DMW

Diagnostisches Mikroskaliges Windfeldmodell

Handbuch zum Programm
gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 10

Berechnung und Visualisierung
mikroskaliger Strömungen
im Nahfeld von Gebäuden

Version 07.12.01 © Röckle

Gliederung

1 EINLEITUNG 3

1.1 ALLGEMEINES 3
1.2 VORAUSSETZUNGEN UND INSTALLATION 3
1.3 DEINSTALLATION 3

2 STRÖMUNGSBERECHNUNG MIT DMW 4

2.1 VORBEREITUNG 4
2.2 STRÖMUNGSPROGRAMM ANWENDEN 5
2.3 GRAFISCHE QUALITÄTSKONTROLLE UND AUSWERTUNG 5

3 STRÖMUNGSMODELLIERUNG MIT DMW 7

3.1 ALLGEMEINES 7
3.2 GITTEREINTEILUNG 8
3.3 PROGRAMMAUFRUF 9
3.4 PROGRAMMABLAUF 9
3.5 BESCHREIBUNG DER DATENSÄTZE 11
3.5.1 Eingabedateien 11
3.5.1.1 Steuerdatei 11
3.5.1.2 Gebäudedatei 16
3.5.2 Ausgabedateien 17
3.5.2.1 Ergebnisdatei 17
3.5.2.2 Protokolldatei 17

4 FPLOT – DARSTELLUNG DER STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE 18

5 ANHANG A FEHLERMELDUNGEN 23

6 ANHANG B DATEIFORMATE 28

6.1 DIGITALE HINDERNISDATEI 28
6.2 ERGEBNISDATEI MIT STRÖMUNGSKOMPONENTEN 29

7 ANHANG C BEISPIEL 30

7.1 ANWENDUNG DES MODELLS AM BEISPIEL „VENLOER STRAßE“ 30

8 ANHANG D VERIFIKATION 36

8.1 BONNER STRAßE 36
8.2 VENLOER STRAßE 41
8.3 U-FÖRMIGES EINZELHINDERNIS 45
8.4 KREUZUNG 47
8.5 PROFILE DER HORIZONTALEN STRÖMUNGSKOMPONENTEN 49
8.6 VERTIKALKOMPONENTEN 52

9 LITERATUR 54

10 INDEX 1

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Dieses Schriftstück stellt eine Benutzerführung zur Realisierung des in der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 10 „Umweltmeteorologie. Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle. Gebäude- und Hindernisumströmung“ beschriebenen Verfahrens dar. Die dem Programm zugrunde liegenden Algorithmen sind in dieser Richtlinie beschrieben. Hier werden die prinzipiellen Programmabläufe, die Programmbedienung sowie die Ein- und Ausgabeparameter beschrieben.

Das Programmpaket zur Simulation von mikroskaligen Strömungsfeldern besteht aus dem Strömungsmodul DMW (Diagnostisches Mikroskaliges Windfeldmodell) und einem Postprozessor (FPLOT). Mit Hilfe dieser Programme ist es möglich, die Strömung im Umfeld von Gebäuden abzuschätzen und darzustellen.

DMW berechnet bei vorgegebener Anströmung ein divergenzfreies 3dimensionales Windfeld, das die wesentlichen Einflüsse der Bebauung (Nachlaufzonen, Frontwirbelbereiche, Kanalisierungen usw.) beinhaltet. Die Strömungsfelder werden auf einem kartesischen Gitter berechnet. Horizontal werden äquidistante Maschenweiten verwendet. Vertikal kann eine beliebige Einteilung des Simulationsgebiets vorgenommen werden.

Zur Visualisierung der Modellergebnisse dient das Programm FPLOT. Es erzeugt HPGL-Graphiken, die mit geeigneten Programmen am Bildschirm dargestellt oder ausgedruckt werden können.

1.2 Voraussetzungen und Installation

Als eine der wichtigsten Voraussetzungen bei der Anwendung mikroskaliger Strömungsmodelle ist die Vorkenntnis des Anwenders auf dem Gebiet der Gebäudeumströmung zu erwähnen. Diese Vorkenntnisse ermöglichen zum einen die leichtere Interpretation der Ergebnisse, zum andern sind sie bei der Erfassung der relevanten Hindernisstrukturen nützlich.

Neben diesen fachlichen Gesichtspunkten ist folgende Hardware für praktische Anwendungen sinnvoll bzw. erforderlich:

- Die Programme (EXE) sind für PENTIUM®-PC´s oder kompatible optimiert. Für andere Systeme liegt der Quellcode in FORTRAN-90 bei
- Mindestens 8 MB RAM. Da das Programm in FORTAN-90 kodiert ist, hat es die Fähigkeiten größere Felder dynamisch zur Laufzeit zu allokieren. Je mehr Speicher zur Verfügung steht, desto größere Felder können berechnet werden.
- Große Festplatte (bei einer Simulation fallen schnell einige Megabyte an Daten an).

Nähere Angaben zur Installation sind in der Datei READ.ME auf der Datenträger enthalten.

Da das Datum nicht in die Berechnungen eingeht, gibt es kein Jahr 2000 Problem.

1.3 Deinstallation

Es werden keine Einträge in Systemdateien vorgenommen. Zur Deinstallation genügt es deshalb das angelegte Verzeichnis und die darin enthaltenen Dateien zu löschen.

2 Strömungsmodellierung – grundlegende Schritte

In diesem Abschnitt wird auf den prinzipiellen Ablauf einer Strömungssimulation eingegangen.

2.1 Vorbereitung

Die Strömungsmodellierung erfordert modellgerechte Informationen über die Hindernisstrukturen. Dazu ist wie folgt vorzugehen:

- Der zu untersuchende Bereich ist auf einer maßstäblichen Karte (1:1000 - 1:5000) zu markieren und die Abmessungen des Simulationsbereichs zu bestimmen. Der Ausschnitt sollte dabei so gewählt werden, dass möglichst viele Hindernisse, vor allem nahe am zu untersuchenden Bereich, parallel zum Gitter ausgerichtet sind. Damit lässt sich der Fehler, der bei der Diskretisierung schräg stehender Gebäude und bei der Berechnung des Initialwindfeldes auftritt, minimieren.

- Der Ausschnitt sollte so groß gewählt werden, dass unvermeidbare Fehler am Rand keine Rolle für das Beurteilungsgebiet spielen. Hindernisse, die vollständig außerhalb des Rechengebiets liegen, werden nicht berücksichtigt.

- Die Maschenweiten sind so klein wie möglich zu wählen. Maschenweiten unter einem Meter machen jedoch wenig Sinn und führen in der Regel nicht zu Verbesserungen des Ergebnisses. Die obere Grenze für die Maschenweite ergibt sich aus der Forderung, dass mindestens 3 Zellen in den Querschnitten der Straßenschluchten vorhanden sein sollten. Bei weniger Zellen werden z.B. Rotoren in Straßenschluchten nicht mehr aufgelöst.

- Der Winkel der y-Achse des zu untersuchenden Ausschnitts gegen die Nordrichtung ist zu bestimmen.

- Gebäude, die vom Rand des Simulationsgebiets durchschnitten werden, sollten vollständig eingegeben werden. Das Programm schneidet diese selbständig ab, rechnet aber für das Initialwindfeld mit den eingegebenen Abmessungen.

- Komplexe Strukturen (z.B. U-förmige Gebäude) sind durch überlappende Quader aufzulösen (siehe Bild 1).

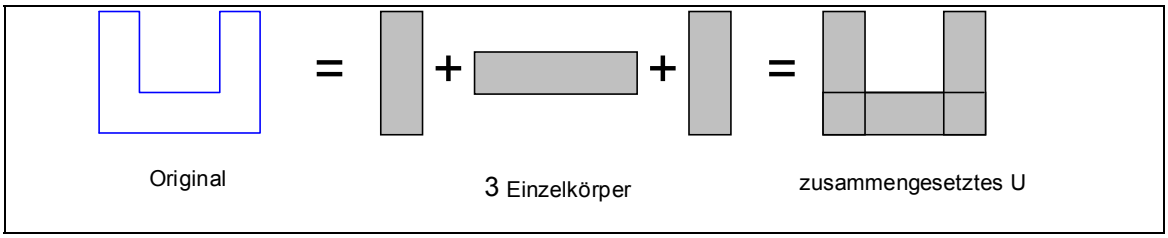


Bild 1: Zusammensetzen komplexer Gebäude

- Stehen mehrere Gebäude unterschiedlicher Höhe in einer Reihe, so sind die Kuben, beginnend mit der kleinsten Höhe der Einzelgebäude, zusammenzufassen. (Siehe Bild 2).

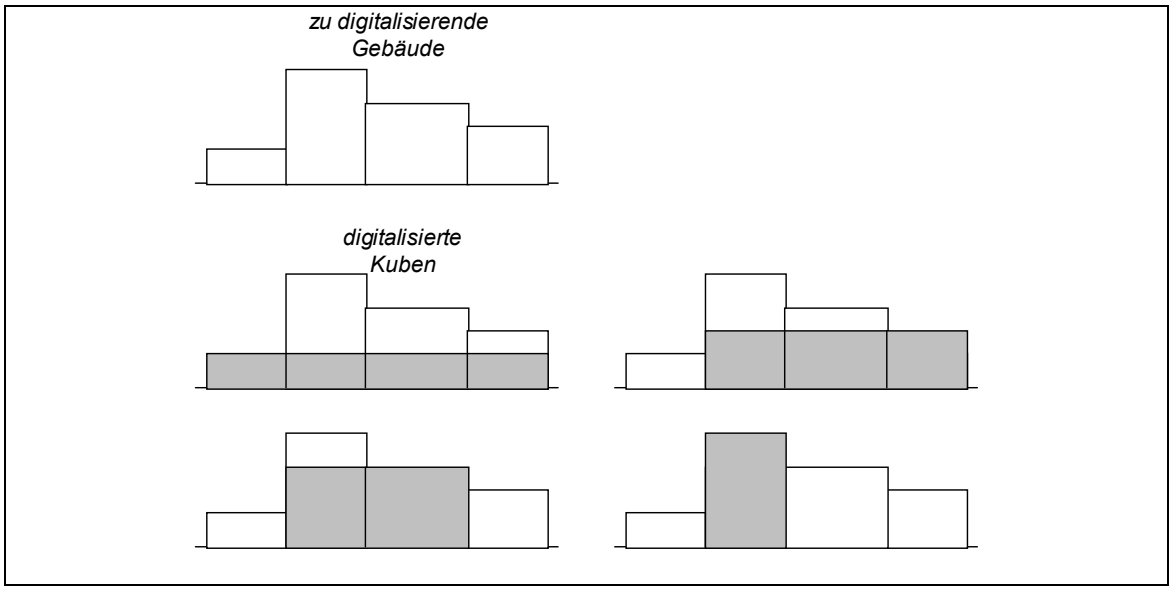


Bild 2: Digitalisierung von zusammenhängenden Hindernissen

- Bei Giebeldächern ist die mittlere Höhe zwischen First und Traufe anzugeben.

2.2 Strömungsprogramm anwenden

- Die Steuerdatei muss erstellt bzw. überprüft und angepasst werden. Die möglichen Einstellungen sind in Abschnitt 3.5.1.1 beschrieben.
- Nach Starten des Strömungsprogramms wird die Hindernisdatei auf Fehler untersucht.
- Das Strömungsmodul erzeugt in der Regel drei Dateien – die Ergebnisdatei mit den Strömungskomponenten, eine Hindernisdatei mit den diskreten Werten der Hindernisse und eine Protokolldatei, in der die Eingangswerte, Zwischenergebnisse usw. aufgeführt werden. Die Protokolldatei (.LOG) sollte in jedem Fall überprüft werden.
- Abschließend sollten die interessierenden Schnitte (z.B. das bodennahe Strömungsfeld) geplottet und geprüft werden.

2.3 Grafische Qualitätskontrolle und Auswertung

Die Kontrolle der Eingabedaten und der berechneten Felder ist nur nach grafischer Aufarbeitung sinnvoll durchzuführen.

Häufig tritt auch das Problem auf, dass Gebäuderänder beim Übertragen auf das Rechengitter so springen, dass dadurch einzelne Gebäude wesentlich kleiner werden. Dies soll an einem Beispiel (Bild 3) verdeutlicht werden. Im oberen Fall springen die Wände ungünstig auf das Gitter und das Gebäude wird schlecht aufgelöst. Verschiebt man nun alle Hinderniskoordinaten um ca. eine halbe Maschenweite, so wird das Gebäude schon wesentlich besser aufgelöst.

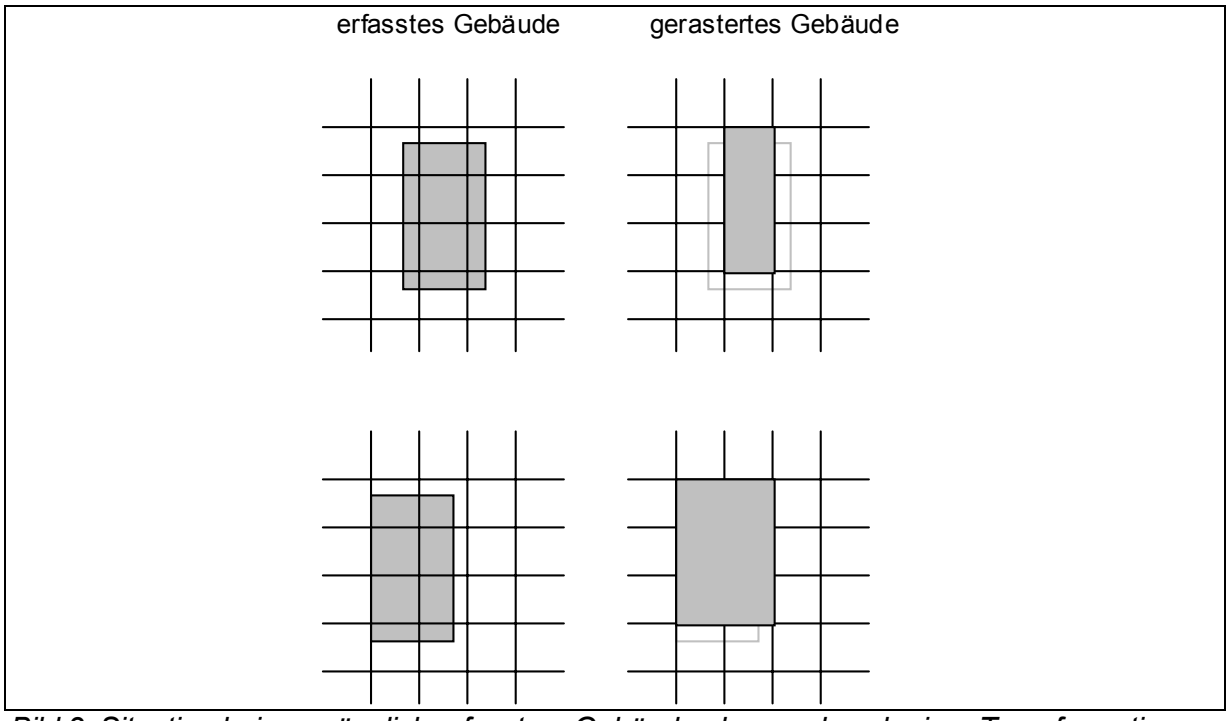


Bild 3: Situation bei ursprünglich erfasstem Gebäude oben und nach einer Transformation der x-Koordinaten unten.

Die Auswerteprogramme ermöglichen folgende Darstellungen:

- Hinderniskonfiguration in erfasster und diskreter, d.h. auf das Gitter übertragener Form
- Das berechnete Strömungsfeld in skalarer und vektorieller Form

3 Strömungsmodellierung mit DMW

3.1 Allgemeines

DMW ist ein diagnostisches Strömungsprogramm, das die Strömung um quaderförmige Hindernisse berechnet. Ausgegangen wird von dem in der VDI-Richtlinie 3783/10 beschriebenen Verfahren, massenkonsistente Windfelder zu berechnen. Dabei wird die gewichtete mittlere quadratische Abweichung eines Ausgangswindfeldes zum resultierenden Windfeld minimiert, wobei als physikalische Forderung die inkompressible Form der Kontinuitätsgleichung eingeht. Das Initialwindfeld sollte deshalb bereits die wesentlichen dynamischen Effekte, die im Bereich von scharfkantigen Hindernissen auftreten, berücksichtigen.

Zunächst wird die Hindernisgeometrie analysiert und jeder Gitterpunkt bestimmten Kategorien zugeordnet. Die horizontalen Strömungskomponenten werden auf die Werte der ungestörten Anströmung gesetzt und dann in den entsprechenden Zonen je nach Abstand zu den Hindernissen angepasst. Die Maße für die Einteilung in die jeweiligen Regime und der Abstände der Einflussbereiche sind der VDI-Richtlinie 3783/10 entnommen.

Die Umströmung von Gebäuden zeichnet sich durch folgende, in Bild 4 dargestellten Eigenschaften aus:

- im Bereich des nahen Nachlaufs werden die Strömungskomponenten in Vorzeichen und Betrag geändert
- im Bereich des fernen Nachlaufs passt sich die Strömung mit zunehmendem Abstand vom Hindernis der ungestörten Strömung an
- im Bereich der Frontwirbel werden die wandsenkrechten Strömungskomponenten auf Null gesetzt
- im Bereich von Straßenschluchten wird ein Rotor, angetrieben von der Überdachströmung, definiert.

Dieses Initialwindfeld wird durch eine Variationsrechnung, bei der die quadratische Abweichung zwischen Initialwindfeld und resultierendem Windfeld minimiert wird, so geändert, dass die Massenerhaltung erfüllt wird.

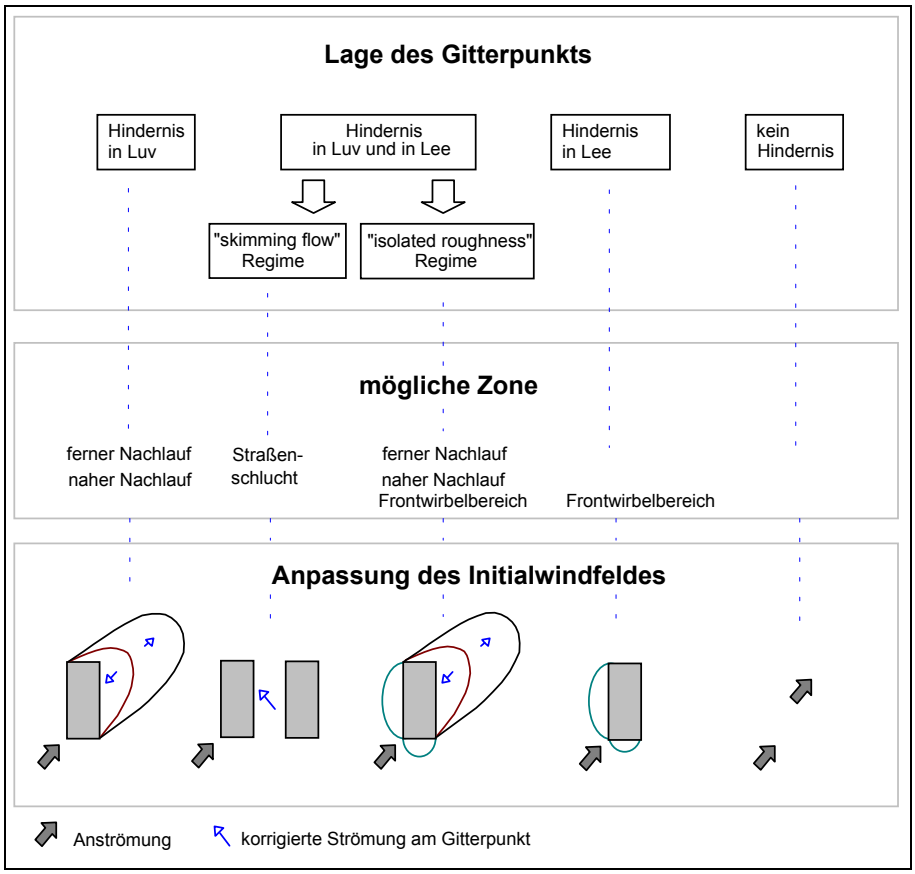


Bild 4: Initialisierungsverfahren für das Strömungsmodell

3.2 Gittereinteilung

Das Modell arbeitet auf einem kartesischen Gitter. In dem in Bild 5 dargestellten Gitter werden die Hindernisse als undurchströmbare Zellen behandelt. Die vertikalen Abstände des Gitters sind variabel, so dass mit relativ wenigen Schichten bis in 2 bis 3fache Hindernishöhe gerechnet werden kann. Bei einzelnen hohen Gebäuden (siehe Richtlinie) kann die Gebäudehöhe gleich der Höhe des Simulationsgebietes sein. Die horizontalen Maschenweiten sind dagegen äquidistant. Neben einer einfacheren programmtechnischen Realisierung kommt hier ein wesentlich kleinerer numerischer Fehler zum Tragen.

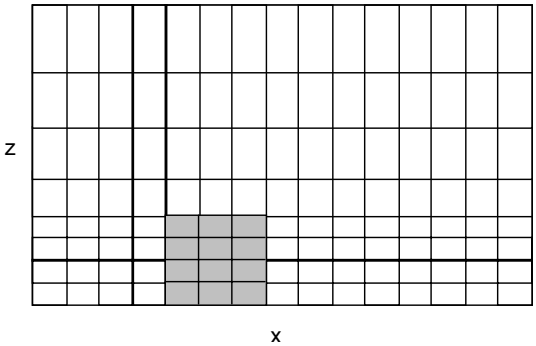


Bild 5

Rechengitter mit Hindernis (Vertikalschnitt)

Um die Strömung für jedes Volumenelement DX·DY·DZ divergenzfrei zu machen, wurde ein gestaggertes Gitter benutzt. Die Geschwindigkeitskomponenten befinden sich jeweils um eine halbe Maschenweite gegenüber dem zentrierten Gitter versetzt.

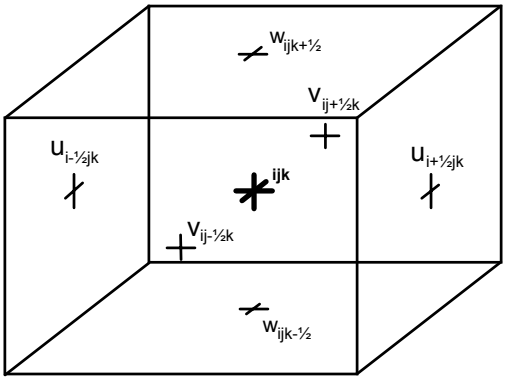


Bild 6: Verwendetes Gitter

Bei einem Gitter mit N Zellen in einer Richtung sind folglich N+1 Punkte mit der entsprechenden Geschwindigkeitskomponente vorhanden. Auf dem zentralen Gitter werden λ (Lagrange Multiplikatoren) und ε (Divergenzfeld des Initialwindfeldes) spezifiziert. Das Rechengebiet umfasst NX·NY·NZ Punkte.

3.3 Programmaufruf

Die Steuerung des Programms geschieht über sogenannte Steuerdateien (siehe Kapitel 3.5.1.1). Diese sind mit beliebigen ASCII-Editoren bearbeitbar.

Das Programm wird mit dem Kommando

```
DMW  <Steuerdateiname>
```

in einem DOS-Fenster gestartet.

<*Steuerdateiname*> ist der Name der Eingabedatei, die die entsprechenden Dateinamen und Variablen besetzt.

Einige wichtige Eingabedaten bzw. Zwischenergebnisse werden zur fortlaufenden Kontrolle auf dem Bildschirm protokolliert. Zusätzlich stehen weitere Informationen in einer Protokolldatei (LOG-File), die zumindest nach einem unbeaufsichtigten Rechenlauf zu kontrollieren ist.

3.4 Programmablauf

Der Ablauf des Programms lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Steuerdatei lesen

Nach dem Starten des Programms werden aus der Steuerdatei die meteorologischen, numerischen und die den Programmablauf steuernden Werte eingelesen. Ist die angegebene Steuerdatei nicht im aktuellen Verzeichnis vorhanden, dann wird interaktiv ein gültiger Dateinamen abgefragt.

Hindernisdatei lesen und auswerten

Die Hindernisdatei wird eingelesen und die Gebäude auf das Gitter übertragen, d.h. jedes Hindernis wird durch die Indizes der belegten Boxen gekennzeichnet.

