

Schornsteinhöhe nach TA Luft

BESMAX

Programmbeschreibung zu Version 1.2.0

Stand 2024-09-05

Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
Ingenieurbüro Janicke, Überlingen

Allgemeine Hinweise

Die sachgerechte Anwendung des Programms erfordert Fachkenntnisse im Bereich der TA Luft. Programm und Daten werden unter der GNU Public Licence kostenlos zur Verfügung gestellt. Es wird keine Gewähr für deren Richtigkeit oder Eignung für einen bestimmten Zweck übernommen. Das ganze Risiko bei der Verwendung liegt beim Anwender.

Das Programm wird auf den Internet-Seiten des Umweltbundesamtes zur Verfügung gestellt. Hier erscheinen bei Bedarf auch Aktualisierungen und Hinweise zu Problemen. Fragen im Zusammenhang mit dem Programm können an die E-Mail-Adresse info@austal.de gerichtet werden.

In diesem Dokument wird als Dezimalzeichen der Punkt verwendet.

Inhaltsverzeichnis

Update-Informationen	ii
1 Das Programm	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Dateien	1
1.3 Speicherbedarf und Nebenläufigkeit	2
1.4 Aufrufoptionen	3
2 Arbeitsweise	4
2.1 Arbeitsablauf	4
2.2 Batch-Modus	6
3 Technische Details	8
3.1 Berechnung von Quellparametern	8
3.2 Fahnenüberlagerung	9

Update-Informationen

1.2.0

- Bei Vorgabe der Volumenströme werden genau diese intern in der Rechnung verwendet und in die Protokolldatei ausgeschrieben. Vor Version 1.2 wurde aus den vorgegebenen Volumenströmen **vq** und **zq** berechnet, mit 3 bzw. 4 Nachkommastellen in die entsprechenden Textfelder ausgeschrieben und dann für die Rechnung in dieser gerundeten Form übernommen.
- Mit dieser Anpassung ist es ausreichend, die Austrittsgeschwindigkeit mit 2 statt 3 Nachkommastellen auszuweisen.
- Die Protokolldatei und die Standardausgabe im Batch-Modus wurden konsistenter gestaltet, was auch eine automatisierte Auswertung vereinfachen sollte:
 - Die Protokolldatei ist in Deutsch mit einem Komma als Dezimalzeichen und UTF-8 als Zeichenkodierung.
 - Die Ausgabe im Batch-Modus ist in Englisch mit einem Punkt als Dezimalzeichen und ASCII als Zeichenkodierung.
 - Datenspalten sind durch Leerzeichen getrennt, es gibt kein Leerzeichen innerhalb eines Datenelements (zum Beispiel **kg/kgtr** statt **kg/(kg tr)**).
- Es wurde die zusätzliche Option im Batch-Modus **-i** (Information) implementiert, mit der nur die Berechnung und Ausgabe der Abgasparameter erfolgt.

1.1.0 (ersetzt Version 1.0.1, keine grundsätzliche Änderung der Ergebnisse)

- Vorgabe von Normvolumenstrom feucht und trocken als Alternative zu Austrittsgeschwindigkeit und Wasserbeladung.
- Beschränkung des zulässigen Werts für den Flüssigwassergehalt.
- Ignorieren von Quellen mit Emissionsrate null bei der Festlegung des internen Gitters.
- Sortierung von Ergebnissen mit identischer Maximalkonzentration.
- Automatische Schätzung und Anpassung der Anzahl der eingesetzten Threads.
- Ausgabe der Maximalkonzentration in mg/m^3 statt in g/m^3 .
- Verwendung der Bezeichnung *Schornsteinhöhe* statt *Schornsteinbauhöhe*.
- Anpassungen in der Protokollausgabe.
- Zusätzliche Kontrollen und Rechenoptimierungen.

- IBJpluris 3.2.0 (ersetzt Version 3.1.6, keine Änderung der Ergebnisse)
 - Interne Anpassungen.
 - Bereitstellung von Rechenfunktionen für BESTAL.
 - Optionaler Korrekturfaktor des *stack-tip downwash* nach VDI 3782 Blatt 3 (nicht genutzt in BESTAL).
- Aktualisierung auf JAVA 21.
- Pakete IBJpluris und IBJdmn in Besmax.jar integriert.
- JRE erstellt aus OpenJDK 21 Temurin und OpenJFX 21 Gluon.
- Optionale Programme **Besmax S** ($S=8, 24, 56$), die für Besmax anstatt 4 maximal S GiB RAM anfordern (typischerweise geeignet für Systeme mit 16, 32 oder 64 GiB physikalischem RAM).

