote.

Als Fazit dieser Vergleiche ergeben sich z.B. für die Situation EH die besten Übereinstimmungen zwischen numerischem Modell und Windkanal bei der Modifikation der Gebäudehöhe und der Änderung der Rauigkeitslänge z_0 des Initialwindprofils. Turbulenzparametrisierung und Advektionsschema werden unverändert entsprechend der Standardrechnungen gewählt. Bei der Wahl des Advektionsschemas bzw. des Korrekturverfahrens nach Smolarkiewicz wurde die Verschlechterung der Trefferquote höher bewertet als die Verbesserung des normierten mittleren Fehlerquadrats, da diese Verbesserung allein auf der Erhöhung der berechneten Konzentration am Untersuchungspunkt 14 beruht. Dieser Untersuchungspunkt ist jedoch, wie oben beschrieben, für den Vergleich Windkanal - numerisches Modell weniger gut geeignet. Berücksichtigt man diesen Punkt nicht, so ergibt sich ein normiertes mittleres Fehlerquadrat von 0.52.

In weiteren Rechnungen für die Windkanalexperimente BH und AH wurde die beschriebene Wahl der Eingangsparameter überprüft. In beiden Fällen ergeben sich Verbesserungen in der Übereinstimmung von numerischem Modell und Windkanal.

	Korrelations- koeffizient	Trefferquote	normiertes mittleres Fehlerquadrat
EH Standard	0.99	60 %	0.50
EH Geb. mod.	0.99	73 %	0.47
EH Geb. mod., z0	0.99	73 %	0.46
EH Geb. mod., z0, E-eps	0.82	47 %	0.64
EH Geb. mod., z0, Smola.	0.99	60 %	0.41
BH Standard	0.67	30%	0.64
BH Geb. mod., z0	0.69	30 %	0.61
AH Standard	0.30	70 %	0.84
AH Geb. mod., z0	0.31	70 %	0.84

Tab. B2.4: Gütemaße für die MISKAM-Rechnungen mit modifizierten Parametern

In der Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz
„Untersuchungen zur Umwelt – „STUTTGART 21“ -
sind bisher erschienen:

Heft 1 (1996)

Kaltluft- und Windfeld-Berechnungen für den Raum Stuttgart im Zusammenhang mit der Planung für das Projekt „Stuttgart 21.“

Heft 2 (1996)

Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung „Stuttgart 21“ – Ist –Zustand -

Heft 3 (1996)

Hydrogeologie und Baugrund, Schutz der Mineral- und Heilquellen - eine Bestandsaufnahme und Bewertung im Zusammenhang mit der Planung für das Städtebauprojekt „Stuttgart 21“ -

Heft 4 (1997)

Schallimmissionsplan für den öffentlichen Straßen- und Schienenverkehr im Zusammenhang mit der Planung „Stuttgart 21“

Heft 5 (1997)

Städtebauprojekt „Stuttgart 21“ – Bestandsaufnahme und Bewertung für die Belange des Arten- und Biotopschutzes -

Heft 6 (1997)

Altlastenuntersuchung im Teilgebiet A1

Heft 7 (1997)

„Stuttgart 21“ – Pflege- und Entwicklungsplan Gäubahn -

Heft 8 (1998)

Kleinskalige klimatisch-lufthygienische Untersuchungen für das Gebiet A der Planung „Stuttgart 21“ - Entwürfe Jodry und Trojan -

Heft 9 (1998)

Prognosen zur verkehrsbedingten Schadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung „Stuttgart 21“

Heft 10 (Mai 1998)

Prognosen der Schallimmissionen für den öffentlichen Straßen- und Schienenverkehr im Zusammenhang mit der Planung „Stuttgart 21“