Außerdem wird ein sogenanntes Randkennungsfeld bestimmt. Diese Variable erhält für jede Box eine Kennung, welche Ränder nicht durchströmt werden dürfen. Das Feld wird beim späteren Iterieren benötigt, da dort die entsprechenden Randbedingungen erfüllt werden müssen.

Die bebaute Fläche und das umbaute Volumen werden bestimmt, da aus diesen Werten eventuell die Bodenrauhigkeit und die Nullpunktsverschiebung bestimmt werden müssen.

Digitale Hinderniskonfiguration abspeichern

Die „gerasterten“ Hindernisdaten werden in einer Datei mit dem Namen der Ergebnisdatei und der Endung .IGB abgelegt. Auf diese Datei greift das Grafikmodul zu.

Anströmprofil bestimmen

Mit Hilfe der Anströmvorgaben (Richtung, Geschwindigkeit und Ausbreitungsklasse) in der Steuerdatei, der berechneten oder eingelesenen Bodenrauhigkeit und der Nullpunktverschiebung wird die Grundströmung berechnet und auf das Gitter übertragen.

Initialwindfeld bestimmen

Im Bereich der Hindernisse wird dieses Strömungsfeld nun modifiziert. Zunächst wird unabhängig von der Anströmrichtung für die x- bzw. y-Richtung festgestellt, in welchem Strömungsregime jeder Gitterpunkt liegt. Man unterscheidet

a) Die Gebäude stehen so dicht zusammen, dass die Strömung nicht in die Lücken eingreift, sondern sich in diesen Lücken eine von der Grundströmung angetriebene Zirkulation einstellt („Skimming-flow regime“).

b) Der Abstand der Gebäude ist etwas größer, aber es kommt doch noch zu Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Gebäuden, d.h. naher Nachlauf und Fußwirbelzonen überlappen sich teilweise („Wake-interference regime“).

c) Die Gebäude stehen so weit auseinander, dass keine Wechselwirkungen mehr auftreten („Isolated-roughness regime“).

Dann ist für jeden Gitterpunkt zu untersuchen, ob er sich im nahen oder fernen Nachlauf, bzw. in der Fußwirbelzone eines oder mehrerer Gebäude befindet. Liegt ein Gitterpunkt in mehreren Zonen gleichzeitig, so wird seine Lage in der Reihenfolge - naher Nachlauf - Fußwirbelzone - ferner Nachlauf bewertet. Anhand der zwei Merkmale - Regime - und - Lage bezüglich Hindernissen - lassen sich nun die Geschwindigkeitskomponenten ändern. Man erhält ein divergenzbehaftetes Initialwindfeld.

Iteration zur Beseitigung der Divergenz

Diese Divergenzen lassen sich durch Lösen der Poisson-Gleichung mit einem SOR-Verfahren minimieren. Iteriert wird bis ein vorgegebenes Abbruchkriterium erfüllt ist.

Bestimmung des divergenzfreien Windfeldes

Mit den Lagrange’schen Multiplikationsfaktoren lässt sich das divergenzfreie Strömungsfeld berechnen. Da die Randbedingungen für undurchströmbare Ränder hier nicht beachtet werden, sind nachträglich die Geschwindigkeitskomponenten in den Hindernissen auf Null zu setzen. Zur Kontrolle erfolgt die Ausgabe der maximalen Divergenzen für jede Schicht.

Beseitigen der Restdivergenzen

Da vor allem bei vertikal nicht-äquidistanten Maschenweiten größere Restdivergenzen (10^{-2} 1/s) vorhanden sein können, werden in einem weiteren Schritt diese Divergenzen beseitigt, indem die Geschwindigkeitskomponenten der Ausströmränder jeder Box angepasst werden.

Ergebnisse in Datei ablegen

Anschließend werden die Ergebnisse je nach Dateiendung formatiert oder formatfrei in eine Datei geschrieben, so dass weitere Programme darauf zugreifen können.

Ausgabe von Schnitten in die LOG-Datei

Eine Möglichkeit der Ergebniskontrolle ist die Ausgabe von Horizontal- oder Vertikalschnitten in der Protokolldatei.

3.5 Beschreibung der Datensätze

3.5.1 Eingabedateien

Die Eingabedateien sind ASCII-Dateien. Dies ermöglicht das Editieren der Eingaben sowohl unter DOS als auch unter WINDOWS®, wobei unter WINDOWS® Umlaute in Dateinamen vermieden werden sollten.

Die Eingaben sollten mit einem Kommentar versehen werden, so dass man sich nach einer Einarbeitungszeit gut zurechtfindet.

An Eingabedateien werden auf jeden Fall eine Steuerdatei und eine Hindernisdatei benötigt.

3.5.1.1 Steuerdatei

Die wesentlichen meteorologischen und numerischen Eingabedaten für das Strömungsprogramm werden aus dieser Datei zeilenweise gelesen. Die Angabe der Daten hat folgende Form:

XYKennung = Wert

Die ersten zwei Buchstaben (*XY*) jeder Zeile kennzeichnen die Eingabegröße. Diese müssen linksbündig in der Datei stehen. Nach der Kennung sollte ein Gleichheitszeichen ('**=**'), gefolgt von einer Zahlenangabe oder von Text, stehen. Ist eine Zeile nicht interpretierbar, so wird eine Fehlermeldung ausgegeben. Leerzeilen sowie Kommentarzeilen (1. Zeichen '**!**') werden ignoriert.

Mögliche Eingaben für die Kennungen sind:

Kommentare

`!` - Kommentare
Angaben hinter dem Ausrufezeichen werden nicht ausgewertet. Hiermit lassen sich einzelne Zeilen kommentieren.
Leerzeilen werden übersprungen.

Überschrift und Dateinamen

`TI` - Überschrift zur Kennzeichnung des Ergebnisprotokolls
(String mit max. 80 darstellbaren Zeichen)

GE - Dateiname des Hinderniskatasters
(String mit max. 128 Zeichen)

ER - Name der Datei in der die Ergebnisse (Strömungsfelder) abgelegt werden sollen (String mit max. 128 Zeichen). Der Name muss einen Platzhalter in der Form $$$ aufweisen, wenn mehrere Anströmrichtungen in einem Rechenlauf simuliert werden.

Das Ausgabeformat wird je nach angegebener Dateiendung eingestellt:

.UVW – ASCII-formatierte Ausgabe der Gitterinformation sowie der u-, v- und w-Komponenten
.DMN – Ausgabe im AUSTAL2000-Format (.dmna-Datei mit Gitterinformation, .dmnb-Datei mit Strömungskomponenten)
.ERG – binäre Ausgabe der Ergebnisse zum Darstellen mit FPLOT

weitere Endungen werden wie Endung .ERG behandelt

PR - Name der Datei (String mit max. 128 Zeichen) in der der Rechenablauf sowie Zwischenergebnisse und ggf. Schnitte protokolliert werden.

Modellparameter

Wahl des Modellgebiets
NX - Anzahl der Zellen in x-Richtung
NY - Anzahl der Zellen in y-Richtung
NZ - Anzahl der Zellen in z-Richtung
Das Modellgebiet umfasst NX·NY·NZ Zellen. Die horizontalen Abmessungen des Gebiets ergeben sich somit zu NX·DX in x-Richtung, NY·DY in y-Richtung. Vertikal wird die Abmessung durch die Summe der DZ bestimmt.

X0 - linker Rand des Modellgebiets
Y0 - vorderer Rand des Modellgebiets
Das Modellgebiet beginnt bei den Koordinaten X0,Y0 und endet bei X0+NX·DX bzw. Y0+NY·DY. Diese Angaben sind vor allem dann nützlich, wenn aus einem größeren digitalisierten Ausschnitt nur ein Teilbereich untersucht werden soll. Voreingestellt ist für beide Koordinaten der Wert 0.

X1 - rechter Rand des Modellgebiets
Y1 - hinterer Rand des Modellgebiets
Wahlweise kann das Modellgebiet auch durch Angabe des rechten und hinteren Randes angegeben werden. Die Anzahl der Maschen in x- und y-Richtung werden dann über die Beziehungen NX=(X1-X0)/DX bzw. NY=(Y1-Y0)/DY durch Rundung bestimmt. Wurde NX und NY explizit angegeben, werden X1 und Y1-Angabe ignoriert.

Wahl der Maschenweiten
DX - Maschenweite in x-Richtung [m]
DY - Maschenweite in y-Richtung [m]
DZ - Maschenweite in z-Richtung [m]
(Bei variablen vertikalen Maschenweiten müssen mehrere Zeilen mit DZ=... angegeben werden. Dabei ist mit der untersten Schicht zu beginnen.)
Die horizontalen Maschenweiten sollten im Bereich zwischen 1 m und 5 m liegen. Bei kleineren Maschenweiten ist zu bedenken, dass auch die Strukturen besser aufgelöst werden müssen, d.h. es sind mehr Information zu berücksichtigen. Bei größeren Maschenweiten werden die Hindernisstrukturen nur noch sehr grob oder gar nicht mehr aufgelöst. Um Wirbelstrukturen zwischen Hindernissen (z.B. in Straßenschluchten)

noch aufzulösen, sollten mindestens 3 Zellen zwischen den Hindernissen liegen. Bei einer Straßenbreite von 10 m dürfen die horizontalen Maschenweiten folglich nicht über 3,4 m liegen.
Weiterhin ist zu bedenken, dass bei einer anschließenden Ausbreitungsrechnung sich die Quelle nach Möglichkeit nicht in der zu beurteilenden Zelle befindet, sondern mindestens eine Zelle davon entfernt liegt. Voreingestellt sind in allen 3 Raumrichtungen Maschenweiten von 3 m. Es wird empfohlen die horizontalen Maschenweiten DX und DY gleich groß zu wählen.

RA - Randbedingung für den oberen Modellrand.
(Text mit Stichwort 'offen' oder 'zu')
Ein offener oberer Rand bedeutet, dass sich die w-Komponente einstellen kann – ein geschlossener oberer Rand bedeutet, dass die w-Komponente am oberen Rand verschwindet (z.B. um eine starke Inversion zu modellieren). Wird nichts angegeben oder ist das Stichwort nicht zuzuordnen, so wird mit einem offenen Rand gerechnet.

AH - $\alpha_{horizontal}$

AV - $\alpha_{vertikal}$

Diese Parameter steuern, in welche Richtung die Verteilung der Korrekturen der Restdivergenzen erfolgen soll.
AH<AV - überwiegend Gebäudeumströmung
AH=AV - Um- und Überströmung zu gleichen Teilen
AH>AV - überwiegend Gebäudeüberströmung
Vergleiche haben gezeigt, dass hohe Einzelgebäude zu stark überströmt werden. Es empfiehlt sich ein Verhältnis AH/AV von etwa 0.8 zu wählen. Dies ist die Voreinstellung.

RG - Scanradius für Glättungsprozedur
Um die vor allem bei kleinen horizontalen Maschenweiten relativ harten Übergänge im Strömungsfeld zu reduzieren, kann eine abstandsgewichtete Glättung des Initialwindfeldes durchgeführt werden. Empfohlen werden Werte in der Größe der Nullpunktsverschiebung. Voreingestellt sind 10 m.

AB - Abbruchschranke für die Iteration.
Dieser Wert sollte im Bereich 10^{-5} bis 10^{-7} liegen. Bei noch kleineren Werten (z.B. 10^{-8}) kommt man in den Bereich der Rechengenauigkeit der verwendeten REAL*4 Operationen, so dass diese Abbruchschranke in der Regel nicht mehr erreicht wird. Die Iterationen enden, wenn das Abbruchkriterium die vorgegebene Schranke unterschreitet oder nach 1000 Iterationen mit einer entsprechenden Meldung. Voreingestellt ist ein Wert von 10^{-7}.

Meteorologische Daten

NO - Winkel der Nordrichtung gegen die x-Achse
Die Angabe erfolgt im mathematischen Sinne, d.h. wenn die y-Achse nach Norden zeigt, dann ist NO=90. Dieser Wert ist voreingestellt.

DD - Windrichtung in Grad (N=360°, E=90°, S=180°, W=270°)
Sollen mehrere Windrichtungen in einem Rechenlauf simuliert werden, so sind hinter dem Gleichheitszeichen 3 Werte in der Form $DD=D_{Anfang},D_{Ende},D_{Schrittweite}$ anzugeben. D_{Anfang} stellt die erste zu simulierende Windrichtung dar. Im Abstand von $D_{Schrittweite}$ werden im Folgenden die Windrichtungen bis D_{Ende} simuliert. Sollen z.B. alle Windrichtungen in 10°-Schitten untersucht werden, ist DD=10,360,10 anzugeben.

Vergessen sie nicht den Ergebnisdateinamen mit einem Platzhalter ($$$) zu versehen. Lautet die Ergebnisdatei z.B. BSP$$$.ERG, so werden im obigen Beispiel die Dateien BSP010.ERG bis BSP360.ERG angelegt.

UR - Anströmgeschwindigkeit in der Höhe ZR, bzw. wenn ZR nicht angegeben wird, am oberen Modellrand (in m/s)

ZR - Höhe in der die Windgeschwindigkeit UR herrschen soll. Angaben in m.
Diese Angabe muss größer als D0+Z0 sein.

D0 - Vorgabe einer Nullpunktsverschiebung („Zero-plane displacement“) in Metern. Wenn nicht vorgegeben, erfolgt die Berechnung aus der Hindernisdichte.

Z0 - Rauhigkeitslänge in m.
Wenn nicht vorgegeben, erfolgt die Berechnung aus der Bebauungsdichte. Zum Vergleich verschiedener Bebauungsvarianten, bei denen sich im Simulationsgebiet nur wenig ändert, sollten D0 und Z0 festgehalten werden, d.h. es wird eine Simulation für die erste Variante durchgeführt und die Größen D0 und Z0 dann bei den verbleibenden Varianten vorgegeben.

UV - Vorgabe eines Anströmprofils in Form der u- und v-Komponente.
Manche Anwendungen (z.B. Strömungsberechnung für AUSTAL2000) machen die Vorgabe eines vertikalen Strömungsprofils erforderlich. Dies erlaubt z.B. die Drehung des Windes mit der Höhe. u- und v-Komponente sind als die gitterparallelen Geschwindigkeitskomponenten in m/s beginnend mit der untersten Schicht vorzugeben. UREF darf in diesem Fall nicht angegeben werden. Auch eine fortlaufende Berechnung für mehrere Anströmrichtungen (DD=10,360,10) ist nicht vorgesehen.

Protokollsteuerung

SH - Ausgabe von Horizontal- bzw. Vertikalschnitten.
Dargestellt können die Geschwindigkeitskomponenten (u,v,w), die Lagrange'schen Multiplikationsfaktoren (λ) und/oder die Divergenzen werden. Die Syntax weicht etwas von den anderen Angaben ab, da in einer Zeile anzugeben ist was dargestellt werden soll und wo der Schnitt zu erfolgen hat. SHow=<Variable>,<Schnitt>=<Index>
Nach dem ersten Gleichheitszeichen folgt die Kennung der Variablen (U für die u-Komponente, V für die v-Komponente, W für die w-Komponente, L für die Lagrangeschen Multiplikatoren, D für die Divergenzen und K für Klassifikationen). Danach folgt durch Komma getrennt die Angabe zum Schnitt. <Schnitt> kann sein I, J oder K und <Index> ist der Schnittindex.
In der Grundeinstellung werden keine Schnitte ausgegeben.

IN - Der Informationslevel steuert die Menge der am Bildschirm oder in die Protokolldatei ausgegebenen Informationen. Bei 0 werden nur die Eingangsdaten und das Ergebnis angezeigt. Bei 1 erfolgt zusätzlich die Ausgabe von Zwischenergebnissen. Voreingestellt ist der Wert 0.

Notwendige Angaben sind

1. Der Dateiname der Hindernisdatei **GE**=... und, sofern Ergebnisse abgespeichert werden sollen, der Dateiname der Ergebnisdatei **ER**=...
2. Die Gitterauslegung, d.h. die Anzahl der Zellen in jeder Richtung (**NX,NY,NZ**) oder alternativ (**X0,X1,Y0,Y1**).
3. Die Anströmung über Windrichtung **DD**, Referenzgeschwindigkeit **UR** und Referenzhöhe **ZR**.

Voreinstellungen

Für die anderen Variablen werden Standardeinstellungen vorgenommen, wenn diese nicht bzw. mit Null angegeben werden. Die Standardeinstellungen sind:

Größe	Voreinstellung
Leerzeile als Überschrift	**TI**=““
Ergebnisdatei	**ER**gebnis=DMW.ERG
Protokolldatei	**PR**otokoll=DMW.LOG
Linker unterer Eckpunkt des Simulationsgebietes	**X0**=0.0, **Y0**=0.0
Winkel der Nordrichtung gegen die x-Achse	**NO**=90.0
alle Maschenweiten 3 m	**DX**=3.0, **DY**=3.0, **DZ**$_i$=3.0
Nullpunktsverschiebung	**D0** Bestimmung aus Bebauungsverhältnissen
Bodenrauhigkeit	**Z0** Bestimmung aus Bebauungsverhältnissen
α	**AH**=0.8, **AV**=1.0
oberer Rand durchlässig	**RA**nd=oben offen
Iterationsende	**AB**bruchschranke=1.0E-7
wenig Informationen zur Laufzeit	**IN**fo=0

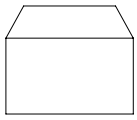
Beispiel für eine Steuerdatei

```
TITEL  =Simulation X-Stadt, Westwind
! Dateien
GEBAEUDE      =XSTADT.DAT
ERGEBNIS      =XSTADT.ERG

! Randbedingung für oberen Modellrand
RAND          =oben auf
! Alpha horiz. und vert.
AH     = 0.8
AV     = 1.

! Gitteraufteilung
NX     = 40
NY     = 40
NZ     = 15
! Maschenweiten des Gitters
DX     =  3.
DY     =  3.
DZ     =  3.         ! äquidistante Einteilung

NO     =  90.        ! Winkel zwischen x-Achse und Nordrichtung
DD     = 270.        ! Windrichtung bzgl. Koordinatensystem
UR     =   4.        ! Windgeschwindigkeit in der Höhe zref [m/s]
ZR     = 50.0        ! Referenzhöhe in m

! eventuell D0=... und Z0=... setzen

! Schnitte in der Protokolldatei ausgeben
! Horizontalschnitt, unterste Schicht, u- und v-Komponente
SHow=UV,K=1

INFO=1
Abbruch=1.E-6        ! Abbruchschranke
```

3.5.1.2 Gebäudedatei

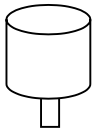
Der Name der Gebäudedatei wird in der Steuerdatei durch GE=Dateiname spezifiziert. Die in der Richtlinie beschrieben Realisierung sieht folgende Hindernisse vor:

Kuben Gebäude oder Gebäudeteile



Komplexe Gebäude müssen durch mehrere Quader aufgelöst werden. Diese Quader sitzen in der Regel am Boden auf (Gebäude). Quader, die in x-, y- oder z-Richtung kleiner als eine Maschenweite sind, werden nicht berücksichtigt.

Bäume Bäume werden als „schwebende“ Zylinder betrachtet. Der Stamm wird nicht berücksichtigt. Die Krone wird als porös angesehen.



Aufbau der Datei

Hinter der Kennung für die Art des Objekts folgen Zahlenangaben, die die Lage des Hindernisses im Simulationsgebiet beschreiben. Diese Daten müssen in einem festen Format vorliegen. (Format nach FORTRAN-Konventionen: `(A1,2F5.1,2(2X,4F7.1))`)

In der folgenden Tabelle sind die Angaben für die einzelnen Kennungen zusammengestellt.

Objekt	Kennung	Lageinformation
Kubus (normal)	**Q**	Zu,Zo, Xl,Xr,Xr,Xl, Yh,Yh,Yv,Yv
Kubus (schräg)	**C**	Zu,Zo, X1,X2,X3,X4, Y1,Y2,Y3,Y4
Baum	**M**	Zu,Zo, Xm,Ym, Rad

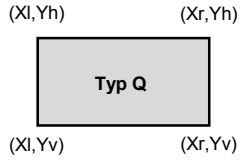
Dabei bedeutet:

Q - Kubus (normal) - am Rechengitter ausgerichtetes Gebäude
C - Kubus (schräg) - schräg zum Rechengitter verlaufendes Gebäude

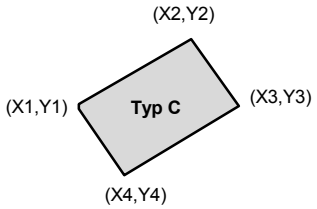
Zu - Höhe des unteren Hindernisrandes (in der Regel 0.0 m für Erdoberfläche)
Zo - Höhe des oberen Hindernisrandes.

Die folgenden Koordinatenangaben beziehen sich auf die linke untere Ecke des Rechengebiets:

Xl - linker Rand des Hindernisses
Xr - rechter "
Yv - vorderer Rand des Hindernisses
Yh - hinterer "

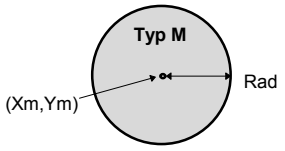


Xi - die 4 Eckpunkte des schräg im Rechengitter stehenden Quaders
Yi - "



Diese Punkte sind, beginnend mit dem am weitesten links liegenden Eckpunkt, im Uhrzeigersinn anzugeben.

Xm - Lage des Kreismittelpunktes
Ym - Lage des Kreismittelpunktes
Rad - Radius des Kreises



Alle Angaben haben in Metern zu erfolgen.

3.5.2 Ausgabedateien

Werden für die Ausgabedateien Namen angegeben, die bereits existieren, so werden die Dateien !

3.5.2.1 Ergebnisdatei

Die Ergebnisdatei enthält in formatfreier Form (binär) einen Dateikopf mit den wesentlichen Eingangsdaten für die Simulation sowie die 3dimensionalen Felder der Strömungskomponenten.

Eine nähere Beschreibung über den Aufbau dieser Datei findet sich im Anhang (Seite 29).

3.5.2.2 Protokolldatei

In der in der Steuerdatei angegebenen Protokolldatei (voreingestellt ist DMW.LOG) werden die wichtigsten Eingabedaten und Zwischenergebnisse protokolliert. Mit dem INFO-Parameter kann der Umfang des Listings, mit dem SHOW-Parameter die Schnitte und die darzustellenden Variablen gesteuert werden. Nach Beendigung eines Laufes sind folgende Punkte zu überprüfen:

- Stimmen die übernommenen Eingabedaten?
- Sind die berechneten Maximal- und Minimalwerte der Strömungskomponenten in einem akzeptablen Bereich?
- Wurde bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums iteriert oder ist nach 1000 Iterationen abgebrochen worden?
- Sind die Restdivergenzen in einem akzeptablen Bereich?
- Wurde der Rechenlauf ordentlich beendet?

Bei Unstimmigkeiten sind zunächst die Eingabedaten zu überprüfen. Kritische Punkte (zu hohe Geschwindigkeiten, relativ große Restdivergenzen) lassen sich anhand der Daten oder durch Plotten der Ergebnisse lokalisieren. Abhilfe ist in manchen Fällen durch kleine Modifikationen der Hindernisabmessungen zu erreichen.

4 FPLOT – Darstellung der Strömungsverhältnisse

Das Programm FPLOT dient zur Darstellung von Strömungsfeldern. Es erzeugt eine HPGL-Datei (HPGL.PLT), die mit Hilfsprogrammen auf dem Bildschirm oder auf dem Drucker ausgegeben werden kann. Einige Windows-Anwendungen, die einen HPGL-Import erlauben, ermöglichen ebenfalls das Einbinden und die Ausgabe dieser Datei.

Aufruf:

```
FPLOT <DMW_Datei> [Optionen]
```

<DMW_Datei>
Der Dateiname der Datei mit dem von DMW erzeugten Strömungsfelder ist anzugeben. Wird der Dateiname ohne Endung angegeben, so wird er mit .ERG ergänzt.