1 Das Programm

1.1 Hintergrund

Die TA Luft (2021) schreibt in Nummer 5.5.2.1 Absatz 5 für den Fall mehrerer Schornsteine die Prüfung auf Einhaltung des S-Wertes durch Überlagerung der Konzentrationsfahnen vor. Das Programm Besmax (Bestimmung der maximalen Konzentration) führt diese Überlagerung durch und weist den maximalen bodennahen Konzentrationswert aus, der mit dem S-Wert verglichen werden kann.

Die Ausführungen der Nummer 5.5 TA Luft für sich alleine ermöglichen bereits eine programmtechnische Umsetzung des vorgeschriebenen Rechenverfahrens. Mit Besmax wird vom Umweltbundesamt eine öffentliche Referenzlösung zur Verfügung gestellt. Sie kann sowohl für praktische Anwendungen eingesetzt werden als auch für eine Überprüfung anderer Programme, denen die Eigenschaft zugesprochen wird, das Rechenverfahren nach Nr. 5.5 TA Luft umzusetzen.

Das Copyright für das Programm Besmax liegt beim Umweltbundesamt, 06813 Dessau-Roßlau, und dem Ingenieurbüro Janicke, 88662 Überlingen. Programm und Quelltext werden kostenlos zur Verfügung gestellt und unterliegen der GNU Public Licence (GPL). Quelltext und GPL sind in der JAR-Datei (Archivdatei) enthalten.

1.2 Dateien

Die Berechnung der maximalen bodennahen Konzentration basiert auf einer bereitgestellten Bibliothek von Einzelfahnen, die gemäß Anhang 2 Nummer 14 TA Luft berechnet worden sind. Der Ordner mit den Einzelfahnen hat den Namen **plumes** und besitzt eine Größe von rund 1 GB. Das Programm prüft, ob der Inhalt dem Original entspricht, es dürfen daher keine Änderung in den Dateien vorgenommen werden.

Das Programm Besmax ist ein JAVA-Programm und benötigt ein *Java Runtime Environment* (JRE) einschließlich JavaFX. Ausgetestet wurde das Programm unter JAVA 21. Zu Besmax wird für Windows 64-Bit und für Linux 64-Bit ein lokales, auf Besmax zugeschnittenes JRE mitgeliefert (Unterordner **jre**), das auf OpenJDK 21 Temurin (adoptium.net) und OpenJFX 21 Gluon (gluonhq.com) basiert. Das JAVA-Programm selbst hat den Namen **Besmax.jar** und befindet sich im Unterordner **jar**. Das JAVA-Programm erwartet in dem Ordner, in dem es sich befindet, auch den Ordner **plumes** mit der Fahnenbibliothek.

Im Ordner oberhalb von **jar** wird für Windows 64-Bit das Programm **Besmax.exe** und für Linux 64-Bit das Programm **Besmax** mitgeliefert, das **Besmax.jar** mit dem mitgelieferten lokalen JRE startet. Es kann mit einem Doppelklick gestartet werden und führt dabei folgenden Befehl aus:¹

¹Zusätzlich wird die im Folgenden nicht weiter berücksichtigte Option **-XX:+AlwaysPreTouch** eingesetzt, mit der bei aufwändigen Rechnungen eine etwas kürzere Rechenzeit beobachtet wurde.

```
jre\bin\javaw -jar jar\Besmax.jar
```

Besmax verwendet für die Berechnung das Überhöhungsmodell PLURIS nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 3 (2022). Es ist direkt in das Programm eingebunden (IBJpluris).

Hinweis: Beim Starten des Programms wird die Fahnenbibliothek auf Integrität geprüft. Das kann den Start etwas verzögern.

Die aktuellen Programm-Versionen sind Besmax 1.2.0 und IBJpluris 3.2.0. Der Bibliotheksordner `plumes` enthält 1508 Textdateien in 29 Ordnern und befindet sich im Unterordner `jar`. Das ausgelieferte Programm `Besmax.jar` hat die CRC32-Prüfsumme 45D3CEBB.

1.3 Speicherbedarf und Nebenläufigkeit

Besmax ist speicherintensiv. Es wird empfohlen, das Programm ausschließlich auf einem 64-Bit-System mit mindestens 8 Gigabyte (GiB) RAM zu betreiben.