[Optionen]
Folgende Einstellungen können angegeben werden:

/DEbug	mehr Bildschirm-Ausgabe beim Einlesen der Daten, um evtl. Fehler zu lokalisieren
/DRaft	etwas schnellere Plots, da bei dieser Einstellung die Hindernisse nicht schraffiert werden.
/Fill=ii	Hindernisse werden mit Stiftnummer ii vollständig ausgefüllt. Der entsprechenden Stiftnummer kann dann bei der Ausgabe eine Farbe oder eine Graustufe zugeordnet werden. Voreingestellt ist eine schräge Schraffur (45°) mit Stift 1.
/L:pos	Die Position der Legende kann modifiziert werden. Voreingestellt ist die Legende rechts von der Abbildung. pos kann sein: ULi (unten links), URi (unten rechts), ROi (rechts oben), RUi (rechts unten), NOi (keine Legende), XYi (Position der Legende wird abgefragt). i gibt die Rahmendicke in 0.1 mm an.
/M	Statt der Achsenbeschriftung (Markierungen mit Längenangaben) wird eine Längenskala in der Legende ausgegeben.
/N	Bei Angabe dieser Option werden einige Angaben abgefragt: Es kann der über dem Plot eingetragene Titel eingegeben oder die Art spezifiziert werden, in der die Hindernisse einzutragen sind. Voreingestellt sind für den Titel die Angaben in der Strömungsdatei und für die Hindernisse die diskrete Darstellung mit Hintergrund.
/O	Originalhindernisse werden statt der diskretisierten Hindernisse dargestellt.
/P=datei	Angabe eines Dateinamens der für die Plotausgabe verwendet werden soll. Voreingestellt ist FPLOT.PLT.
/X:...	Ausschnitt plotten (nur beim Horizontalschnitt). Die Koordinaten des Ausschnitts in der Form Xvon,Xbis,Yvon,Ybis angeben. Ansonsten werden die Koordinaten interaktiv abgefragt. Sie müssen innerhalb der Grenzen des Simulationsgebiets liegen.

Zusätzlich benötigte Dateien:

LESDIG.DEF	muss vorhanden sein, wenn ein Hintergrund unterlegt werden soll. Dies können beispielsweise Straßenzüge usw. sein. (Näheres in der Beschreibung LESDIG)
FPLOT.INI	enthält die Vorgaben für den Plot (Größe des Plots, Zeichenhöhe, ...). Wenn für FPLOT und CPLOT die gleichen Daten verwendet werden sollen, kann alternativ eine Datei PLTDEF.INI erstellt werden.
FPLOT.ISO	bei Isoliniendarstellungen (siehe unten)
FPLOT.RAS	bei Farbrasterdarstellungen (siehe unten)
DMW_Datei.IGB	Datei mit diskretisierten Hindernissen. Diese Datei wird bei der Berechnung des Strömungsfeldes angelegt.
SIMPLX.STY	Fontdateien, die zur Ausgabe von Schrift benötigt werden.
SWISSM.STY	Diese müssen im Verzeichnis \RPLOT auf Laufwerk C: stehen.

Darstellungen

Die Geschwindigkeitskomponenten sind auf einem gestaggerten Gitter definiert. Zur Darstellung von Vektoren und skalaren Größen wie der Geschwindigkeit werden die Komponenten durch einfache Mittelung auf das zentrale Gitter übertragen.

a) vektorielle Größen

Die Stromlinien, Trajektorien und Vektoren werden mit Stift 2 geplottet.

S **Stromliniendarstellung**

An den Rändern und an freien Stellen im Simulationsgebiet werden Vorwärts- bzw. Rückwärtstrajektorien gestartet. Die Darstellung ermöglicht einen plastischen Eindruck der Strömungsrichtung, besitzt jedoch keine Information über die Strömungsgeschwindigkeit.

T **Trajektoriendarstellung**

An zufällig verteilten Punkten werden Trajektorien gestartet und für eine vorgebbare Zeit verfolgt. Die Darstellung vermittelt einen guten Eindruck über das Richtungs- und Geschwindigkeitsfeld.

Abgefragt wird die Trajektorienverfolgungszeit in Sekunden. Wird RETURN gedrückt, so wird die angebotene Zeit übernommen. Die Angabe der Zeit muss mit einem Dezimalpunkt erfolgen.

V **Vektorpfeildarstellung**

An den Gitterpunkten werden Vektoren eingetragen, deren Länge ein Maß für die Geschwindigkeit und deren Richtung die Strömungsrichtung angibt.

Abgefragt wird die Skalierung der Pfeillänge in Meter (bezüglich der Achseneinteilung) pro m/s. Angeboten wird ein Wert, mit dem die Vektoren maximal bis zum nächsten Gitter-

punkt reichen. RETURN übernimmt diesen Wert nicht, sondern er muss explizit vorgegeben werden.

b) skalare Größen

Hier ist wahlweise eine Isoliniendarstellung oder eine Farbrasterdarstellung der Werte möglich. Voreingestellt ist die Farbrasterdarstellung. Die Isoliniendarstellung wird durch Nachstellen eines I erzwungen (z.B. WI für Isoliniendarstellung der Vertikalkomponente).

Die Abstufung für die Isolinien bzw. Farbraster muss in zwei separaten Dateien vorgegeben werden

D **Divergenzfeld**

Das Feld der Restdivergenzen ist nur für Testzwecke relevant.

F **Isotachen der Horizontalgeschwindigkeit**

Es werden Linien gleicher Horizontalgeschwindigkeit (Isoliniendarstellung) bzw. Farbflächen für vorgegeben Geschwindigkeitsbereiche (Farbrasterplot) gezeichnet. Die Einheit der Werte ist m/s.

W **Isotachen der Vertikalgeschwindigkeit**

Die absolute Horizontal- bzw. Vertikalgeschwindigkeit kann mit diesen Einstellungen dargestellt werden.

G **Geschwindigkeitsabweichung zur ungestörten Anströmung**

Im Gegensatz zur absoluten Geschwindigkeit (F) wird hier eine mit der ungestörten Anströmgeschwindigkeit v_0 normierte Geschwindigkeit dargestellt ($v = v / v_0$). Die Werte werden in Prozent ausgegeben.

E **Ende**

Zeichnung abschließen und Programm beenden.

Schnittdefinition

Durch das 3dimensionale Feld können Schnitte in den 3 Achsenrichtungen erfolgen. Die interaktive Abfrage der Schnittebene lautet

```
XY (Kii), XZ (Jii), YZ (Iii) Schnitt>
```

Anzugeben ist der Index und die Nummer der Masche im Rechengitter. Für einen Horizontalschnitt in der untersten Rechenfläche ist also K01 einzugeben, für die 3. Fläche K03 usw. Ein Vertikalschnitt in y-Richtung beginnt mit I, ein Vertikalschnitt in x-Richtung mit J. Der Index muss in den jeweiligen Bereichsgrenzen liegen ($1 \le ii \le NZ$ bei K, $1 \le ii \le NX$ bei I und $1 \le ii \le NY$ bei J).

Es ist möglich mehrerer Schnitte hintereinander auszugeben. Dazu muss bei der erneuten Abfrage wieder ein gültiger Schnitt angegeben werden. Passt die Abbildung nicht mehr auf die aktuelle Seite, so wird eine weitere Plotdatei unter dem Namen HPGL.002, HPGL.003, usw. eröffnet. Wird ein ungültiger Schnitt angegeben bzw. die RETURN-Taste gedrückt, so endet das Programm.

Definition einiger Plotgrößen

In der Datei FPLOT.INI sind Angaben zur Größe des Plots und zur Zeichenhöhe zu machen. Ein Ausrufezeichen kennzeichnet Kommentar der nicht interpretiert wird.

Beispiel für die Datei FPLOT.INI

```
!==============================================!
! Initialisierungsdatei für das Programm  FPLOT  !
!==============================================!
AX = 210.        ! Achsenabmessung x-Achse in mm
AY =   0.        ! Achsenabmessung y-Achse in mm
                 ! bei 0 maßstabsgetreu zur x-Achse
XN =  30.        ! Entfernung des Ursprungs vom
YN =  30.        ! linken unteren Eck in mm
ZH =   1.7       ! Zeichenhöhe in mm
!FONT=SWISS      ! Schriftart ändern
```

AX und AY geben die Länge der x- bzw. y-Achse in mm an. Um die gleiche Skalierung auf der x- und der y-Achse zu erhalten, kann eine der Angaben 0 sein. Voreingestellt für die Ausgabe ist das Querformat. Das Hochformat wird eingestellt, wenn x-Abmessung kleiner als 140 mm ist, oder wenn die x-Abmessung kleiner als die y-Abmessung ist.

XN und YN sind die Abstände des Zeichnungsursprungs von der linken unteren Ecke des DIN A4 Blattes.

ZH gibt die Zeichenhöhe in mm der in den Plots verwendeten Schrift an. Die Schriftart kann mit der Kennung Font verändert werden. Voreingestellt ist die Schrift SIMPLX.

Isolinien-Definition

In der Datei FPLOT.ISO sind die Isolinienwerte zu definieren, die für einen speziellen Plot zu verwenden sind. Wird die Datei nicht gefunden, so erfolgt die Abfrage des Isolinienabstandes und des Werts der ersten Isolinie.

Das Programm sucht zunächst die Kennung, die Sie bei der Abfrage der Darstellungsart angegeben haben (z.B. F bei Windgeschwindigkeiten), in der ersten Spalte der Datei. Wird diese Kennung gefunden, so werden bis zu 40 Isolinienwerte eingelesen und verarbeitet.

Eine Zeile enthält folgende Angaben:

- Wert für den eine Isolinie gezeichnet werden soll
- Dicke der Linie in Stiftdicken gerechnet (1/300dpi)
- Art der Isolinie (1-durchgezogen, 2-strichliert, 3-gepunktet)
- Anzahl der Beschriftungen dieser Linie (0- keine Beschriftung, 1- eine Beschriftung, n- mehrere Beschriftungen, sofern es die Länge der Isolinie zulässt.)

Abgeschlossen wird eine Auflistung mit einer Kennungszeile (z.B. -----).

Beispieldatei für FPLOT.ISO

```
! Definitionsdatei für Isolinien (FPLOT)
! Ausrufezeichen kennzeichnet Kommentar
! Kennbuchstabe in Spalte 1 leitet die Isolinienangaben ein.
----------------------------------
W - Vertikalkomponente
 25.  3  2  1    !  25%, 3 Stiftdicken, gestrichelt,  eine Beschriftung
 50.  2  1  1    !  50%, 2 Stiftdicken, durchgezogen, eine Beschriftung
 75.  1  1  1    !  75%, 1 Stiftdicke,  durchgezogen, eine Beschriftung
100.  1  3  1    ! 100%, 1 Stiftdicke,  punktiert,    eine Beschriftung
125.  2  3  0    ! 125%, 2 Stiftdicken, punktiert,    keine Beschriftung
----------------------------------
F - Horizontalkomponente
 0.5  1  1  1   ! 0,5m/s ,einfache Strichstärke, durchgezogen, mit Beschr.
 1.0  2  1  1
 1.5  1  1  1
 2.0  2  1  1
```

```
 2.5  1  1  1
 3.0  2  1  1
----------------------------------
```

Farbraster-Definition

In der Datei FPLOT.RAS sind die Abstufungen, die Farben und der Legendentext zu definieren.

Das Programm sucht in dieser Datei zunächst die Kennung wie sie bei der Wahl der Darstellung angegeben wurde (z.B. D für das Divergenzenfeld) in der 1. Spalte. Wird die Kennung nicht gefunden bricht das Programm mit einer Fehlermeldung ab.
Das Programm liest dann die Legendenüberschrift. Diese ist in Hochkommas anzugeben und kann sich über maximal 5 Zeilen erstrecken.

Es folgen die Angaben zu den Bereichen in die das Feld klassifiziert werden soll. maximal sind 16 Bereiche möglich. Eine solche Zeile enthält als erste Zahl die Bereichsobergrenze, dann die Stiftnummer und abschließend die Bezeichnung, die in der Legende erscheinen soll (als Text in Hochkommas).

Eine Ausrichtung der Legendentexte ist mit Hilfe des Zeichens '&' möglich. Dieses Zeichen wird im Legendentext nicht ausgegeben. Die 1. Bezeichnung legt die Position der &-Zeichen fest. Bei allen weiteren Bezeichnungen wird der Text so ausgerichtet, dass die &-Zeichen untereinander stehen und der davorstehende Text rechtsbündig am & steht.

Das Ende der Auflistung ist durch eine Trennzeile (z.B. -----) zu kennzeichnen. Zwischen dieser Endekennung und der folgenden Kennung kann Kommentar stehen.

Beispieldatei für FPLOT.RAS

```
! Definitionsdatei für Farbrasterflächen (FPLOT)
! Kommentarzeilen beginnen mit!
! Formatierung der Bezeichnungen: mit & rechtsbündige Ausrichtung
----------------------------------
W - Vertikalkomponente
'Vertikalkomponente'
'm/s'
' '
-1.0 2 '   < -1.0'
-0.5 3 '-1.0 - -0.5'
-0.1 4 '-0.5 - -0.1'
 0.1 0 '-0.1 -  0.1'
 0.5 5 ' 0.0 -  0.5'
 1.0 6 ' 0.5 -  1.0'
99.9 7 '    > 1.0'
----------------------------------
F - Horizontalkomponente
'Horizontalkomponente'
' '
' '
-1.0 2 '   < -1.0'
-0.5 3 '-1.0 - -0.5'
 0.0 4 '-0.5 -  0.0'
 0.5 5 ' 0.0 -  0.5'
 1.0 6 ' 0.5 -  1.0'
99.9 7 '    > 1.0'
----------------------------------
G - normierte Horizontalkomponente
'normierte Horizontalkomponente'
' '
 25.0 2 '  0%&- 25%&'
 50.0 3 ' 25%&- 50%&'
 75.0 4 ' 50%&- 75%&'
 99.9 5 ' 75%&-100%&'
120.0 6 '100%&-120%&'
999.9 7 '    &>120%&'
----------------------------------
```

5 Anhang A Fehlermeldungen

Die ausgegebenen Fehlermeldungen beziehen sich im Wesentlichen auf Unstimmigkeiten in den Eingabedaten. Natürlich können hier nicht alle denkbaren Fehlermöglichkeiten abgefangen werden. Die wichtigsten sind aber hoffentlich erfasst. Die Fehlerkennungen sollten in der Datei DMW.ERR im Verzeichnis \DMW des aktuellen Laufwerks stehen und werden von dort im Fehlerfall eingelesen und ausgegeben. Wird die Datei nicht gefunden, so wird die Fehlernummer ausgegeben. Der entsprechende Text kann dann an dieser Stelle eingesehen werden.

Die Fehlermeldung hat folgenden Aufbau:

`Unterprogrammname-Fehlergrad-Meldung`

Der Unterprogrammname ist von untergeordneter Bedeutung. Der Fehlergrad bestimmt, ob nach der Ausgabe der Meldung das Programm abgebrochen wird (Fehler ***F***) oder fortfährt (Warnung ***W***). Nachfolgend sind die Fehlermeldungen aufgeführt und Korrekturmaßnahmen beschrieben.

101 **`DMWPAR-F-Zeile nicht interpretierbar ?`**
`>>` … **`<<`**
Die zwischen den Klammerausdrücken >> und << angeführte Zeile in der Steuerdatei kann nicht interpretiert werden. Entweder ist die Kennung falsch oder es wird eine falsche Syntax benutzt (Siehe Abschnitt 3.5.1.1).

102 **`DMWPAR-F-zuviele DZ angegeben!`**
Es können nur maximal soviel vertikale Maschenweiten angegeben werden, wie Gitterpunkte in der vertikalen spezifiziert sind. Entweder NZ in der Steuerdatei erhöhen oder die Anzahl der DZ-Angaben reduzieren.

103 **`DMWPAR-F-Kennung UV zu oft angegeben (maximal für NZ Schichten)`**
Bei Vorgabe eines expliziten Vertikalprofils sind NZ Angaben mit Windgeschwindigkeitskomponenten erforderlich.

104 **`DMWPAR-F-Kennung UV muss für alle Schichten angegeben werden!`**
Bei Vorgabe eines expliziten Vertikalprofils sind NZ Angaben mit Windgeschwindigkeitskomponenten erforderlich.

105 **`DMWPAR-F-keine Hindernisdatei angegeben!`**
Ohne Hindernisdatei geht nichts. Wenn ohne Hindernisse gerechnet werden soll, so ist eine leere Datei anzulegen und deren Name anzugeben. Steuerdatei überprüfen.

106 **`DMWPAR-F-unvollständige oder keine Angaben zum Windprofil!`**
Windrichtung DD und Windgeschwindigkeit UR in einer Referenzhöhe ZR sind anzugeben. Steuerdatei ergänzen.

107 **`DMWPAR-F-falsche Maschenweiten,`** … **`prüfen!`**
Die Maschenweiten müssen positive Werte haben. Steuerdatei überprüfen.

108 **`DMWPAR-F-Schnitt außerhalb des Rechengebiets, S.=`**…
Wird die Ausgabe von Schnitten mit dem Parameter SH gewünscht, so müssen die Schnittindizes im jeweiligen Geltungsbereich (x: 1...NX, y: 1...NY und z: 1...NZ) liegen. Korrigieren sie die Angaben in der Steuerdatei.

109 **`DMWPAR-W-D0 und Z0 unvernünftig!`**
Die Angabe der beiden Parameter d_0 und z_0 hat in Metern zu erfolgen. d_0 sollte kleiner als 20 m und z_0 kleiner als 5 m sein.

111 **DMWPAR-F-Winkel der Nordrichtung gegen die x-Achse falsch (.)**
Der Winkel zwischen Nordrichtung und x-Achse ist im mathematischen Sinne in Grad anzugeben. Gültig sind Werte zwischen 0° und 360°. Steuerdatei überprüfen.

112 **DMWPAR-F-zuviele Schnitte angegeben, Maximum ist 15**
Es können maximal 15 Schnitte angegeben werden. Reduzieren sie die SH-Aufrufe.

113 **DMWPAR-F-maximal 6 Variable, gültig sind UVWLDK, Zeile** …
Gültige Variablenkennungen sind U für die u-Komponente, V für die v-Komponente, W für die w-Komponente, L für die Lagrange'schen Multiplikatoren, D für die Divergenzen und K für Klassifikationen. Überprüfen sie die angegeben SH-Zeile und korrigieren sie die Angabe.

114 **DMWPAR-F-ungültige Syntax nach Show [?], Zeile** …
Die angegebene SH-Zeile kann nicht interpretiert werden. Das in eckigen Klammern angegebene Zeichen ist nicht gültig. Die Syntax für SH ist *SH=<Variable>,<Schnitt>=<Index>*

<Variable> kann sein U,V,W,L,D oder K. Die Angabe hat ohne Trennzeichen zu erfolgen, d.h. es sind keine Kommas, Tabs oder Leerzeichen verwenden.
<Schnitt> kann sein i für Vertikalschnitt in der Y-Z-Ebene beim angegebenen Index. Analog dazu wird für j ein X-Z-Schnitt und für k ein X-Y-Schnitt ausgegeben. Syntax korrigieren.

115 **DMWPAR-F-Gebietsabmessungen in** …**-Richtung überprüfen!**
Die Angaben von X0 und X1, bzw. Y0 und Y1 sind falsch, d.h. es ergibt sich eine negative Anzahl von Maschen in der angegebenen Richtung. Korrigieren sie die Werte.

116 **DMWPAR-F-Anzahl der Zellen (**…**) falsch!**
NX, NY oder NZ wurde ein Wert kleiner oder gleich Null zugewiesen Korrigieren sie die Angaben.

117 **DMWPAR-F-max. 50 Schichten (NZ=**…**)**
Es können minimal 3 und maximal 50 Schichten angegeben werden. Korrigieren sie die Angaben.

118 **DMWPAR-W-Wichtungsfaktoren überprüfen (s.Kap. 2.2),alpha_H/alpha_v =.**
Diese Warnung erfolgt, wenn das Verhältnis der α kleiner als 0,7 oder größer als 1,3 ist. Korrigieren sie die Werte, wenn sie keine plausiblen Gründe für ihre Wahl haben.

119 **DMWPAR-F-Änderung der DZ zu groß (s. Anhang A5), Schicht k=**…
Die Änderung der Maschenweite von Schicht zu Schicht darf maximal 50% betragen. Vermeiden sie zu große Sprünge bei der Unterteilung der Schichten.

120 **DMWPAR-F-kein Platzhalter $$$ im Ergebnisdateinamen**
Die bei DD gemachten Angaben veranlassen das Programm die Strömungssimulation für mehrere Windrichtungen in einem Rechenlauf zu berechnen. Das Abspeichern der jeweiligen Strömungsfelder erfolgt in separate Dateien. Dazu muss der Dateiname der Ergebnisdatei einen Platzhalter in der Form $$$ aufweisen (z.B. ERG=BSP$$$.ERG).

121 **DMWPAR-F-Windrichtungsangaben überprüfen! (**…**)**
Sie wollen mehrere Windrichtungen in einem Rechenlauf untersuchen. Dazu ist die DD-Angabe in der Form DD=D_{Anfang},D_{Ende},$D_{Schrittweite}$ anzugeben. D_{Anfang} muss kleiner als D_{Ende} sein $D_{Schrittweite}$ muss größer als 0 sein.

122 **DMWPAR-F-Windgeschwindigkeitsangaben überprüfen! (Uref=**…**m/s)**
Die Referenzgeschwindigkeit muss zwischen 1 m/s und 20 m/s liegen.

123 **DMWPAR-F-Anemometerhöhe prüfen! (Zref=…m)**
Die Referenzhöhe in der die Referenzgeschwindigkeit angegeben wurde, muss zwischen 5 m und 500 m liegen.

124 **DMWPAR-F-Nullpunktsverschiebung prüfen! (d0=…m)**
Die Nullpunktverschiebung d_0 muss zwischen 0 m und 30 m liegen.

125 **DMWPAR-F-Bodenrauhigkeit prüfen! (z0=…m)**
Die Bodenrauhigkeit z_0 darf Werte zwischen 0 m und 5 m annehmen.

126 **DMWPAR-F-Alpha(…) falsch angegeben!**
Werden Werte für α_{hor} und α_{vert} angegeben, so müssen diese größer als 0 sein.

127 **DMWPAR-F-Glättungsradius prüfen! (RG=…m)**
Der Umkreis um einen Gitterpunkt, in dem benachbarte Strömungen für eine abstandsgewichtete Glättung berücksichtigt werden sollen, kann die Werte 0 (=keine Glättung) oder Werte größer als die horizontalen Maschenweiten annehmen.

128 **DMWPAR-W-Info-Parameter falsch angegeben - INfo auf 1 gesetzt!**
Der Wert bei der Info-Angabe kann zwischen 0 und 100 liegen.

129 **DMWPAR-F-es wurde sowohl ein Profil als auch UREF angegeben?**
Es muss eindeutig sein, ob mit einem explizit vorgegebenesn Profil oder einem logarithmischen Profil gerechnet werden soll.

130 **DMWPAR-F-bei Vorgabe eines Profils ist nur eine Anströmrichtung möglich!**
Bei Vorgabe eines expliziten Profils kann eine zum Profil passende Windrichtung vorgegeben werden. Die Möglichkeit mehrere Richtungen mit dem angegebenen Profil zu rechnen, ist nicht vorgesehen.

131 **DMWPAR-F-kein gültiges Profil, da Geschwindigkeit < 1m/s!**
Die mittlere Windgeschwindigkeit in den untersten 20 m muss über 1 m/s liegen.

150 **NBEVAL-F-Fehler beim Lesen der Hindernisdatei, Zeile …**
Beim Lesen der Hindernisdatei ist ein Fehler aufgetreten. Prüfen sie, ob die Formatierung den Vorgaben entspricht. Beachten sie, dass REAL-Zahlen mit einem Punkt angegeben werden müssen.

201 **BAUTEN-W-Hindernistyp (.) in Zeile … ist nicht definiert**
Gültige Kennungen sind in Abschnitt 3.5.1.2 beschrieben. Zusätzlich werden die Kennungen X und Y als Kommentar akzeptiert. Korrigieren sie die angegeben Zeile in der Hindernisdatei.

202 **BAUTEN-F-Hindernis höher als Obergrenze des Rechengebiets, zh=.**
Ein Hindernis überragt das Rechengebiet. Die Hindernishöhe beträgt *zh* Meter. Es sollten mindestens zwei Gitterzellen über dem höchsten Gebäude vorhanden sein. Überprüfen sie die Hindernisdatei.

203 **BAUTEN-F-Parameter NGB zu klein - NGB=…**
Die Anzahl der digitalisierten Einzelhindernisse übersteigt den vorgesehenen Speicherbereich. Dieser Fall sollte nicht auftreten, da die Zahl der Hindernisse automatisch bestimmt wird.

204 **BAUTEN-F-Untergrenze des Hindernisses zu hoch - Höhe …**
Hindernis schwebt oberhalb des Rechengebiets - wahrscheinlich liegt ein Eingabefehler vor. Korrigieren sie die Hindernisdatei.

205 **BAUTEN-F-Koordinatenreihenfolge falsch, Zeile:**...
Die Reihenfolge der Koordinaten bei einem schräg zum Rechengitter stehenden Gebäude ist falsch. Der 1. Punkt muss der am weitesten links liegende, der 2. Punkt der am weitesten hinten liegende, der 3. Punkt der am weitesten rechts liegende und der 4. Punkt der am weitesten vorn liegende Punkt sein. Korrigieren sie das angegebene Hindernis.

206 **BAUTEN-F-Hindernisse nur in 2 Ebenen möglich!**
Es sind nur zwei Gebäudeebenen übereinander möglich, z.B. eine Brücke führt über ein Haus. Nicht möglich ist der Fall, dass eine Brücke über eine Brücke über ein Haus führt. Reduzieren sie die Hinderniskomplexität.

401 **UVPROF-F- z0,d0 sind aufgrund der geringen Hindernisdichte nicht sinnvoll zu bestimmen**
Es können maximal 10 Nutzungsklassen angegeben werden. Anzahl verringern.

402 **INIUVD-F-Anemometerhöhe muss größer als d0 sein (d0=...m)**
Wenn ZR z.B. zu 10 m angegeben wurde und d_0 und z_0 vom Programm so bestimmt wurden, dass 10 m noch innerhalb der Länge d_0+z_0 liegen, so kann kein sinnvolles Anströmprofil berechnet werden. Geben sie UR und ZR in einer größeren Höhe an.

403 **INIUVD-W-vorgegebenes d0 passt nicht zur Bebauung! (d0=...m)**
Das angegebene d_0 weicht mehr als 5 m von dem typischerweise zu den Bebauungsmaßen passenden Wert ab. Die Angabe sollte überprüft werden. Es kann jedoch auch mit diesem Wert gerechnet werden.

410 **GLUVW-W-Glättung des Initialwindfeldes nur bei dichter Bebauung sinnvoll – RG=0. gesetzt**
Bei wenigen einzeln stehenden Hindernissen, deren Störzonen sich nicht überlappen, ist eine Glättung nicht sinnvoll. Setzen sie in diesem Fall RG auf Null, um die Warnung zu unterdrücken.

501 **DIVMOD-W-Summe der Divergenzen: ... 1/s - keine iterative Berechnung !**
Wurden keine Hindernisse angegeben (Hindernisdatei ohne Angaben), so ist das Initialwindfeld schon divergenzfrei, und es ist keine iterative Berechnung notwendig.

511 **RELAXC-W-Abbruchkriterium nach 1000 Iterationen nicht erfüllt (...)!**
Zwei Ursachen können zu dieser Meldung führen:

1. Die Abbruchschranke wurde zu klein gewählt und die Rechengenauigkeit der REAL*4 Operationen reicht nicht aus diesen Wert zu unterschreiten. Restdivergenzen nach der Iteration beurteilen und wenn diese klein sind Ergebnis akzeptieren.

2. Das zu bearbeitende Feld ist so groß, dass eine Ausiteration noch wesentlich mehr Schritte erfordern würde. Ergebnis verwerfen, Autor verständigen.

900 **DMW-xx-F-Fehler beim Öffnen der Datei ....**
Misslingt der Versuch die angegebene Datei mit dem OPEN-Befehl mit STATUS='OLD' zu öffnen, so wird diese Meldung ausgegeben. Stellen sie sicher, dass die Datei nicht von einem anderen Programm geöffnet wurde, so dass nicht darauf zugegriffen werden konnte. Überprüfen sie ferner, dass Dateiname und Pfadangabe in der Steuerdatei richtig angegeben wurde. Beachten sie, dass Dateinamen maximal 32 Zeichen lang sein dürfen.

990 **DMWERR-F-Fehler Nr. ... . Fehlerdatei nicht gefunden!**
Wird die Datei mit Fehlerbeschreibungen (DMW.ERR) nicht im Verzeichnis \DMW des ***aktuellen*** Laufwerks gefunden, so wird nur die Fehlernummer mit dem Hinweis auf die fehlende Datei ausgegeben. Abhilfe kann durch Kopieren der Datei in das Verzeichnis \DMW geschaffen werden.

991 **DMWERR-F-ungültige Fehlerdatei**
Die gefundene Fehlerdatei ist nicht auf dem neuesten Stand. Vergleichen sie die Datei mit derjenigen auf dem Installationsdatenträger (evtl. Anruf beim Autor).

6 Anhang B Dateiformate

Im Anhang B wird auf die Formate der gespeicherten Ergebnisdateien eingegangen.

6.1 Digitale Hindernisdatei

Das Programm DMW setzt für seine Berechnungen die vorgegebenen Hindernisse auf das Rechengitter um. Zusammen mit anderen Informationen werden die umgewandelten Hindernisdaten in einer Datei mit der Endung .IGB formatfrei ohne Compiler-spezifische Zusatzinformationen gespeichert.

Anhand eines Einlesebeispiels (FORTRAN90) sollen die einzulesenden Informationen erklärt werden.

```
         REAL, PARAMETER            :: RVERS=2.00     ! Versionskennung
!-----------------------------------------------------------------------
! Datei mit digitalisierten Hindernisdaten lesen (Beispiel)
!-----------------------------------------------------------------------
         INTEGER, PARAMETER:: NX=..,NY=..,NZ=..       ! ergänzen
         INTEGER, PARAMETER:: NGB=..                  ! ergänzen

         CHARACTER         :: IGBFILE*32=...          ! ergänzen
         CHARACTER         :: DATIM*32                ! Datumsstring
         CHARACTER         :: GEBFILE*32              ! original Hindernisdatei

         REAL                        :: DX,DY                   ! Gitterangaben
         REAL, ALLOCATABLE           :: DZ(NZ)
         INTEGER (KIND=2), ALLOCATABLE       :: HTYP(:)         ! Hindernisangaben
         INTEGER (KIND=2), ALLOCATABLE       :: IGA(:),IGE(:)
         INTEGER (KIND=2), ALLOCATABLE       :: JGA(:),JGE(:)
         INTEGER (KIND=2), ALLOCATABLE       :: KGA(:),KGE(:)

!-----------------------------------------------------------------------
! Datei öffnen
!-----------------------------------------------------------------------
         OPEN (UNIT=55,FILE=IGBFILE,STATUS='OLD',FORM='UNFORMATTED',ACCESS=’TRANSPARENT’)
!-----------------------------------------------------------------------
! Kopf lesen
!-----------------------------------------------------------------------
         READ (55) SVERS,DATIM
         IF (RVERS.NE.SVERS) STOP 'Falsche Version'

!-----------------------------------------------------------------------
! GEBFILE- Name der Hindernisdatei
!-----------------------------------------------------------------------
         READ (55) GEBFILE

!-----------------------------------------------------------------------
! Gitterinformation lesen
! NX,NY,NZ        - Anzahl der Gitterzellen in x-, y- bzw. z-Richtung
! X0,Y0           - Nullpunkt
! DX,DY,DZ(i)     - Maschenweiten
!-----------------------------------------------------------------------
         READ (55) NX,NY,NZ
         ALLOCATE (DZ(NZ))
         READ (55) X0,Y0,DX,DY,DZ(1:NZ)

!-----------------------------------------------------------------------
! Anzahl der verschiedenen Hindernisse
! NB              - Anzahl der undurchl. Hindernisse
! NP              - Anzahl der porösen Hindernisse
!-----------------------------------------------------------------------
         WRITE (55) NB,NP
         NGB=NB+NP
         ALLOCATE (HTYP(NGB))
         ALLOCATE (IGA(NGB),IGE(NGB),JGA(NGB),JGE(NGB)KGA(NGB),KGE(NGB))

!-----------------------------------------------------------------------
! Art des Hindernisses und belegte Zellen
! HTYP   - Kennung für Hindernistyp (1-Q,2-C,3-M)
! IGA    - Index der ersten besetzten Gitterzelle in x-Richtung
! IGE    - Index der letzten besetzten Gitterzelle in x-Richtung
! JGA    - Index der ersten  besetzten Gitterzelle in y-Richtung
! JGE    - Index der letzten besetzten Gitterzelle in y-Richtung
! KGA    - Index der ersten  besetzten Gitterzelle in z-Richtung
! KGE    - Index der letzten besetzten Gitterzelle in z-Richtung
!-----------------------------------------------------------------------
         READ (55) (HTYP(I),IGA(I),IGE(I),JGA(I),JGE(I),KGA(I),KGE(I),I=1,NGB)

         CLOSE (UNIT=55)

         ...
```

Nach dem Öffnen der Datei wird zunächst eine Versionsnummer und eine Datumskennung eingelesen. Die Versionsnummer sollte mit der Versionsnummer des Leseprogramms verglichen

werden, so dass bei Umstellung der Ausgaberoutine in DMW eine Fehlermeldung erfolgt, wenn mit alten Leseprogrammen zugegriffen wird.

Danach folgt der Dateiname der original Hindernisdatei. Die Gitterangaben enthalten die Daten für die Dimensionierung der Felder. Diese Daten werden in den nächsten Zeilen eingelesen. Anschließend folgt die Information über die digitalisierten Hindernisse. NB und NP stellen die Anzahl der Hindernisse in den jeweiligen Hindernisklassen dar. Für exakt diese Anzahlen können jetzt die Anfangs- und Endwerte der Gitterindizes eingelesen werden.

6.2 Ergebnisdatei mit Strömungskomponenten

In der Steuerdatei wird diese durch die Zeile ER=Dateiname spezifiziert. In der Ergebnisdatei werden die Komponenten der quasidivergenzfreien Strömung und diverse Eingangsdaten abgespeichert.

Da in der Regel sehr große Ergebnisfelder ausgegeben werden müssen, wurde für die Ergebnisdatei die formatfreie Ausgabe gewählt. Diese platzsparende Methode hat den Nachteil, dass beim Einlesen der Daten sehr sorgfältig auf die Typdeklaration der Variablen und deren Dimensionierung zu achten ist. Nicht deklarierte Variable sind nach Standard-FORTRAN-Konventionen zu behandeln, d.h. die mit A - G und O - Z beginnenden Variablennamen sind als 4Byte lange REAL-Zahlen und die mit I bis N beginnenden als 4Byte lange INTEGER-Zahlen zu behandeln

```
!-----------------------------------------------------------------------
! 1. allgemeine Parameter
! SVERS              - Schreibversion
! DATIM              - Kennung, Programmversion, Datum und Zeit des Rechenlaufs
!-----------------------------------------
! TITEL              - Überschrift
! PAR_FILE - Steuerdatei
! GEB_FILE - Gebäudedatei
!-----------------------------------------
! NX,NY,NZ - Dimensionierung
! X0,Y0              - Koordinaten der linken vorderen Ecke d.Simulationsgebiets
! DX,DY              - Maschenweiten horizontal
! DZ                 - Maschenweiten vertikal
!-----------------------------------------
! WNORD              - Winkel der Nordrichtung gegen die x-Achse
! DD                 - Windrichtung
! UREF               - Windgeschwindigkeit
! ZREF               - Höhe in der UREF angenommen wird
! IAK                - Ausbreitungsklasse
! D0                 - Nullpunktsverschiebung
! Z0                 - Rauhigkeitslänge
! U0,V0              - Anströmprofil
!-----------------------------------------
! ALPHA              - Alpha_horizontal/Alpha_vertikal
! TOPZU              - Deckel zu (.true.) oder auf (.false.)
!-----------------------------------------------------------------------
          REAL, PARAMETER      :: RVERS=2.10        ! Leseversion

          REAL                 :: U(NX+1,NY,NZ),V(NX,NY+1,NZ),W(NX,NY,NZ+1)
          REAL                 :: U0(NZ),V0(NZ)
          REAL                 :: DX,DY,DZ(NZ)
          LOGICAL              :: TOPZU
          CHARACTER            :: DATIM*32
          CHARACTER            :: TITEL*80
          CHARACTER            :: PAR_FILE*128,GEB_FILE*128

          OPEN (UNIT=22,FILE=...,STATUS='OLD',FORM='UNFORMATTED',
    1             ACCESS='TRANSPARENT')

! Header lesen
           READ (22) SVERS,DATIM          ! Schreibversion und Datumsstring
! Version prüfen
           IF (RVERS.NE.SVERS)  STOP 'Falsche Version!'

           READ (22) TITEL                ! Projektbezeichnung
           READ (22) PAR_FILE,GEB_FILE    ! Dateinamen
           READ (22) NX,NY,NZ             ! Dimensionierung
           READ (22) X0,Y0                ! Gitternullpunkt
           READ (22) DX,DY,DZ(1:NZ)       ! Maschenweiten
! Angaben zur Anströmung
           READ (22) WNORD,DD,UREF,ZREF,IAK,D0,Z0
           READ (22) U0(1:NZ),V0(1:NZ)
           READ (22) ALPHA,TOPZU

! Geschwindigkeitskomponenten
           READ (22) U
           READ (22) V
           READ (22) W

           CLOSE (UNIT=22)
          ...
```

7 Anhang C Beispiel

Im Anhang C wird zunächst anhand des Beispiels „VENLOER STRASSE“ der Programmablauf und die Ein- und Ausgabedateien beschrieben.

Anschließend werden im Anhang D Vergleiche mit Natur- und Windkanalmessungen dargestellt.

7.1 Anwendung des Modells am Beispiel „Venloer Straße“

Zunächst wird die Gebäudekonstellation erfasst, d.h. die Hindernisse sind zu digitalisieren und im vorgegeben Format abzuspeichern. In diesem Beispiel wurde die Datei VENLOER.GEB erzeugt.

Gegeben ist ein Gebiet, das die wesentlichen Gebäude im Umkreis von ca. 90 m um die Messstelle in der Venloer Straße umfasst. Die Hindernisse sind als 126 Quader zwischen 3 m und 21 m Höhe digitalisiert.. Die Datei hat folgendes Aussehen:

Hindernisdatei Venloer Straße (Auszug)

```
! Gebäudekataster Venloer Straße
C  0.0 16.8     -3.1    5.2    6.0   -2.3    154.0  154.6  143.2  142.6
Q  0.0 10.9     16.2   22.6   22.8   16.4    155.5  156.0  158.5  158.0
C  0.0 16.8      4.9   22.6   23.4    5.7    154.8  156.1  144.8  143.5
Q  0.0 16.8     13.9   23.5   23.5   13.9    144.0  144.0  155.3  155.3
C  0.0 17.1     22.6   30.1   31.0   23.5    159.0  159.5  145.3  144.8
C  0.0 19.8     30.5   38.2   38.8   31.1    156.4  156.8  145.8  145.4
C  0.0 17.0     38.4   46.2   46.9   39.1    156.8  157.3  146.5  146.0
C  0.0 18.1     46.4   56.3   56.9   47.0    155.8  156.4  147.2  146.6
C  0.0  3.8     41.6   50.0   50.2   41.8    185.2  185.6  180.8  180.4
C  0.0 12.3     50.6   68.4   68.7   50.9    170.3  171.4  166.3  165.2
C  0.0 12.3     50.1   67.7   68.1   50.5    180.8  182.0  177.1  175.9
Q  0.0 16.8     68.6   80.5   80.5   68.6    166.3  166.3  182.8  182.8
C  0.0  7.5    112.0  121.5  121.9  112.4    181.7  182.3  176.3  175.7
C  0.0 13.5    102.7  112.1  112.5  103.1    181.5  181.6  157.5  157.4
C  0.0 15.0    164.2  179.5  180.2  164.9    173.8  174.6  161.4  160.6
...
...
Q  0.0 16.0    144.0  156.0  156.0  144.0    100.0  100.0   60.0   60.0
Q  0.0 16.0    144.0  156.0  156.0  144.0    156.0  156.0  116.0  116.0
```

Die Steuerdatei VE_$$$.PAR enthält die zur Strömungsberechnung benötigten Angaben:

Steuerdatei Venloer Straße

```
!==============================================================
TItel=Venloer Straße
!==============================================================

! [Dateinamen]
GEbäudedatei=Venloer.GEB    ! Gebäudedatei  (Dateiname)
ERgebnisdatei=VE_$$$.ERG    ! Ergebnisdatei (Dateiname)
PRotokoll=Venloer.LOG       ! Protokollausgabe (Dateiname)

! [Gitterangaben]
NZ=15                       ! Anzahl der Zellen in z-Richtung
X0=  0.0                    ! linker Rand
X1=177.0                    ! rechter Rand
Y0=  0.0                    ! vorderer Rand
Y1=177.0                    ! hinterer Rand
DX=3.0                      ! Gitterabstände in X-Richtung
DY=3.0                      ! Gitterabstände in Y-Richtung
DZ( 1)=3.0                  ! Gitterabstände in Z-Richtung
DZ( 2)=3.0                  ! 6.0 oberer Rand der Zelle
DZ( 3)=3.0                  ! 9.0
DZ( 4)=3.0                  ! 12.0
DZ( 5)=3.0                  ! 15.0
DZ( 6)=3.0                  ! 18.0
DZ( 7)=3.0                  ! 21.0
DZ( 8)=3.0                  ! 24.0
DZ( 9)=3.0                  ! 27.0
DZ(10)=3.0                  ! 30.0
DZ(11)=3.5                  ! 33.5
DZ(12)=4.0                  ! 37.5
DZ(13)=5.0                  ! 42.5
```

```
DZ(14)=7.5                  ! 50.0
DZ(15)=10.0                 ! 60.0

!NOrd=34.                   ! Winkel der Nordrichtung gegen
                            ! die x-Achse (hier auskommentiert,
                            ! da Anströmung gegen Straßenverlauf
                            ! untersucht werden soll

! [Anströmung]
DD=10.,360.,10.             ! Windrichtung in Grad
                            !(gegen Rechengitter-Nord)
                            ! von 10° bis 360° in 10°-Schritten
URef=5.0                    ! Windgeschwindigkeit (in m/s)
ZRef=100.                   ! Anemometerhöhe für die UREF gilt (m)
!D0=0.0                     ! Zero-plane-displacement (m)
!Z0=0.1                     ! Bodenrauhigkeit (m) vgl. Tabelle B1
                            !(I,II,III1,III2,IV,V)
RAnd=auf                    ! Randbedingung
                            !(kann sein: ZU oder AUF)

! [Steuerung]
AH=0.8                      ! Alpha hor.
AV=1.0                      ! Alpha vert.
ABbruchschranke=1.E-7       ! Abbruchschranke für Iteration
RG=10.0                     ! Radius für Glättung des
                            ! Initialwindfeldes

SHow=u,k=1                  ! evtl.Schnitte spezifizieren
INfo=1                      ! Informationsebene
!= Ende ==================================================================
```

Die Hindernisse werden aus der Datei VENLOER.GEB gelesen. Die Ergebnisse sollen in der Datei VE_$$$.ERG abgelegt werden. $$$ steht dabei als Platzhalter für die zu untersuchenden Windrichtungen. Das Protokoll wird in die Datei VENLOER.LOG geschrieben.

Es folgen Angaben zum Rechengitter. Das Simulationsgebiet umfasst den Ausschnitt von 0 bis 177 m in x- und y-Richtung (X0,X1,Y0,Y1). Bei einer Maschenweite von 3 m (DX,DY) ergeben sich somit 59 · 59 Rechenzellen pro Schicht. Insgesamt sollen 15 Schichten (NZ) betrachtet werden. Diese sind in den untersten 30 m äquidistant mit 3 m Schichtdicke angesetzt (DZ). Darüber nehmen sie sukzessive zu, so dass sich ein oberer Rand des Simulationsgebietes von 60 m ergibt.

Die Anströmung soll in 10°-Schritten von 10° bis 360° berechnet werden (DD). Die Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe (ZR) soll 5 m/s (UR) betragen. Nullpunktsverschiebung und Rauhigkeitshöhe sollen aus den Hindernisgeometrien berechnet werden (D0 und Z0 nicht gesetzt). Am oberen Modellrand dürfen sich Vertikal-Komponenten einstellen (RA nicht angegeben).

Das Abbruchkriterium für die Iterationen soll 10^{-7} betragen (AB). Das Initialwindfeld soll vor der Divergenzfreimachung geglättet werden. Dazu tragen die abstandsgewichteten (1/r) Komponenten im Umkreis von 10 m bei (RG).

Exemplarisch soll die u-Komponenten in der untersten Schicht in der Protokolldatei ausgegeben werden (SH). Die Protokolldatei soll nur die wesentlichen Angaben enthalten (INFO=1). Sollen weiter Hilfsfelder ausgegeben werden, sind größere Werte für INFO anzugeben.

Das Strömungsprogramm kann jetzt mit dem Kommando

DMW VE_$$$.PAR

in einem DOS-Fenster gestartet werden. Am Bildschirm werden Informationen zum Ablauf des Programms angezeigt. Neben der Ergebnisdatei wird auch eine Protokolldatei VENLOER.LOG erstellt. Die Angaben in dieser Datei werden im folgenden kurz erläutert.

Im ersten Abschnitt werden einige Eingabewerte und die Gittereinteilung aufgeführt.

Protokolldateiauszug Venloer Straße

```
### DMW V1.20 (c) Röckle ### 03.12.2001_17:06:37 ##############################################################################


 TITEL: Venloer Straße

 Steuerdatei                                    VE_$$$.par
 Koordinaten der Gebäude aus der Datei          Venloer.GEB
 Ausgabe der Ergebnisse in die Datei            VE_$$$.ERG

 Rechengebiet (x,y,z):   59   59   15
 Rand links/rechts:       0.0 m  177.0 m
 Rand vorn/hinten:        0.0 m  177.0 m
 Rand oben durchströmbar (w-Komponenten möglich)

 Maschenweiten DX,DY :   3.00   3.00

 Z(Lambdagitter):
  ( 1)  1.5m  ( 2)  4.5m  ( 3)  7.5m  ( 4) 10.5m  ( 5) 13.5m  ( 6) 16.5m  ( 7) 19.5m  ( 8) 22.5m  ( 9) 25.5m  (10) 28.5m
  (11) 32.0m  (12) 36.0m  (13) 41.0m  (14) 48.5m  (15) 58.5m
 Z(W-Gitter):
  ( 1)  0.0m  ( 2)  3.0m  ( 3)  6.0m  ( 4)  9.0m  ( 5) 12.0m  ( 6) 15.0m  ( 7) 18.0m  ( 8) 21.0m  ( 9) 24.0m  (10) 27.0m
  (11) 30.0m  (12) 33.5m  (13) 37.5m  (14) 42.5m  (15) 50.0m  (16) 60.0m
```

Der nächste Abschnitt (Auszug) listet die Hinderniskoordinaten auf. Sind die Hindernisangaben fehlerhaft, so werden entsprechende Meldungen ausgegeben. Anschließend zeigt eine Grafik die Lage der Hindernisse. Die Zahlen geben den Index der obersten von den Gebäuden belegten Gitterzellen an. Danach folgen statistische Angaben zur Hindernisgeometrie.

```
Hindernisse aus der Datei - Venloer.GEB -

 # C   2/   1:    0   2   49  51    1   6    -3.0    6.0   144.0  153.0     0.0   16.8
 # C   2/   2:    2   2   52  52    1   6     3.0    6.0   153.0  156.0     0.0   16.8
 # C   2/   3:    1   1   49  51    1   6     0.0    3.0   144.0  153.0     0.0   16.8
 # C   2/   4:    2   2   49  52    1   6     3.0    6.0   144.0  156.0     0.0   16.8
 # Q   3/   5:    6   8   53  53    1   4    16.2   22.8   155.5  158.5     0.0   10.9
 # C   4/   6:    3   8   49  52    1   6     6.0   24.0   144.0  156.0     0.0   16.8
 # Q   5/   7:    6   8   49  52    1   6    13.9   23.5   144.0  155.3     0.0   16.8
 # C   6/   8:    9  10   49  53    1   6    24.0   30.0   144.0  159.0     0.0   17.1
 # C   7/   9:   11  11   49  49    1   7    30.0   33.0   144.0  147.0     0.0   19.8
 # C   7/  10:   11  13   50  52    1   7    30.0   39.0   147.0  156.0     0.0   19.8
 # C   7/  11:   11  11   49  52    1   7    30.0   33.0   144.0  156.0     0.0   19.8
 # C   7/  12:   12  13   50  52    1   7    33.0   39.0   147.0  156.0     0.0   19.8
 # C   8/  13:   14  16   50  51    1   6    39.0   48.0   147.0  153.0     0.0   17.0
 # C   8/  14:   14  15   52  52    1   6    39.0   45.0   153.0  156.0     0.0   17.0
 # C   8/  15:   14  15   50  52    1   6    39.0   45.0   147.0  156.0     0.0   17.0
...
...
 # C 127/ 317:   38  41   12  17    1   1   111.0  123.0    33.0   51.0     0.0    3.0
 # C 127/ 318:   42  42   12  15    1   1   123.0  126.0    33.0   45.0     0.0    3.0
 # Q 128/ 319:   35  40   54  54    1   1   103.1  120.2   158.0  161.7     0.0    3.0


 undurchl. Hindernisse (Gebäude):   319
 poröse Hindernisse (Bäume):          0

 === Belegung der Zellen mit Hindernissen ===
 === I=  1,  59
              10        20        30        40        50
      +----,----+----,----+----,----+----,----+----,----+----,----+
   59 :                        6666       555
   58 :                        6666       555           55666665555
   57 :                  4444446666       555   555555555666665555
   56 :                  4444446666       555   555555555666665555
   55 :                                   55511 555555555666665555
   54 :                                   555111555555555566665
   53 :     44466                         5555
   52 : 666666666777666666
   51 :66666666667776666666
   50 :666666666777666666
   49 :66666666667
   48 :                                                  555555555
   47 :                        6666      555555445555555555555555
   46 :            6666666666666666      555555445555555555555555
   45 :77766677666666666666666666        666644445555555555555555
   44 :7776667766666666666   6666        666644445555555555
   43 :777666777666666        6666        666611111111
   42 :77766677766 66         6666        6666  111111
   41 :                    1177777        6666                 11
   40 :               111  1177777        6666           11    5555
   39 :              1111   177777        6666           11     555
   38 : 1111111111111111   177777        666661111111111111    555
   37 :111111111111111 11   177777        66666111111111111122  555
   36 :111             11   177777        66666             222 555
   35 :                11   177777        66666             222
   34 :                11   177777        666644411111      222    2
   33 :               1111   177777        666644411111      22222222
```

```
   32 :  1111111111111111   1 5555      6666   11111      22222222
   31 :111111111111      1111 5555      6665
   30 :  111111               5555      666544111           22344
   29 :  111111               6666      55555                2334
   28 :  1111111              6666      55555                2334
   27 :      111       11111226666      55555                2334
   26 :      111       11111666666      66666111111111111    2334
   25 :      111     1111111666666      66666111111111111    2234
   24 : 111  1111111111111    6666      66666111111111111    2234
   23 : 111    1111111111     6666      66666     3333333111122344
   22 : 111                   6666      66666     3333333111122344
   21 : 111       221111   1112222      66666 11113333333111122344
   20 : 1111111112221111   1112222      66666             22222344
   19 :   11111112221111   1112222      66666             222 2344
   18 :   111111122211111   2222       6666              222 2334
   17 :   111111122211111     4444      66664441          221
   16 :  111111111111111    444444      666641111112222222111
   15 :1111111111111111     44444       66661111111222222222222
   14 :1111111111111         44444      66661112222222222222222
   13 : 111111111111         44444        11112222222222222222222
   12 : 1111                 44444        11112222222222222222222
   11 : 1111                              11  22222222222222222
   10 : 1111                                   222222222222222222
    9 : 112222222222222222                     222222222222222222
    8 :   2222222222222222                     222222222222222222
    7 :   2222222222222222                     222222222222222222
    6 :   2222222222222222                     222222222222222222
    5 :   2222222222222222                     222222222222222222
    4 :    222222222222222                     222222222222222222
    3 :    222222222222222                     2222222222
    2 :    2222              6666               111
    1 :                       666            1111111
      +----,----+----,----+----,----+----,----+----,----+----,----+
                10        20        30        40        50

 Rechengebietsfläche:                                31329.0 m**2
 Bebaute Fläche:                                     14739.3 m**2      47.0% des Rechengebiets
 Mittlere Höhe der Hindernisse:                          9.9 m
```

Aus diesen Angaben werden d_0 und z_0 bestimmt (sofern diese nicht explizit vorgegeben wurden) und das Anströmprofil berechnet. Neben der Höhe (Zellmitte) wird die u-Komponente, die v-Komponente und der Betrag der Geschwindigkeit in m/s ausgegeben.

```
-- UVPROF ------------------------------------------------------------------------------
 Winkel der Nordrichtung gegen die x-Achse: 90.0ø
 Bodenrauhigkeit:                      z0=  0.46 m
 Zeroplane-displacement:               d0=  7.88 m
 Schubspannungsgeschwindigkeit:        u*=  0.38 m/s

 Richtung  10.     Geschwindigkeit  5.0 m/s in 100.0 m Höhe

       Z[m]      U(Z)      V(Z)      ff(Z)    [m/s]
  15   58.5      -0.8      -4.4       4.4
  14   48.5      -0.7      -4.2       4.2
  13   41.0      -0.7      -4.0       4.0
  12   36.0      -0.7      -3.8       3.9
  11   32.0      -0.6      -3.7       3.7
  10   28.5      -0.6      -3.5       3.6
   9   25.5      -0.6      -3.4       3.4
   8   22.5      -0.6      -3.2       3.3
   7   19.5      -0.5      -3.0       3.0
   6   16.5      -0.5      -2.7       2.8
   5   13.5      -0.4      -2.3       2.4
   4   10.5      -0.3      -1.6       1.6
   3    7.5      -0.2      -1.3       1.4
   2    4.5      -0.2      -1.3       1.4
   1    1.5      -0.2      -1.3       1.4
```

Es folgt die Berechnung des Initialwindfeldes. Einzelne Schritte oder Einstellungen werden protokolliert. Als ein erster Anhaltspunkt für die Plausibilität werden die größte positive und negative Komponente in jeder Schicht ausgegeben. Hinter den Geschwindigkeitsangaben sind die Zellindizes dieser Werte angeführt. Weiterhin werden die Alpha's und deren Verhältnis protokolliert.

```
 BEBANA beendet

 SETKART beendet
 Maschenweitenunabhängige Glättung, Komponente U, R_Scan= 10.0 m
 Maschenweitenunabhängige Glättung, Komponente V, R_Scan= 10.0 m

 MODIWI beendet

 Größte pos. und neg. Komponenten
   k    +u   i   j     -u   i   j     +v   i   j     -v   i   j     +w   i   j     -w   i   j
 15   -0.8   1   1   -0.8   1   1   -4.4   1   1   -4.4   1   1    0.0   1   1    0.0   1   1
 14   -0.7   1   1   -0.7   1   1   -4.2   1   1   -4.2   1   1    0.0   1   1    0.0   1   1
 13   -0.7   1   1   -0.7   1   1   -4.0   1   1   -4.0   1   1    0.0   1   1    0.0   1   1
...
...
  2    0.4  22  43   -0.2   1  47    2.3  21  43   -1.3  29  27    1.3  23  11   -1.2  20  47
  1    0.4  22  43   -0.2   1  47    2.3  22  44   -1.3  29  20    0.9  23  11   -0.8  20  47
 BEBANA beendet

Alpha hor. und vert.:   0.80   1.00      Verhältnis: 0.8000
```

Der nächste Abschnitt enthält Angaben zur Iteration. Hier wurden 116 Iterationen benötigt bis das Abbruchkriterium erfüllt war (0.9474E-07 < 0.1E-06). Für jede der 15 Schichten wird die Summe der Lambda's und die Änderung bei der letzten Iteration angezeigt. Die Änderungen sollten möglichst in allen Schichten 0 sein.

```
=== Iteration === Omega(opt)=   1.89894        Abbruchschranke= 0.1000E-06

ITER:  116
   4970  10783  17189  23539  29822  35776  41458  46295  50338  53729  56538  58795  60519  61671  62224
    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0
Iterationen nach 116 Schritten beendet (   0.947372E-07)
```

Der folgende Abschnitt ist für den Erfolg und die Güte der Berechnungen sehr wichtig. Der obere Teil zeigt die maximalen Divergenzen und deren Lage im Simulationsgebiet (Zellindices) sowie die Summe der Beträge der einzelnen Divergenzen in jeder Schicht. In der Zeile Gesamtdivergenz ist die Summe aller Divergenzen aufgeführt. Darunter ist die Bilanz dargestellt, d.h. die Flüsse über die Ränder i=1, i=NX, j=1, j=NY und k=NZ.

Auffallend sind hier die etwas größeren Divergenzen ab der 10-ten Schicht. Dies ist die Folge der nichtäquidistanten Gittereinteilung in der Vertikalen ab dieser Schicht. Es wird empfohlen, die bodennahen Bereiche möglichst äquidistant aufzulösen.

Die verbleibenden Divergenzen werden in einem weiteren Schritt minimiert (CLEANUP). Die resultierenden Divergenzen sind im unteren Teil dargestellt.

```
  K   maximale Divergenz(Box) [1/sec]  Gesamtdiv.(Schicht) [1/sec]
 15  0.9640E-04 ( 14, 52, 15)     0.8978E-01
 14  0.6641E-06 ( 18, 28, 14)     0.7236E-03
 13  0.5895E-03 ( 12, 54, 13)     0.3967
 12  0.4369E-03 ( 12, 54, 12)     0.2376
 11  0.1519E-05 ( 20, 19, 11)     0.1565E-02
 10  0.2027E-02 ( 12, 53, 10)     0.6243
  9  0.1962E-05 ( 21, 30,  9)     0.1969E-02
  8  0.2136E-05 ( 23, 31,  8)     0.2121E-02
  7  0.2409E-05 ( 19, 33,  7)     0.2137E-02
  6  0.2820E-05 ( 22, 22,  6)     0.1979E-02
  5  0.2876E-05 ( 21, 33,  5)     0.1939E-02
  4  0.2984E-05 ( 22, 28,  4)     0.1909E-02
  3  0.3240E-05 ( 21, 32,  3)     0.1928E-02
  2  0.3128E-05 ( 21, 42,  2)     0.1744E-02
  1  0.2767E-05 ( 20, 29,  1)     0.1143E-02

Gesamtdivergenz (Betrag):       1.3675     1/sec         0.54208E-01
Bilanz (m**3/s):     <U>   -5108.2       6126.0         <V>   -31604.        30272.         <W>  313.2098     <insgesamt>   -1.3176
Gesamtdivergenz (Ränder):  -0.70093E-06 1/sec
CLEANUP beendet

 K   maximale Divergenz(Box) [1/sec]  Gesamtdiv.(Schicht) [1/sec]
 15  0.7950E-07 ( 40, 35, 15)     0.1401E-03
 14  0.7947E-07 ( 14, 16, 14)     0.1368E-03
 13  0.7941E-07 ( 35, 35, 13)     0.8030E-04
 12  0.3974E-07 ( 27, 17, 12)     0.6863E-04
 11  0.3974E-07 ( 25, 22, 11)     0.6884E-04
 10  0.3974E-07 ( 30,  3, 10)     0.6886E-04
  9  0.3974E-07 ( 41,  5,  9)     0.6928E-04
  8  0.3974E-07 ( 25,  4,  8)     0.6882E-04
  7  0.3974E-07 ( 23,  4,  7)     0.6606E-04
  6  0.3974E-07 ( 15,  7,  6)     0.5037E-04
  5  0.3974E-07 ( 46,  1,  5)     0.2857E-04
  4  0.3353E-07 (  1, 55,  4)     0.1512E-04
  3  0.1987E-07 ( 58,  9,  3)     0.1059E-04
  2  0.1987E-07 ( 23, 11,  2)     0.7335E-05
  1  0.1987E-07 ( 24, 11,  1)     0.6076E-05

Gesamtdivergenz (Betrag):      0.88579E-03 1/sec        -0.92766E-05
Bilanz (m**3/s):     <U>   -5108.1       6126.0         <V>   -31603.        30272.         <W>  313.1234     <insgesamt>    0.0003
Gesamtdivergenz (Ränder):   0.16235E-09 1/sec

## Ergebnis gespeichert in der Datei VE_010.ERG
```

Nach der Speicherung der Komponenten in der angegeben Ergebnisdatei erfolgen werden die mit SH spezifizierten Felder ausgegeben. Am Schluss werden Angaben zu den größten berechneten Strömungskomponenten gemacht.

```
*** Horizontalschnitt: U bei K=  1 ***
 59 -0.42 -0.41 -0.39 -0.37 -0.34 -0.32 -0.30 -0.29 -0.28 -0.27 -0.25 -0.24 -0.22 -0.21 -0.20 -0.17 -0.12 -0.05 -0.04 -0.04 -0.03
 58 -0.63 -0.58 -0.55 -0.50 -0.44 -0.38 -0.36 -0.34 -0.32 -0.29 -0.27 -0.24 -0.20 -0.18 -0.16 -0.12 -0.01  0.25  0.20  0.16  0.16
 57 -0.82 -0.75 -0.70 -0.63 -0.54 -0.46 -0.44 -0.39 -0.37 -0.32 -0.27 -0.24 -0.17 -0.13 -0.12 -0.10 -0.04  0.00  0.00  0.00  0.00
 56 -1.01 -0.91 -0.83 -0.73 -0.63 -0.57 -0.52 -0.45 -0.41 -0.34 -0.27 -0.22 -0.14 -0.08 -0.06 -0.07 -0.05  0.00  0.00  0.00  0.00
 55 -1.19 -1.05 -0.93 -0.79 -0.71 -0.69 -0.61 -0.51 -0.44 -0.36 -0.27 -0.19 -0.12 -0.04  0.01  0.02 -0.04 -0.17  0.04  0.29  0.16
 54 -1.33 -1.21 -0.99 -0.81 -0.73 -0.83 -0.63 -0.53 -0.40 -0.36 -0.34 -0.14 -0.08  0.00  0.10  0.19  0.18  0.17  0.19  0.26  0.15
 53 -1.29 -1.42 -1.00 -0.73 -0.47  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.02  0.10  0.23  0.36  0.42  0.41  0.36  0.21  0.13
...
...
  2  0.04  0.01  0.00 -0.01  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.04  0.05  0.05  0.06  0.07  0.09  0.12  0.13  0.13  0.14  0.21  0.06
  1 -0.03 -0.04 -0.04 -0.05 -0.11 -0.06  0.00  0.05  0.13  0.09  0.08  0.08  0.07  0.08  0.08  0.08  0.07  0.08  0.07  0.06 -0.01
       1     2     3     4     5     6     7     8     9    10    11    12    13    14    15    16    17    18    19    20    21
...

Größte pos. und neg. Komponenten
   k    +u   i   j     -u   i   j     +v   i   j     -v   i   j     +w   i   j     -w   i   j
 15   -0.7   1  25   -0.8   1  50   -4.3  16  60   -4.4  18  39    0.0  19  50    0.0  17  23
 14   -0.7   1  26   -0.8   1  51   -4.1  15  60   -4.2  19  39    0.0  16  51   -0.1  16  25
 13   -0.6   1  28   -0.8   1  52   -3.9  14  60   -4.1  20  39    0.1  14  52   -0.1  16  26
...
...
  2    1.0  60  54   -1.5   2  53    1.1  59  53   -1.4  29  35    1.3  25  11   -1.1  42  48
  1    1.0  60  54   -1.4   2  53    1.2  20  50   -1.4  29  22    0.8  25  11   -0.7  20  47


 --- Ergebnis in Datei VE_010.ERG geschrieben (03.12.2001_17:57:03)-----------------------------------------------------------------
```

Danach schließen die Protokollausgaben für die weiteren Strömungsrichtungen an. Exemplarisch ist die Strömung in 2 Schnitten grafisch dargestellt (siehe Bild C1). Diese Grafik wurde mit dem Programm FPLOT erzeugt. Die Kommandozeile lautete

```
FPLOT  VE_230.ERG /F=3
```

Ausgewählt wurde ein Vektorplot (V) in einem Vertikalschnitt (J29) und in dem bodennächsten Horizontalschnitt (K01). Für die Skalierung der Pfeillänge wurde der Faktor 2 angegeben. Die Hindernisse werden mit Stift 3 dargestellt, die Vektoren mit Stift 2, alle sonstigen Zeichnungselemente mit Stift 1.

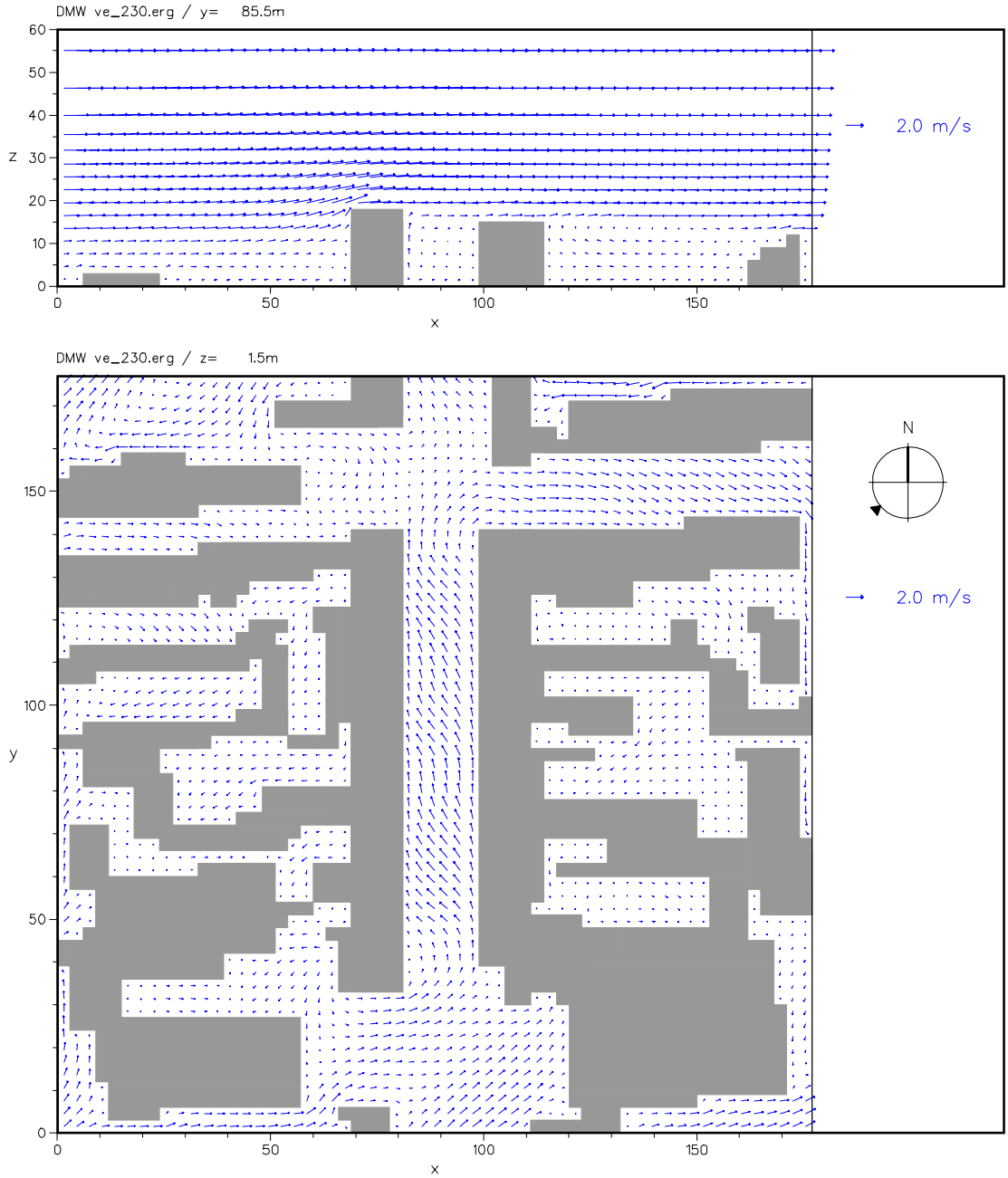


Bild C1: Horizontal- und Vertikalschnitt durch das Strömungsfeld „Venloer Straße“ bei Anströmung aus 230°

8 Anhang D Verifikation

Im Anhang D werden ergänzend zur Richtlinie Vergleiche der Simulationen mit Natur- und Windkanalmessungen vorgestellt. Die Eingangsdaten (Steuerdateien und Gebäudedateien) für das Programm sind in den in Tabelle D1 aufgeführten Unterverzeichnissen abgelegt. Die Vergleichsdaten liegen im Unterverzeichnis MESSUNGEN.

Tabelle D1: Benötigte Dateien für die dargestellten Vergleichsfälle

BONNER	**Bonner Straße**
bo_$$$.par	Steuerdatei
bonner.geb	Gebäudedatei
do_bonner.bat	Batch-Programm startet Simulationen und erzeugt Plots
VENLOER	**Venloer Straße**
ve_$$$.par	Steuerdatei
venloer.geb	Gebäudedatei
U	**U-förmiges Gebäude**
u???_m.par	Steuerdateien für unterschiedliche Anströmrichtungen
u???_m.geb	Gebäudedateien
KREUZUNG	**Kreuzungssituation**
f0_???.par	Steuerdateien für 3 Anströmrichtungen
krzg?.geb	Bebauungsszenarien (benötigt wird nur Fall 0)
do_f0.bat	Batch-Programm startet Simulationen und erzeugt Plots
Messungen	**Datensätze zur Validierung**
Bonner.uvw	Zeitreihe mit gemessenen Strömungskomponenten Bonner Straße
Venloer.uvw	Zeitreihe mit gemessenen Strömungskomponenten Venloer Straße
Krzg225.dat	Windkanalmessungen für Anströmung 225°
Krzg240.dat	Windkanalmessungen für Anströmung 240°
Krzg270.dat	Windkanalmessungen für Anströmung 270°

8.1 Bonner Straße

In Bild D1 sind die berechneten Strömungsverhältnisse für eine straßensenkrechte Anströmung der Bonner Straße mittels Vektoren dargestellt. Die Länge der Pfeile ist ein Maß für die Geschwindigkeit, die Richtung der Pfeile gibt die Strömungsrichtung an. Die Hindernisse sind grau angelegt.

Der obere Teil der Abbildung zeigt einen Vertikalschnitt auf Höhe der Messstelle (im unteren Teil der Abbildung hellgrau hinterlegt). Man erkennt einen ausgeprägten Wirbel in der Bonner Straße, der bodennah zu einer gegen die Anströmung gerichteten Strömung führt.

Der Horizontalschnitt zeigt, wie differenziert sich die Strömung in der Fläche darstellt. Man erkennt Nachlaufzonen, windschwache Gebiete und Kanalisierungen der Strömung.

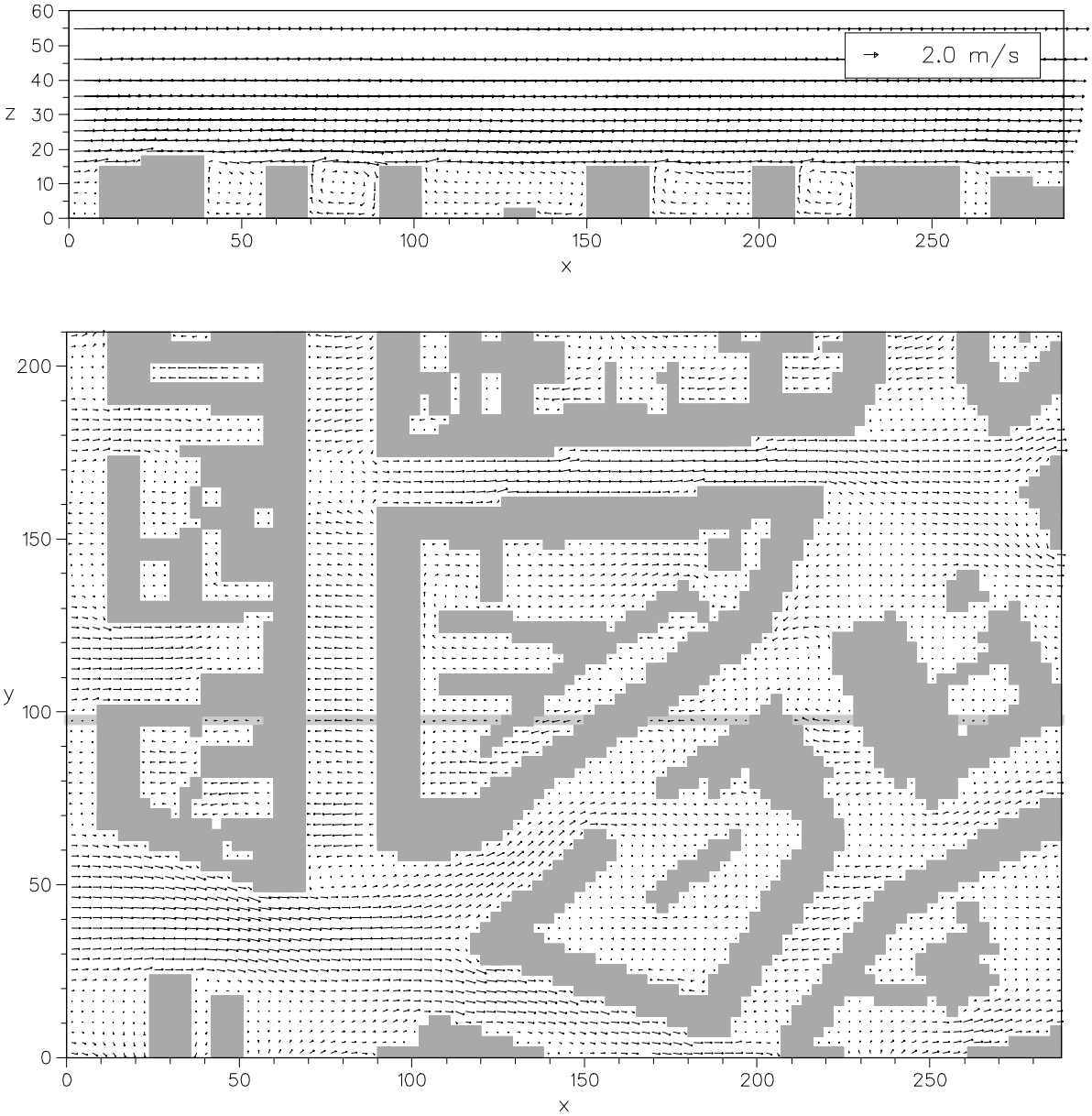


Bild D1: Strömungverhältnisse bei straßensenkrechter Anströmung der Bonner Straße (90°). Oben: Vertikalschnitt an der Messstelle. Unten: Horizontalschnitt in 1,5 m über Grund.

Für den Vergleich mit den Messungen des TÜV Rheinland in der Bonner Straße wurden Rechnungen für 36 Anströmrichtungen durchgeführt (Anströmung 0° – Strömung parallel zur Bonner Straße gegen die y-Richtung). Die Profilparameter z_0 und d_0 wurden aus den Hindernisgeometrien berechnet. Für z_0 ergibt sich ein Wert von 0,4 m und d_0 von 9,8 m.

Der Straßenquerschnitt und die Messpunkte in der Bonner Straße sind in Bild D2 dargestellt. Der Straßenraum ist an dieser Stelle ca. 20 m breit. Die Randbebauung ist 18 m hoch.

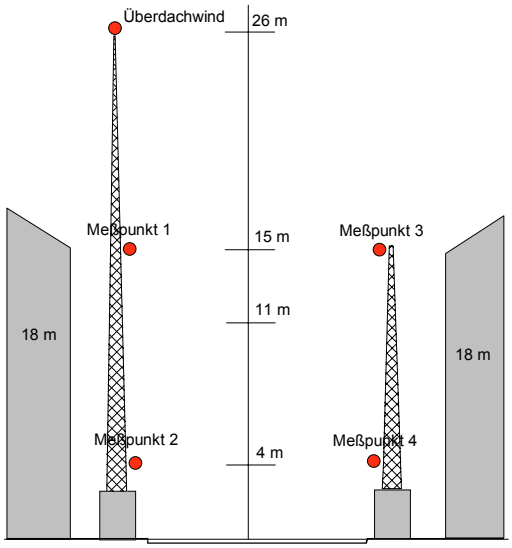


Bild D2: Schnitt durch die Bonner Straße mit Lage der Messpunkte

Bei den Freilandmessungen wurde die Strömung mit Propelleranemometern an zwei Messmasten in 4 m und 15 m über Grund in Form von Halbstundenmittelwerten bestimmt. In 26 m über Grund wurde die Überdachströmung gemessen. Der Datensatz ist in Anhang J der Richtlinie beschrieben.

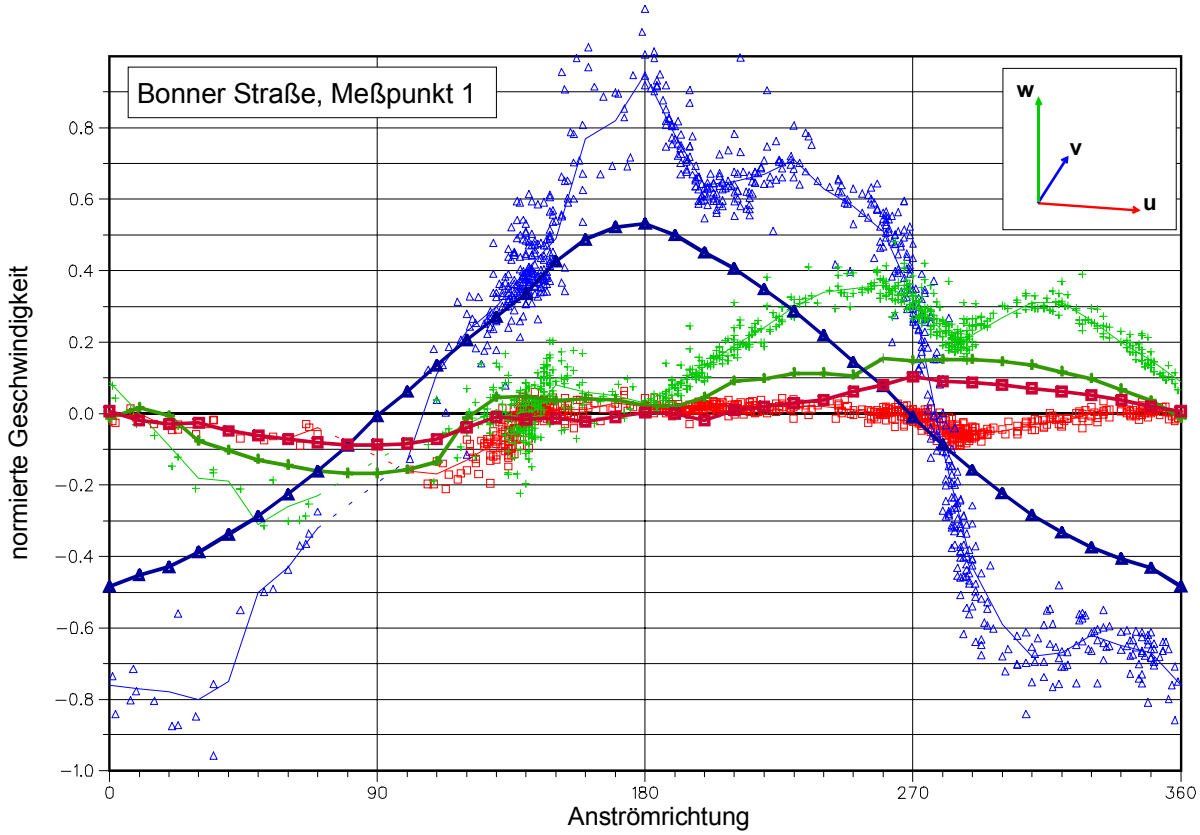
In Bild D3 und Bild D4 sind die, mit der Anströmung in 26 m über Grund normierten, Strömungskomponenten als Funktion der Anströmrichtung über Dach aufgetragen. Die Symbole kennzeichnen die einzelnen Messwerte. Windrichtungen im Bereich von Südost bis Nord kommen am häufigsten vor. Wind aus dem Nordostsektor ist vergleichsweise selten. Die dünnen Linien geben den Mittelwert der jeweiligen Komponenten an. Die dicken Kurven stellen die Modellergebnisse dar.

Je nach Anströmrichtung bzgl. dem Verlauf der Bonner Straße bildet sich ein Wirbel in der Straßenschlucht aus. Dieser führt zu einer vertikalen und straßensenkrechten Komponente. Kommt die Strömung beispielsweise von rechts (270°), so findet man an den Messpunkten 1 und 2 eine abwärts gerichtete und an den Messpunkten 3 und 4 eine aufwärts gerichtete Strömung.

Bild D3 oben und Bild D4 oben zeigen die Verhältnisse am Messpunkt 1 bzw. Messpunkt 3 (vgl. Bild D2). Die größte Amplitude zeigt die straßenparallele Komponente. Sie ist zwischen den Anströmrichtungen 110° und 280° positiv und für die verbleibenden Richtungen negativ. Die straßenparallele Komponente der Simulationen verläuft analog, die Intensität wird jedoch unterschätzt. Dies ist auch bei der straßensenkrechten und der Vertikalkomponente der Fall, wobei vor allem letztere zu gering ausfällt.

Deutlich besser sind die Übereinstimmungen Messung – Modell bei Messpunkt 2 (Bild D3 unten) und Messpunkt 4 (Bild D4 unten).

Das atypische Verhalten der Messwerte bei Anströmrichtungen um 270° konnte nicht nachgebildet werden. Die Ursachen für diese Effekte sind nicht bekannt.



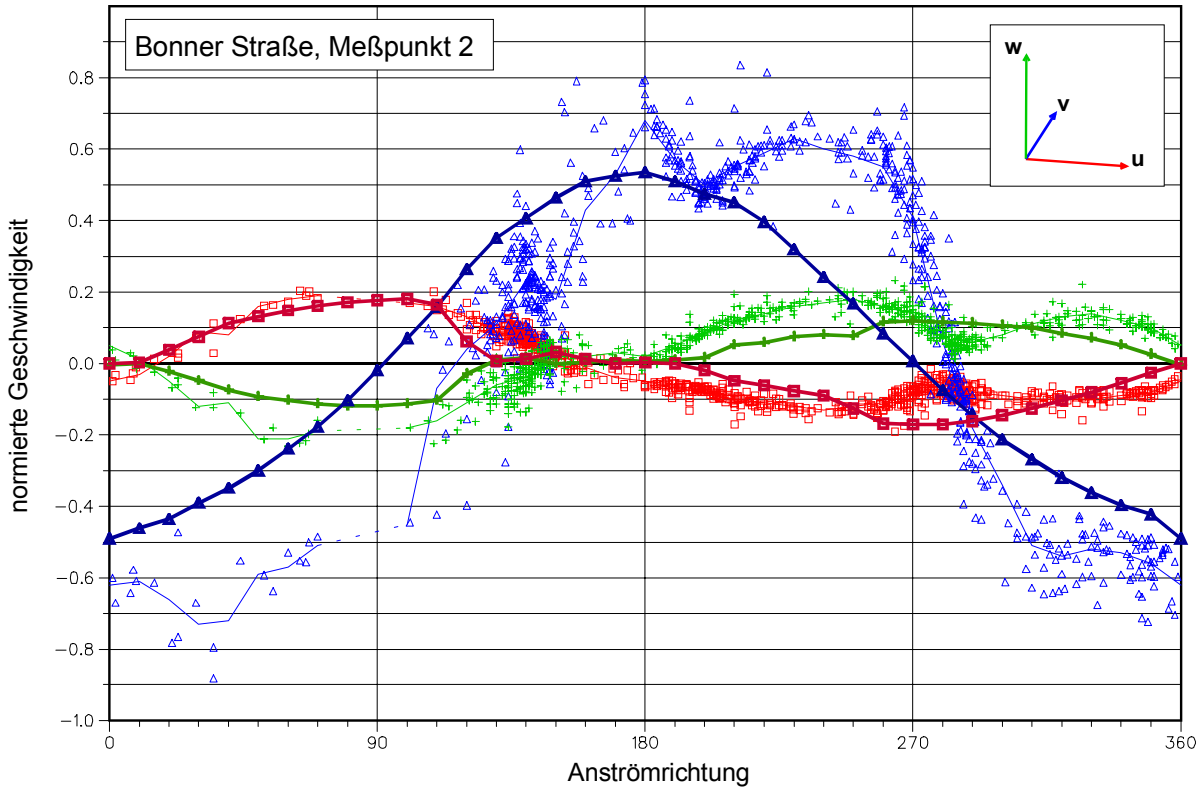


Bild D3: Mit der Überdachströmung normierte Strömungskomponenten parallel zur Straße (v), senkrecht zur Straße (u) und vertikal (w). Dicke Kurven – Ergebnis der Modellrechnungen. Oben Messpunkt 1, unten Messpunkt 2.

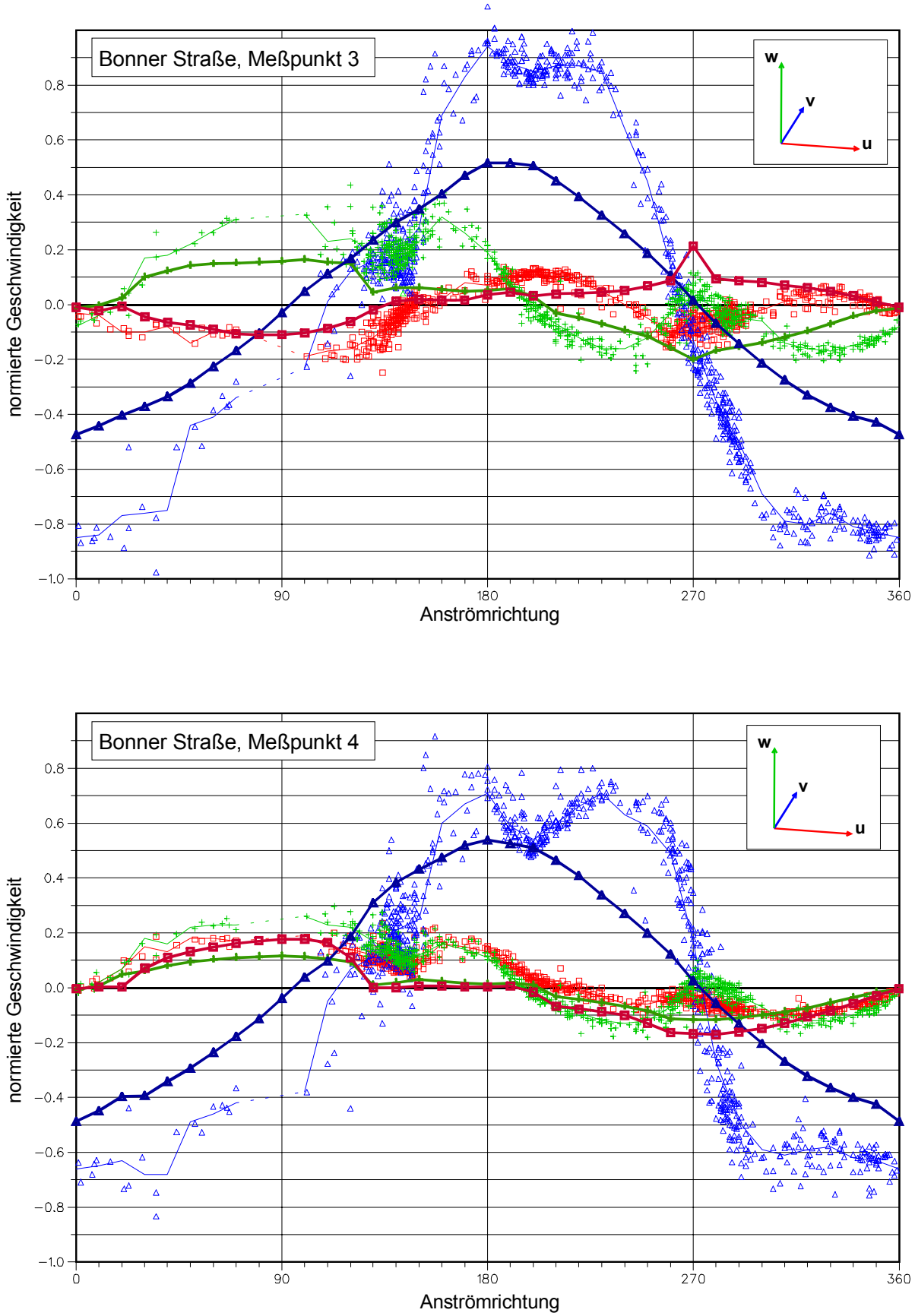


Bild D4: Mit der Überdachströmung normierte Strömungskomponenten parallel zur Straße (v), senkrecht zur Straße (u) und vertikal (w). Dicke Kurven – Ergebnis der Modellrechnungen. Oben Messpunkt 3, unten Messpunkt 4.

8.2 Venloer Straße

Das Simulationsgebiet wurde so gewählt, dass die Messstelle in der “Venloer Straße” ungefähr in der Mitte des Simulationsgebietes liegt und die Straße parallel zum Rechengitter verläuft. Der Ursprung des Simulationsgebiets wurde an den Punkt (0,0) gelegt. Das Simulationsgebiet erstreckt sich 177 m in x-Richtung und in y-Richtung. Die Hindernishöhen liegen zwischen 3 und 21,7 m. Der obere Rand des Rechengebiets liegt bei 60 m. Die Aufteilung in der Vertikalen wurde in den unteren 30 m äquidistant zu 3 m gewählt, darüber nehmen die Maschenweiten sukzessive zu.

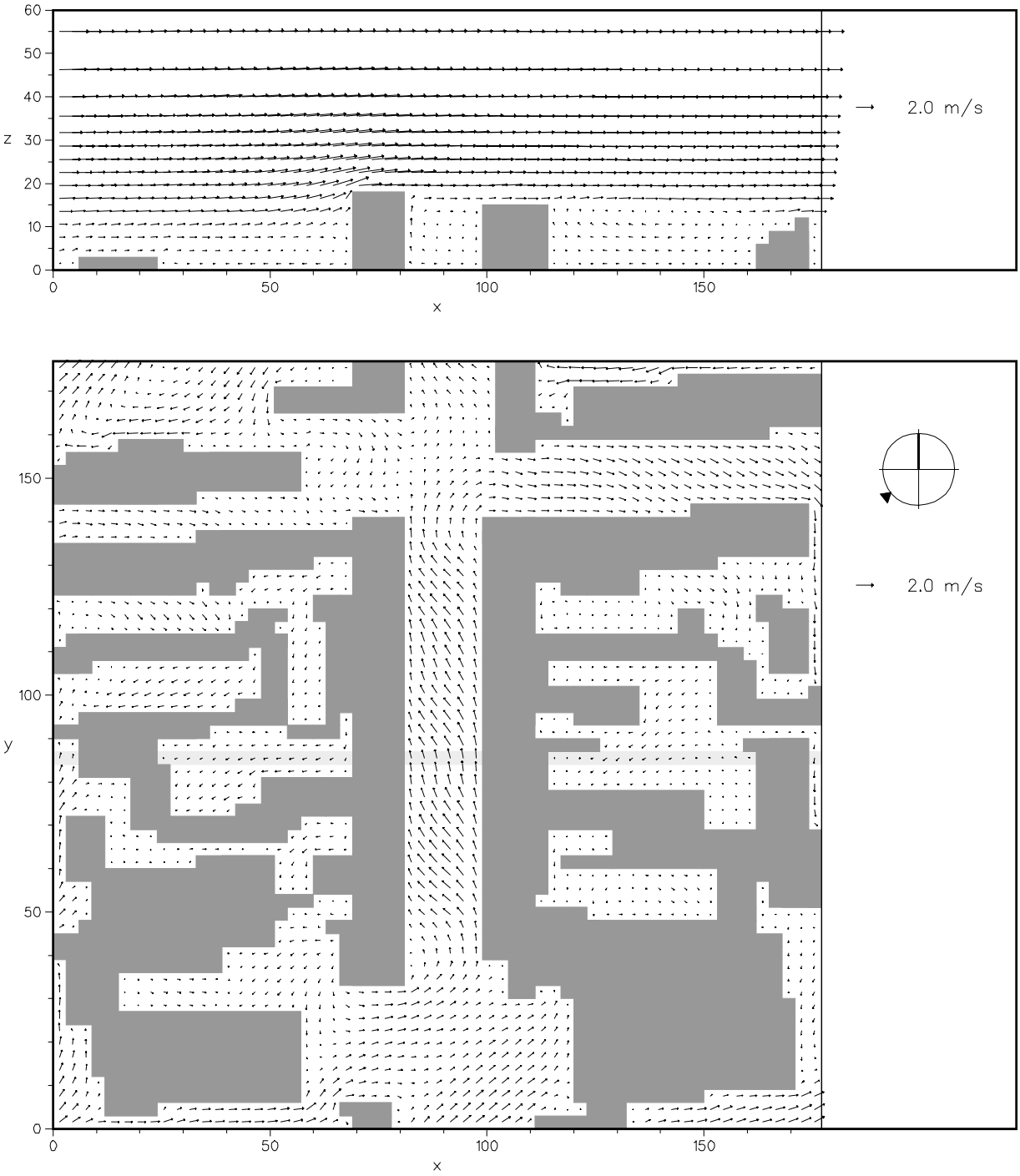


Bild D5: Strömungverhältnisse bei Anströmung der Venloer Straße aus 240°.
Oben: Vertikalschnitt an der Messstelle (y=85 m). Unten: Horizontalschnitt in 1,5 m über Grund.

Die Profilmaße Bodenrauhigkeit (z_0= 0,5 m) und Nullpunktsverschiebung (d_0= 7,9 m) wurden aus den Gebäudegeometrien bestimmt. In 100 m über Grund wurde eine Windgeschwindigkeit von 5 m/s angesetzt.

In Bild D5 sind die berechneten Strömungsverhältnisse für eine Anströmung aus 240° mittels Vektoren dargestellt. Der obere Teil der Abbildung zeigt einen Vertikalschnitt auf Höhe der Messstelle. In der Venloer Straße bildet sich ein Wirbel aus, der zu einer korkenzieherartigen Strömung entlang der Straße führt.

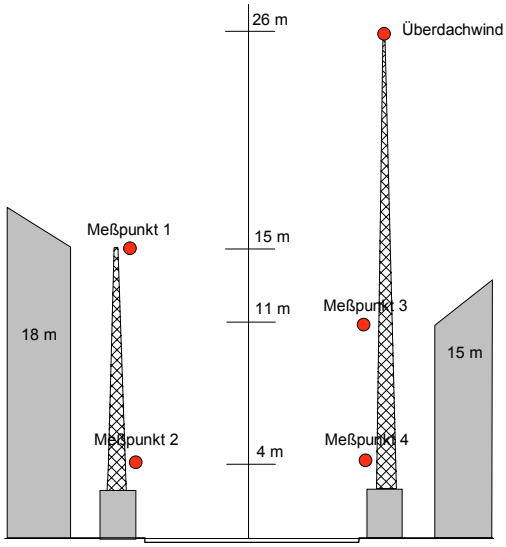
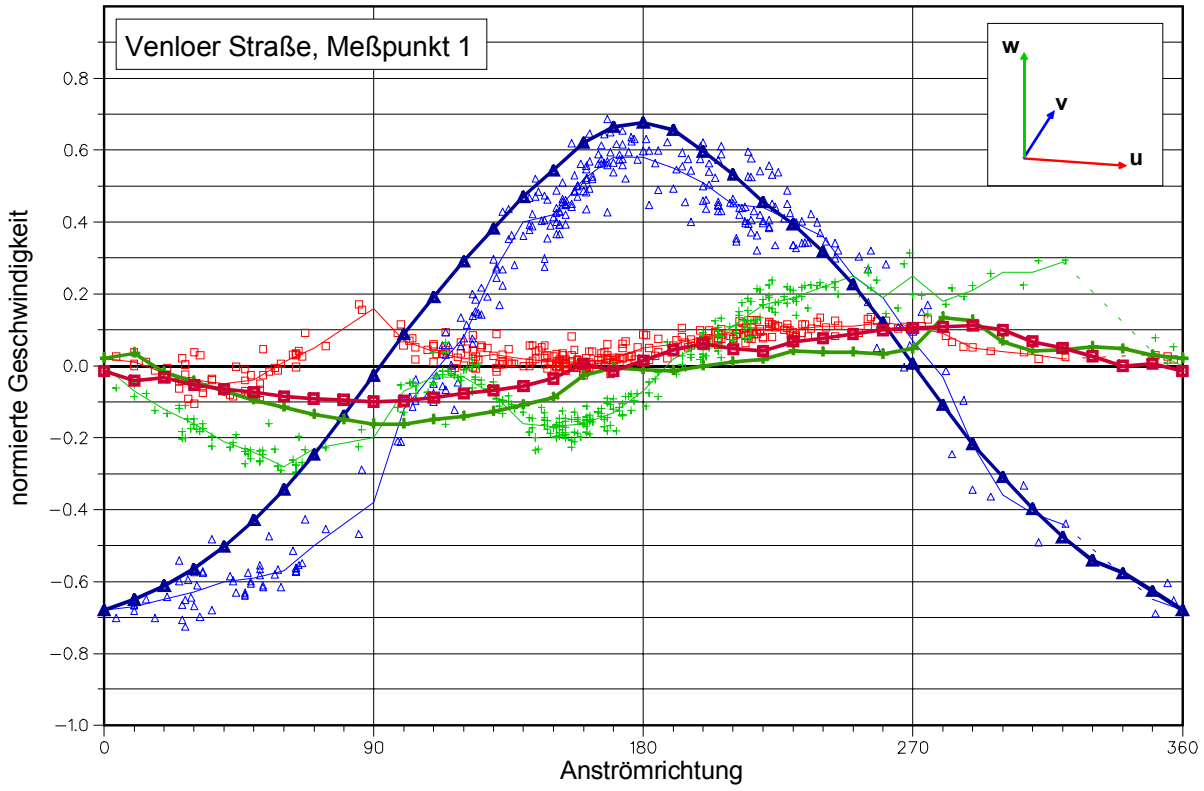


Bild D6: Schnitt durch die Venloer Straße mit Lage der Messpunkte

Der Straßenquerschnitt und die Messpunkte in der Venloer Straße sind in Bild D6 dargestellt. Der Straßenraum ist an dieser Stelle ca. 20 m breit. Die Randbebauung ist auf der linken Seite ca. 21 m, auf der rechten Seite ca. 18 m hoch. Der Messaufbau ist ähnlich wie in der Bonner Straße.

In Bild D7 und Bild D8 sind die mit der Anströmung in 26 m über Grund normierten Strömungskomponenten als Funktion der Anströmrichtung über Dach aufgetragen. Die Übereinstimmung Modellrechnung – Messung fällt besser aus als in der Bonner Straße, wobei auch hier die einzelnen Komponenten tendenziell unterschätzt werden.



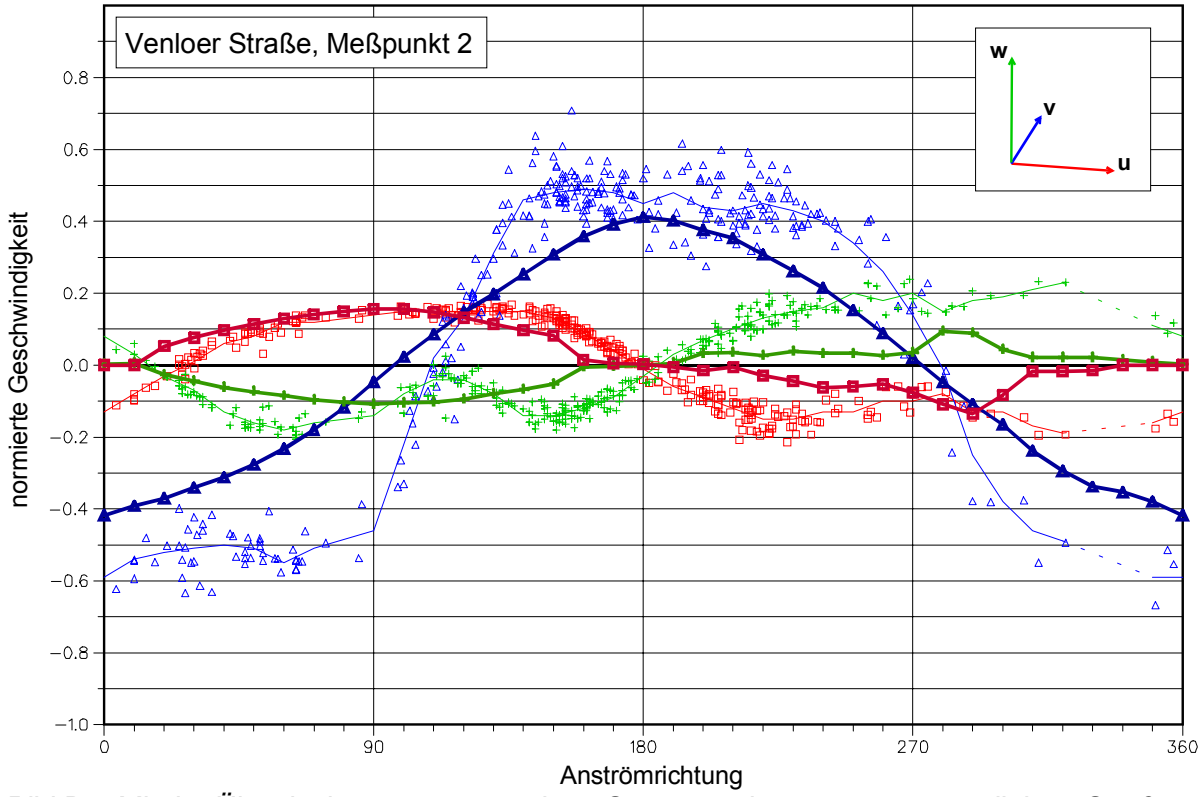
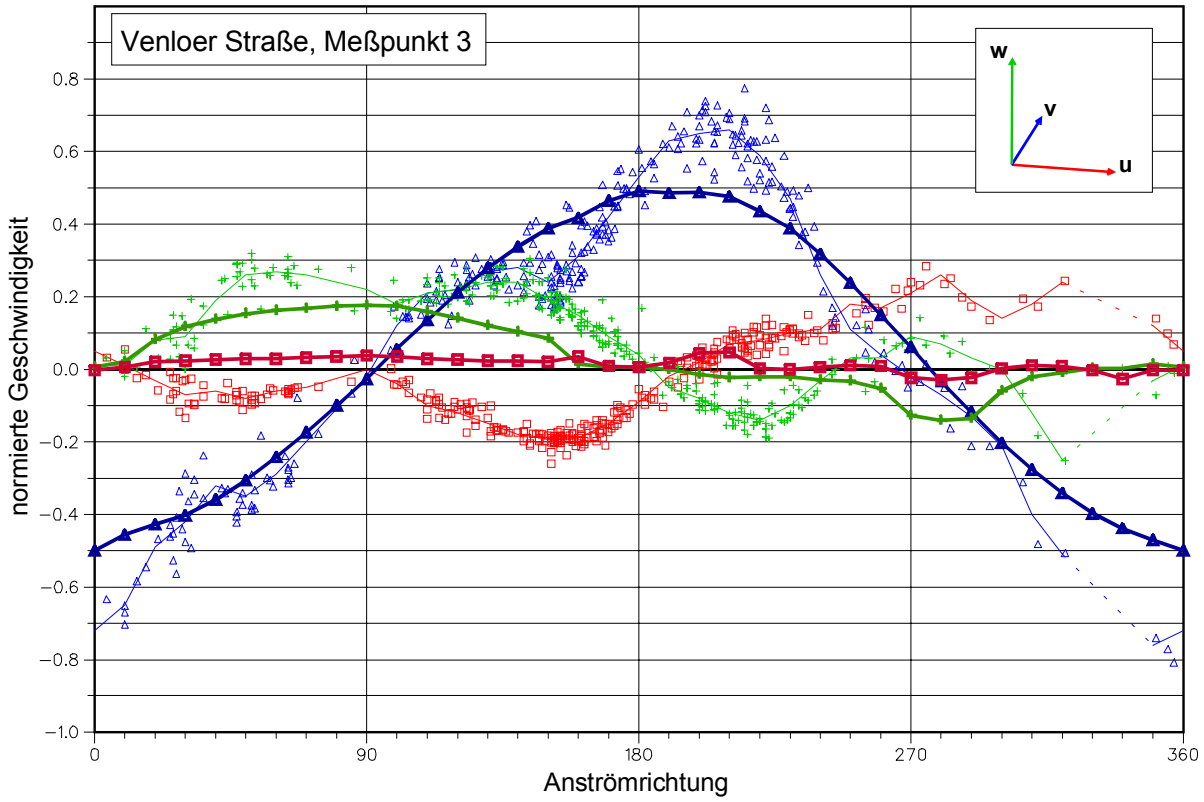


Bild D7: Mit der Überdachströmung normierte Strömungskomponenten parallel zur Straße (v), senkrecht zur Straße (u) und vertikal (w). Dicke Kurven – Ergebnis der Modellrechnungen. Oben Messpunkt 1, unten Messpunkt 2.



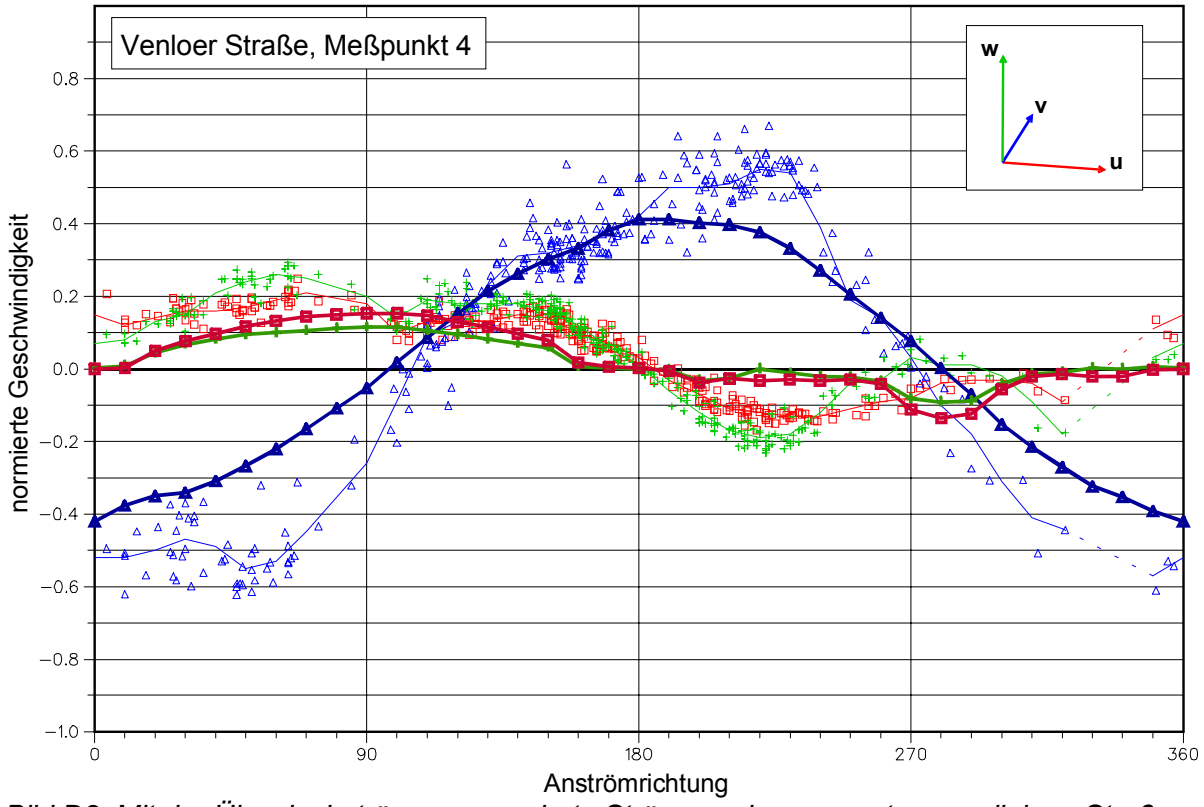


Bild D8: Mit der Überdachströmung normierte Strömungskomponenten parallel zur Straße (v), senkrecht zur Straße (u) und vertikal (w). Dicke Kurven – Ergebnis der Modellrechnungen.
Oben Messpunkt 3, unten Messpunkt 4.

8.3 U-förmiges Einzelhindernis

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden Modellsimulationen mehrerer mikroskaliger Modelle mit Windkanalmessungen verglichen (Röckle, et.al.,1995, Klein, et.al.,1995). Unter anderem wurde ein U-förmiger Baukörper untersucht. Im Windkanal wurden die Ausdehnung des Nachlaufbereichs für verschiedene Anströmungen ermittelt. Die Simulationen wurden auf einem horizontal und vertikal äquidistanten Rechengitter mit 4 m Maschenweite durchgeführt. Die Anströmgeschwindigkeit in 10 m über Grund betrug 5 m/s. Das Strömungsprofil berücksichtigt eine Bodenrauhigkeit von 0,7 m ohne Nullpunktsverschiebung.

In Bild D9 sind Horizontalschnitte der Strömungsverhältnisse in 2 m über Grund für 6 Anströmrichtungen (180°, 225°, 270°, 300°, 315° und 360°) dargestellt. Neben den berechneten Windvektoren wurden die im Windkanal gefundenen Nachlaufzonen eingetragen. Für die Anströmung 360° (Abbildung unten rechts) ist auch der Bereich des Frontwirbels, der hier über den Innenhof hinausragt, eingetragen. Für 315° lagen keine Messungen vor.

Das Modell gibt die Länge der Nachlaufbereiche für die Richtungen 180°, 225° und 300° recht gut wieder. Bei 270° und 360° werden die Bereiche vom Modell etwas überschätzt. Bei den schrägen Anströmungen wird die Breite der Nachläufe unterschätzt. Der aus dem Innenhof herausragende Frontwirbel bei der 360°-Anströmung wird gut getroffen.

In Bild D10 ist ein Horizontalschnitt durch die Gebäudemitte bei einer Anströmung aus 180° dargestellt. Die untere Grafik zeigt das Modellergebnis, die obere Grafik einzelne Strömungsmessungen aus dem Windkanal. Die vertikale Mächtigkeit des nahen Nachlaufs wird vom Modell unterschätzt. Da hier die Strömung erst an der leeseitigen Gebäudekante abreißt, ist die vertikale Mächtigkeit des Nachlaufs kleiner als im Windkanal. Am Ende der beiden Schenkel wird bis etwa zur halben Gebäudehöhe bereits eine deutliche Absinkbewegung simuliert, während im Windkanal die Strömung bis ins Dachniveau nahezu horizontal bleibt. Vor dem Gebäude bildet sich im Modell ein Frontwirbel aus. Dieser kann im Windkanal mittels Rauch zwar sichtbar gemacht werden, die verwendete Hitzdrahtsonde konnte jedoch die Strömungsverhältnisse nicht auflösen.

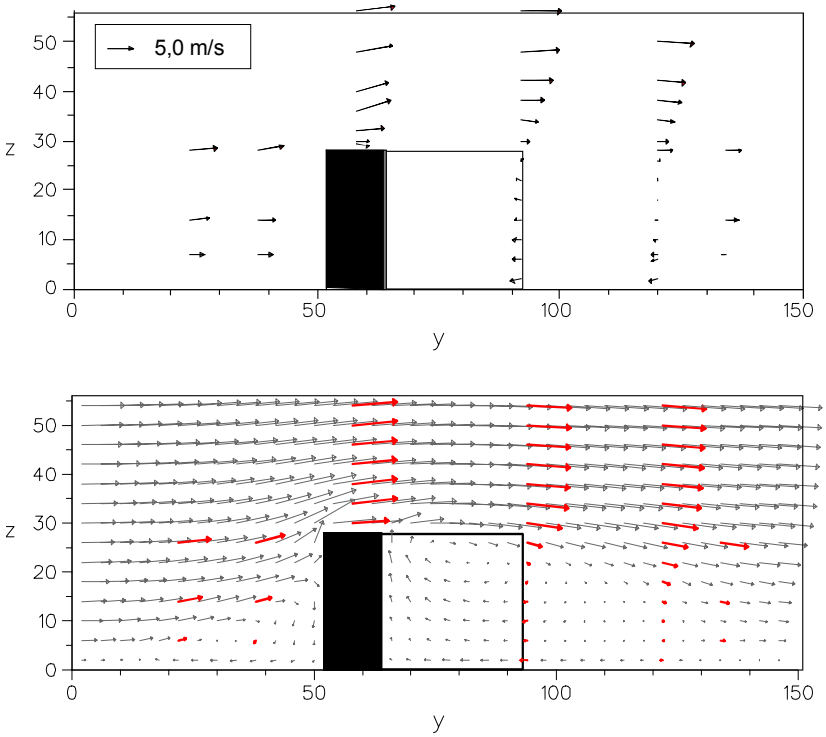


Bild D10: Vertikalschnitt durch die Gebäudemitte. Berechnete Strömungsfelder (unten) und Windkanalmesswerte (oben) bei der Anströmrichtung 180°.

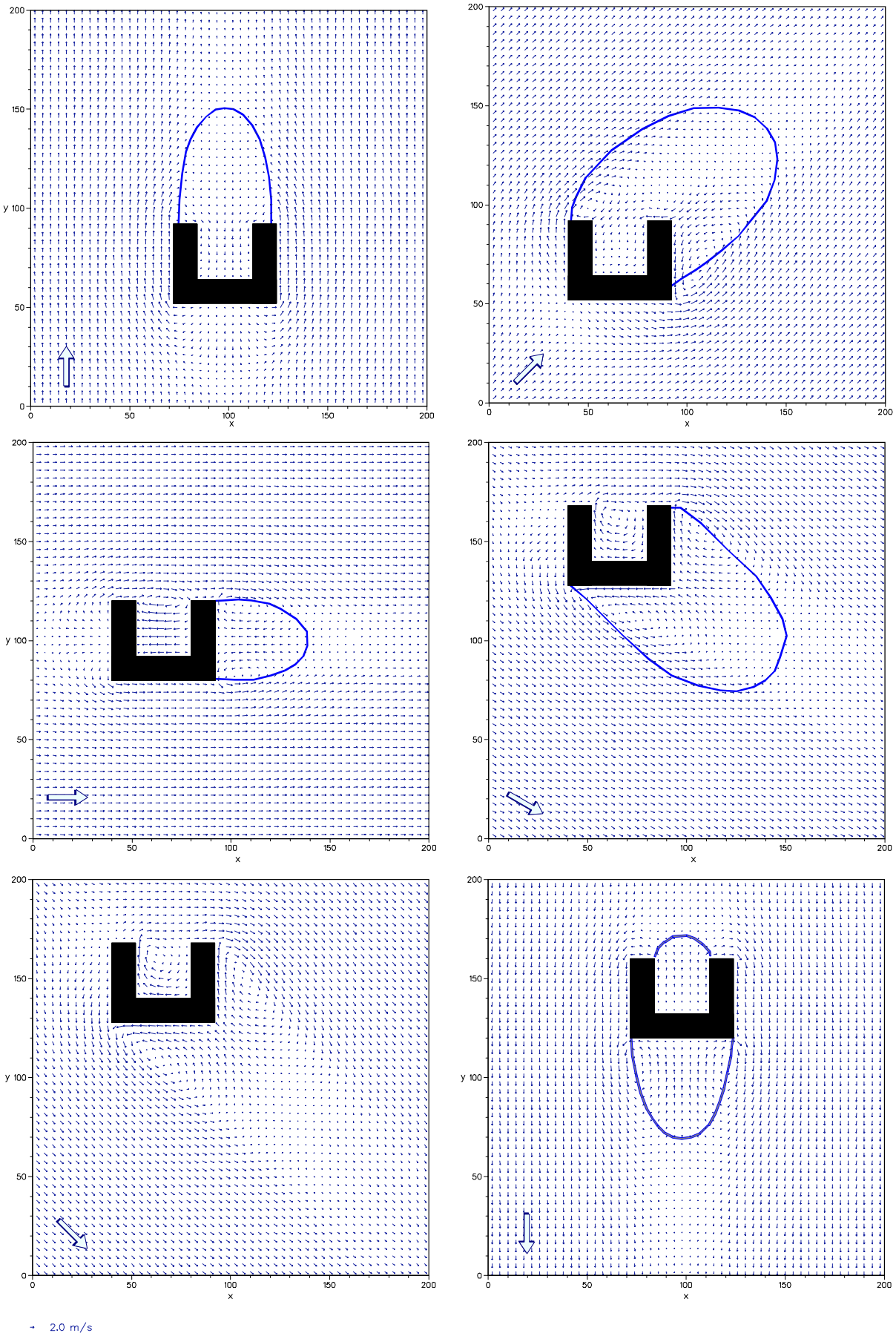


Bild D9: Berechnetes Strömungsfeld in 2 m über Grund bei verschiedenen Anströmrichtungen für das 28 m hohe Gebäude. Markierte Zonen sind Bereiche mit gegenläufiger Strömung. die im Windkanal ermittelt wurden.

8.4 Kreuzung

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden verschiedene Kreuzungssituationen hinsichtlich der Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse im Windkanal untersucht und mit den Ergebnissen von mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodellen verglichen. Die Berichte zu den Messungen (Klein et.al.,1998) und Modellvergleichen (Röckle et.al.,1998) liegen auf dem mit der Richtlinie gelieferten Datenträger oder können aus dem Internet (http://bwplus.fzk.de unter Publikationen|Berichte) als PDF-Dokumente heruntergeladen werden.

Strömungsmessungen wurden vor allem für den Referenzfall vorgenommen. Dieser Fall ist charakterisiert durch einheitlich hohe Blockrandbebauung. Die Gebäudehöhe und -breite beträgt jeweils 18 m, die Länge der Blöcke liegt bei 90 m. Bild D11 zeigt eine perspektivische Ansicht des Szenarios aus Nordost.

Die vier Bebauungsblöcke bilden zwei Straßenschluchten mit einem Breiten- zu Höhenverhältnis von 1:1. In den Straßenschluchten bildet sich, abhängig von der Anströmrichtung, ein sogenannter Canyon-Vortex aus. Dies ist ein Wirbel mit straßenparalleler Achse. Angetrieben wird dieser Wirbel durch die Strömung im Dachniveau. Im Bereich der windzugewandten Fassaden wird die Strömung nach unten geführt, auf der anderen Straßenseite findet man aufsteigende Luftbewegungen.

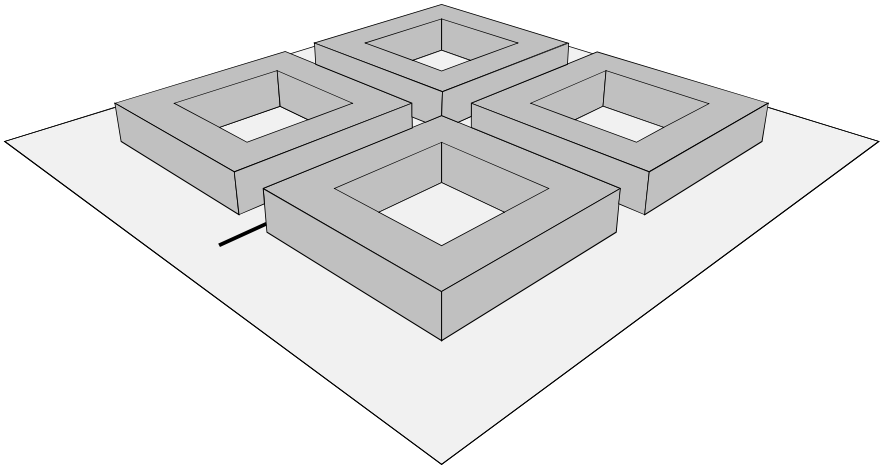


Bild D11: Perspektivische Ansicht der Gebäudekonstellation im Referenzfall

Die Berechnungen wurden auf einem horizontal äquidistanten Gitter mit 2 m Maschenweite durchgeführt. In der Vertikalen nimmt die Maschenweite von 1 m in den untersten 3 Schichten sukzessive bis auf eine Maschenweite von 10 m zu. d_0 und z_0 werden aus der Bebauungsgeometrie zu 14,4 m und 0,51 m bestimmt.

In Bild D12 sind die Strömungsverhältnisse in 2,5 m über Grund für einen 120 m · 120 m großen Ausschnitt in Form einer Vektorgrafik dargestellt. Die obere Abbildung zeigt die Windvektoren bei einer Anströmung aus 225° (Südwestwind), die untere Abbildung bei einer Anströmung aus 240° (Westsüdwestwind). Um einen direkten Vergleich mit den im Windkanal gemessenen Profilen zu ermöglichen, sind die entsprechenden Ausschnitte jeweils rechts neben den berechneten Strömungsfeldern dargestellt.

Im Kreuzungsbereich stellen sich in Lee der Gebäudeecken, je nach Anströmrichtung, kleinräumige Wirbel mit senkrechter Achse ein. In diesen Eckenwirbeln wird die bodennahe Luft spiralförmig nach oben geführt. In den Innenhöfen der Gebäude bilden sich Rezirkulationszonen aus, d.h. bodennah wird die Luft gegen die über dem Dach herrschende Strömung transportiert.

Die Strömungsrichtungen decken sich weitgehend mit den im Windkanal beobachteten Strömungsrichtungen. Die Windgeschwindigkeiten sind jedoch gegenüber dem Windkanal deutlich geringer. In der Kreuzungsmitte entspricht die Windrichtung der Anströmrichtung. Dies wird vom Modell gut wiedergegeben. Weniger gut ist die Übereinstimmung im Bereich der Eckenwirbel, die im Windkanal stärker ausgeprägt sind.

Analoge Vergleiche wurden auch mit anderen mikroskaligen Modellen (diagnostische und prognostische) vorgenommen. Die mit DMW für diese Fälle berechneten Modellergebnisse liegen innerhalb der Bandbreiten der anderen Simulationsergebnisse. Dies zeigen auch die Vergleiche im nachfolgenden Abschnitt.

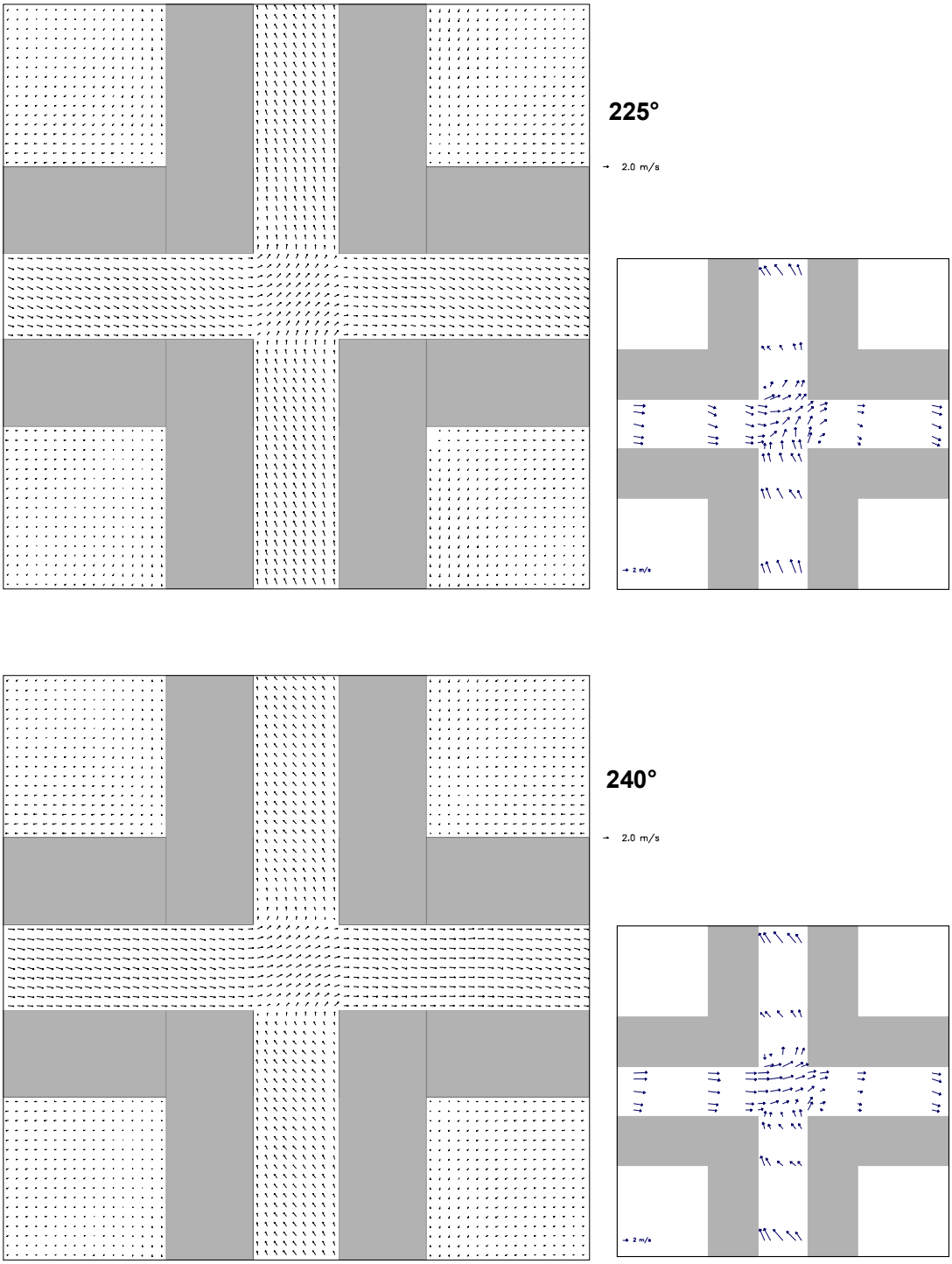


Bild D12: Bodennahe Strömungsverhältnisse bei Anströmung aus 225° (oben) und 240° (unten). Modellergebnisse (links), Windkanalmessungen (rechts)

8.5 Profile der horizontalen Strömungskomponenten

Die vertikale Struktur der Strömung wurde anhand von Profilen an ausgewählten Punkten untersucht und mit den Windkanaldaten verglichen. Bild D13 zeigt die Lage der Messpunkte und die untersuchten Anströmrichtungen.

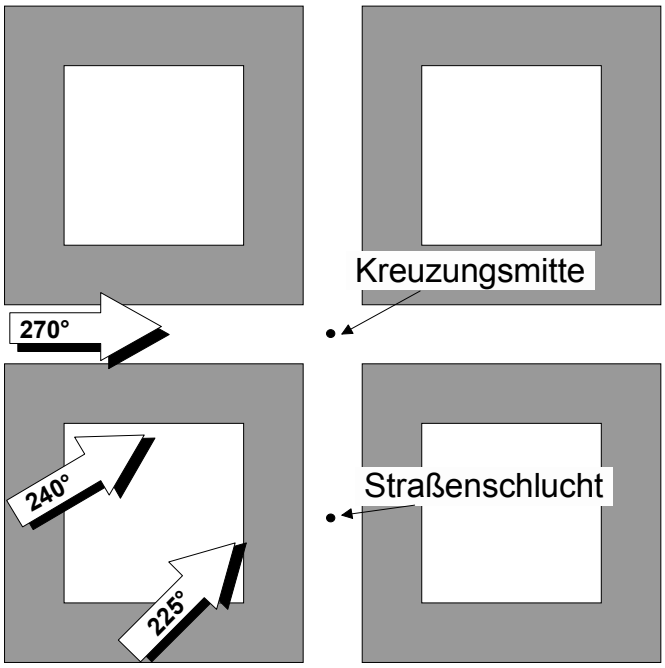


Bild D13: Lage der betrachteten Punkte und Anströmrichtungen

Bild D14 zeigt auf der linken Seite die u-Komponente in Kreuzungsmitte, auf der rechten Seite in der Nord-Süd verlaufenden Straße. In den oberen beiden Grafiken wird eine straßenparallele Anströmung (270°) betrachtet. Die Kurven sind mit Symbolen für jedes Modell markiert, die Messwerte aus dem Windkanal sind rot, die Modellergebnisse von DMW blau hervorgehoben. Neben den gemessenen Windkanalprofilen wurden ergänzend mit anderen mikroskaligen Modellen berechnete Profile eingetragen.

In der Kreuzungsmitte beträgt die Strömungsgeschwindigkeit in 2,3 m über Grund 2,2 m/s und steigt dann nahezu linear auf 6 m/s in 45 m Höhe an. Die numerischen Modelle mit Ausnahme von ABC, DASIM und DMW weisen typische Grenzschichtprofile auf. Die Windgeschwindigkeiten sind durchweg höher als im Windkanal. Die Knicke in den Profilen von ABC, DASIM und DMW sind die Folge des Initialisierungsverfahrens. Das Anströmprofil für bebautes Gelände geht bei diesen Modellen von einer Nullpunktsverschiebung des Profils aus, d.h. das Grenzschichtprofil ist um einen von der Bebauungsdichte abhängigen Betrag nach oben hin verschoben. Um unter diesem Nullpunkt, der etwa bei 14 m liegt, noch Geschwindigkeiten zu initialisieren, wird die Geschwindigkeit im mittleren Dachniveau (18 m) bei ABC und DMW linear, bei DASIM in Form eines Grenzschichtprofils zum Boden hin fortgesetzt.

In der Mitte der senkrecht angeströmten Straßenschlucht sind die Unterschiede zwischen den Modellen unterhalb des Dachniveaus nicht mehr so groß (Bild D14 oben rechts). Der Canyon-Vortex zeichnet sich bodennah durch eine negative u-Komponente aus. Das Wirbelzentrum liegt je nach Modell in einer Höhe zwischen 9 m (Windkanal) und 15 m (LASAT).

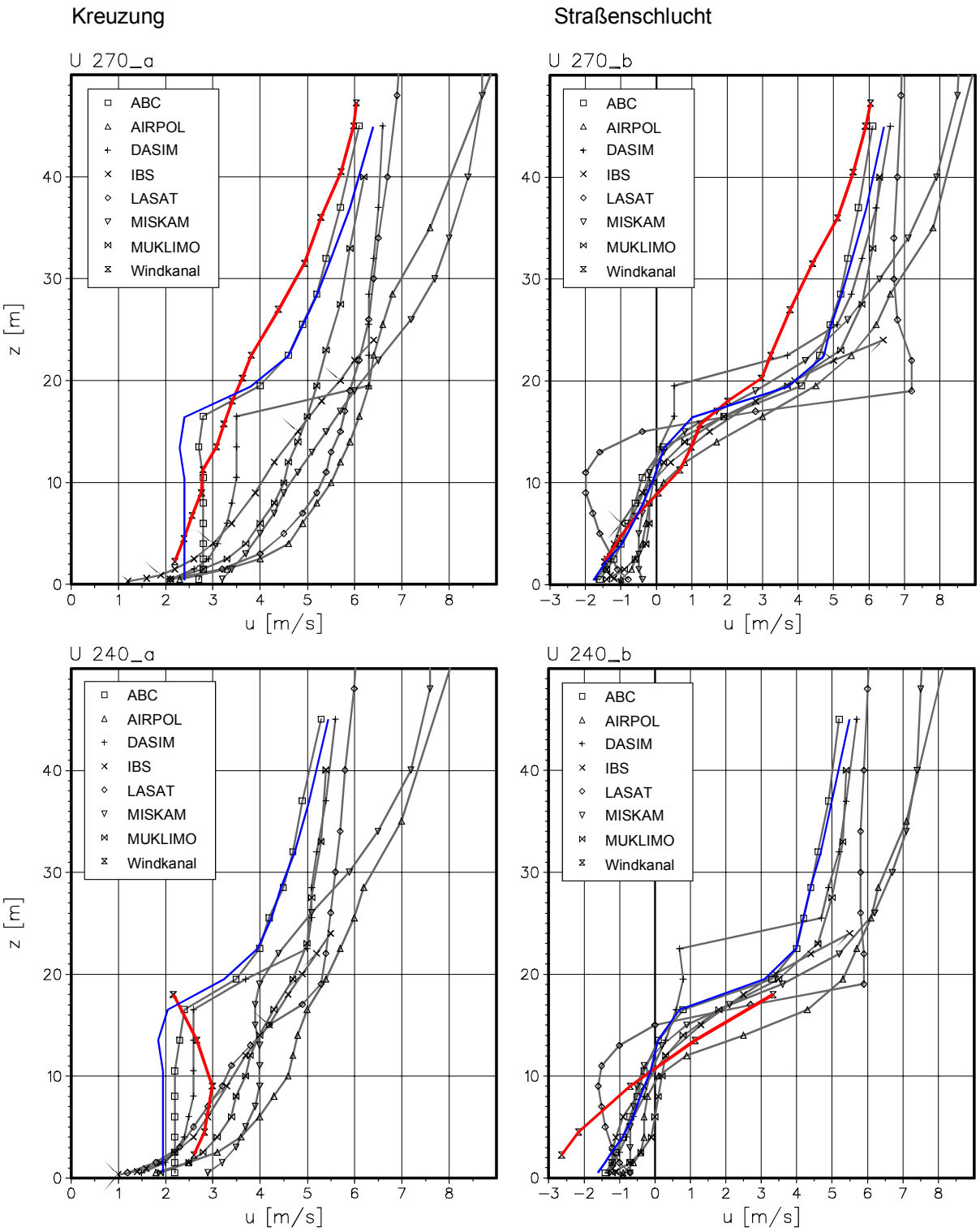


Bild D14: Profile der Horizontalgeschwindigkeit auf der Kreuzung (linke Grafiken) und in der Straßenschlucht (rechte Grafiken). Oben für Anströmung aus 270°, unten aus 240°. Windkanalmessungen rot, DMW blau

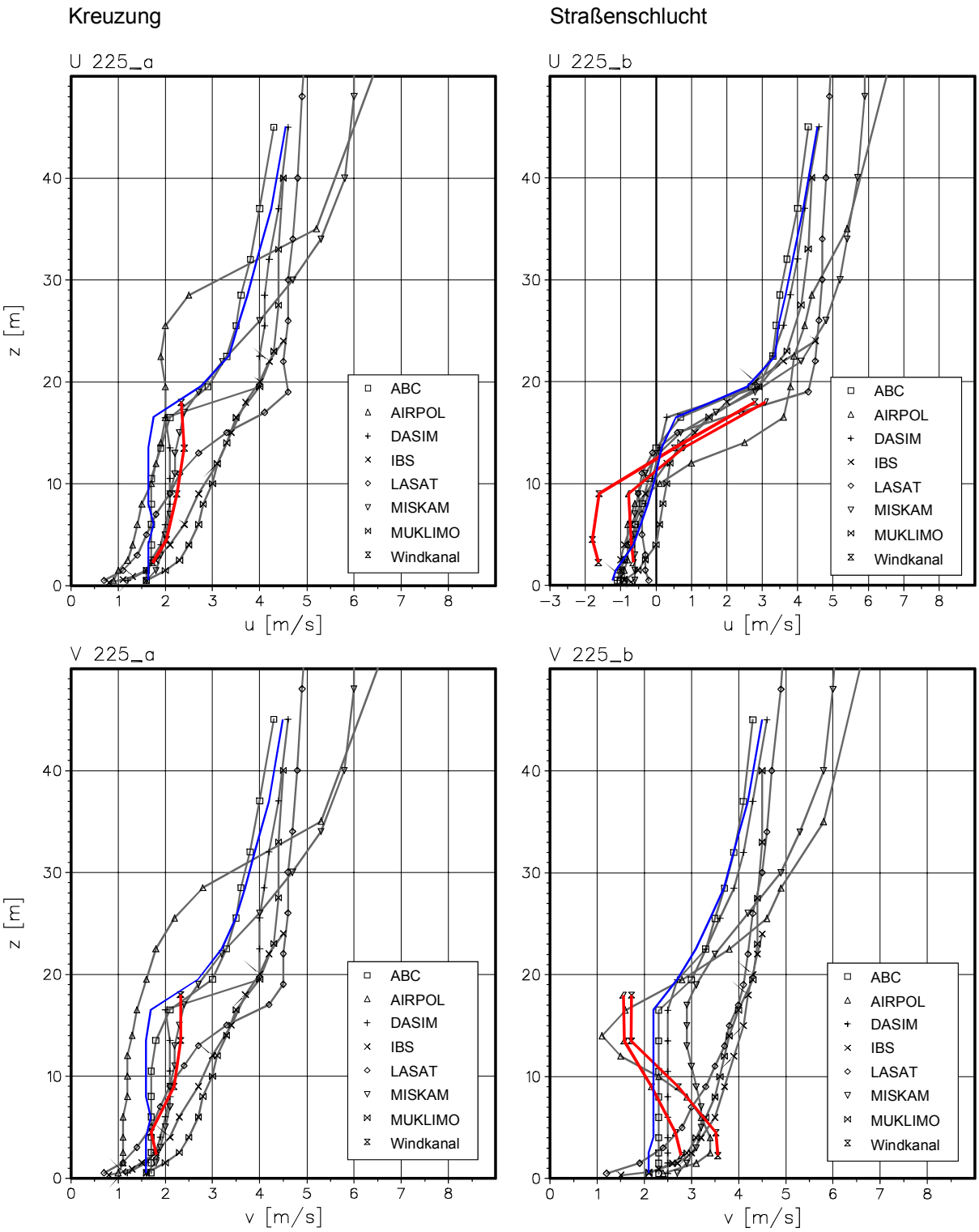


Bild D15: Profile der Horizontalgeschwindigkeit auf der Kreuzung (linke Grafiken) und in der Straßenschlucht (rechte Grafiken). Oben für Anströmung aus 225°. Windkanalmessungen rot, DMW blau

Bild D14 (unten) zeigt die Profile der u-Komponente in der Kreuzungsmitte und in der Straßenschlucht für eine Anströmung aus 240°. An den oben dargestellten Sachverhalten ändert sich nur wenig. Die Windkanalmessungen liegen für diese Richtung nur bis in Höhen von 18 m vor. Eine Übereinstimmung mit den numerischen Modellierungen ist nur in Teilbereichen vorhanden, wobei die Ergebnisse der numerischen Modelle plausibler erscheinen.

Auch für die Anströmung 225° wurden die Profile an den oben genannten Punkten ausgewertet. Bild D16 zeigt die Profile für die u-Komponente (oben) und die v-Komponente (unten). In der Kreuzungsmitte (Grafiken links) findet sich die relativ breite Spreizung der Beträge der Strömungskomponenten wieder. Die Windkanalmessungen, die bis in eine Höhe von 18 m erfolgten, liegen in der Mitte der Kurvenschar. Geringere Geschwindigkeiten unterhalb des Dachniveaus weisen AIRPOL, ABC und DMW auf, höhere Windgeschwindigkeiten IBS und MUKLIMO.

Aus Symmetriegründen müssten die u- und v-Komponenten in der Kreuzungsmitte identisch sein, d.h. die Profile der einzelnen Modelle sollten in den linken Abbildungen weitgehend deckungsgleich verlaufen. Dies ist bei DMW der Fall.

In der Straßenschlucht weisen die numerischen Modelle einen relativ einheitlichen Verlauf der straßensenkrechten Strömungskomponente auf (Bild D15 rechts oben). Zum Vergleich sind zwei Windkanalprofile eingetragen – das am Messpunkt aufgenommene und das am spiegelbildlich dazu liegenden Punkt. Während ein Profil relativ gute Übereinstimmungen zeigt, weicht das andere deutlich davon ab.

Dies ist auch beim Vergleich der straßenparallelen v-Komponente der Fall. Trotz des markanten Verlaufes stimmt in diesem Fall die v-Komponente von AIRPOL am besten mit den Messungen überein. DMW zeigt einen nahezu linearen Verlauf innerhalb der Bebauung, trifft im Mittel die Verhältnisse gut.

8.6 Vertikalkomponenten

Die Vertikalkomponenten sind eine entscheidende Einflussgröße für den Luftaustausch im Straßenraum. Im Windkanal wurden die Vertikalkomponenten in der Straßenschlucht für eine straßensenkrechte Anströmung ermittelt, so dass ein Vergleich mit den Modellergebnissen möglich ist. Tabelle D2 zeigt die maximalen Strömungskomponenten und deren Höhe. In einem Abstand von 6 m zur Straßenmitte findet man im Windkanal auf der windzugewandten Seite eine aufwärts gerichtete Strömung mit 1,5 m/s zwischen 7 m und 9 m über Grund. Die abwärts gerichtete Strömungsgeschwindigkeit ist geringfügig kleiner (1,4 m/s) und wird auf der anderen Straßenseite in 11 m über Grund gemessen.

ABC, DASIM, DMW und IBS kommen diesen Werten relativ nahe, Bei AIRPOL und vor allem MISKAM und MUKLIMO wurden zum Teil deutlich kleinere Beträge simuliert. LASAT berechnet dagegen wesentlich zu hohe Vertikalgeschwindigkeiten.

Tabelle D2: größte positive bzw. größte negative Vertikal-Komponente in der Straßenschlucht und deren Auftrittshöhe bei straßensenkrechter Anströmung

Modell	Vertikal-Komponente bei x=-6m, y=-54m	Höhe des Maximums	Vertikal-Komponente bei x=+6m, y=-54m	Höhe des Minimums
Windkanal	1,5 m/s	7 m - 9 m	-1,4 m/s	11 m
ABC	1,6 m/s	12 m - 15 m	-1,4 m/s	12 m
AIRPOL	1,3 m/s	7 m - 9m	-0,9 m/s	9 m
DASIM	1,4 m/s	9 m - 15 m	-1,5 m/s	9 m - 15 m
DMW	1,4 m/s	10,5 m/s	-1,4 m/s	10,5 m
IBS	1,6 m/s	9 m	-1,6 m/s	9 m
LASAT	5,1 m/s	16 m	-4,3 m/s	14 m
MISKAM	0,9 m/s	12 m - 14 m	-0,4 m/s	12 m
MUKLIMO	0,9 m/s	13 m	-0,6 m/s	11 m

Die untersuchten Fälle zeigen, dass die grundlegenden Strömungscharakteristika in den Straßenschluchten und im Kreuzungsbereich von allen Modellen wiedergegeben werden. In den Details – Straßenquerprofile, Eckenwirbel, Stärke der Kanalisierung, Intensität des Canyon-Vortex – gibt es jedoch Unterschiede. Diese existieren sowohl zwischen den numerischen Modellen als auch im Vergleich zum Windkanal.

9 Literatur

Klein,P., Rau,M., Wang,Z., Plate,E.J., 1994
Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen Experimente -. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen der Luftreinhaltung, Forschungsbericht FZKA-PEF 124, September 1994

Kastner-Klein,P., Plate,E.J. 1998
Windkanalversuche zur Verbesserung der Ermittlung von KFZ-bedingten Konzentrationsverteilungen in Stadtgebieten. Forschungsbericht FZKA-PEF 295001

Waldeyer, H., Leisen, P., Müller, H.R., 1982
Abhängigkeit der Immissionsbelastung in Straßenschluchten von meteorologischen und verkehrsbedingten Einflußgrößen. Berichtsband zum BMFT/TÜV-Rheinland-Immissionskolloquium “Abgasbelastungen durch den Kfz-Verkehr”, Verlag TÜV-Rheinland, 1982.

Röckle, R., Richter, C.-J., 1995
Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahbereich typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen der Luftreinhaltung, Forschungsbericht FZKA-PEF 136, Oktober 1995

Röckle, R., Richter, C.-J., Salomon,Th., Dröscher,F., Kost,J., 1998
Ausbreitung von Emissionen in komplexer Bebauung – Vergleich zwischen numerischen Modellen und Windkanalmessungen. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen der Luftreinhaltung, Forschungsbericht FZKA-PEF, September 1998, Förderkennzeichen: PEF 295002

10 Index

Abbruchschranke 13, 27

AUSTAL2000 ..... 12, 14

Bäume 16

Beispielfall 31

Bonner Straße 37

Dateiendung
- .DEF 19
- .ERG 30
- .ERR 24
- .GEB 31
- .IGB 19, 29
- .INI 19
- .ISO 19, 21
- .LOG 9
- .RAS 19, 22
- .STY 19

DMW 3, 7

Ergebnisdatei 12, 15, 17, 30

Fehlermeldungen 24

FPLOT 3, 18, 36

Frontwirbel 7

Gebäudedatei 16

Gittereinteilung 8

HPGL 18, 21

Initialwindfeld 7

Isoliniendarstellung 19, 20

Kennungen
- **!** 11
- **AB** 13
- **AH** 13
- **AV** 13
- **D0** 14
- **DD** 13
- **DX** 12
- **DY** 12
- **DZ** 12
- **ER** 12
- **GE** 12
- **IN** 14
- Leerzeile 11
- **NO** 13
- **NX** 12
- **NY** 12
- **NZ** 12
- **PR** 12
- **RA** 13
- **RG** 13
- **SH** 14
- **TI** 11
- **UR** 14
- **UV** 14
- **X0** 12
- **X1** 12
- **Y0** 12
- **Y1** 12
- **Z0** 14
- **ZR** 14

Kontrolle 5

Kreuzungssituation 37

Kuben 4, 16

Maschenweiten 4, 12

Massenerhaltung 7

Messungen 37

Nachlauf 7, 10

Nordrichtung 4

Programmaufruf 9

Protokolldatei 15, 17, 33

Schnitte 14

Standardeinstellungen 15

Steuerdatei 9, 11, 31
- *Beispiel* 15

Straßenschlucht 4, 7, 13

U-förmiges Gebäude 37

Validierungsdatensätze 37

Venloer Straße 31, 37

Vergleich 37

Voraussetzungen 3

Voreinstellungen 15

Windkanalmessungen 37