Mit dem oben aufgeführten Standardaufruf kann das Programm maximal 4 GiB RAM nutzen. Dieser Speicher muss nicht nur physikalisch vorhanden sein, sondern auch praktisch als freier Speicher zur Verfügung stehen (parallel zu Besmax laufende Programme können bereits mehrere GiB des RAM in Anspruch nehmen).

Zusätzlich werden im Unterordner `add` die Programme `Besmax S` ($S=8, 24, 56$) bereitgestellt, die maximal S GiB RAM anfordern und typischerweise für Systeme mit 16, 32 oder 64 GiB physikalischem RAM geeignet sind. Zur Verwendung müssen diese Programme in die nächst höhere Ordner Ebene kopiert werden.

Der maximal zur Verfügung gestellte Speicher kann im Batch-Modus auch explizit vorgegeben werden mit dem Aufruf

```
Besmax . $S$ 
```

bzw.

```
jre\bin\java -Xmx= $S$ g -jar jar\Besmax.jar
```

Hierbei ist S die Speichergröße in GiB.

Hinweis: Wenn der formal zugewiesene maximale Speicher von JAVA nicht abgerufen werden kann (wenn z. B. 8 GiB zugewiesen wurden, aber nur 6 GiB tatsächlich frei verfügbar sind), bricht das Programm unter Umständen ohne nähere Fehlermeldung ab.

Besmax unterstützt Nebenläufigkeit bei der Berechnung der Konzentrationsverteilung. Jede *Thread* benötigt dabei einen gewissen Speicher. Daher hängt der Speicherbedarf von Besmax auch von der Anzahl der eingesetzten Threads ab. Die standardmäßig eingesetzte

Anzahl ist die auf dem Rechnersystem insgesamt zur Verfügung stehende Anzahl minus 1. Die Anzahl der Threads kann vom Benutzer explizit vorgegeben werden. Hierzu muss Besmax im Batch-Modus in einer Konsole (DOS-Fenster/Eingabeaufforderung unter Windows, Konsole unter Linux) oder über eine Batch-Prozedur gestartet werden:

```
Besmax --num-threads= $N$ 
```

bzw.

```
jre\bin\java -jar jar\Besmax.jar --num-threads= $N$ 
```

Hierbei ist N die Anzahl der Threads. Das Programm prüft intern, ob der zur Verfügung stehende Speicher im konkreten Anwendungsfall für die gewünschte Anzahl von Threads ausreicht und setzt gegebenenfalls die Anzahl mit einem entsprechenden Hinweis automatisch herunter.

Hinweis: Kombinationen von sehr hohen und sehr niedrigen effektiven Quellhöhen können zu einem großen Speicherbedarf führen, da die Fahnen in diesem Fall in einem sehr großen Raumbereich (wegen der hohen Quellen) mit gleichzeitig sehr feiner Auflösung (wegen der niedrigen Quellen) abgebildet werden müssen.

Die beiden Optionen können kombiniert werden.

1.4 Aufrufoptionen

Neben den beiden oben aufgeführten Aufrufoptionen gibt es weitere. Bei Vorgabe von Aufrufoptionen arbeitet das Programm standardmäßig im Batch-Modus ohne Benutzeroberfläche. Die Aktivierung der Benutzeroberfläche wird durch die Option `--interactive` erzwungen. Die zur bearbeitenden Quellen können mit einer Aufrufoption festgelegt werden. Diese Option (`--source`) wird weiter unten erläutert. Schließlich kann mit der Option `--help` (oder `-h` bzw. `-?`) ein kurzer Hilfetext ausgegeben werden.

Der Programmaufruf mit allen möglichen Aufrufoptionen lautet:

```
Besmax . $S$  --num-threads= $N$  --interactive --help --source=...
```

oder

```
jre\bin\java -Xmx $N$ g -jar jar\Besmax.jar --num-threads= $S$  --interactive  
--help --source=...
```


2 Arbeitsweise

Das Programm Besmax berechnet für eine oder mehrere benachbarte Punktquellen die maximale stündliche bodennahe Konzentration (Mittelwert über die untersten drei Meter) eines emittierten Stoffes. Dabei wird auf die Ergebnisse von Ausbreitungsrechnungen zurückgegriffen, die für jede der in Betracht zu ziehenden Wettersituationen² und ein Spektrum von Emissionshöhen für eine passive Punktquelle in ebenem Gelände, ohne Gebäudeeinfluss und ohne Deposition durchgeführt worden sind.

Die Berechnung erfolgt in drei Schritten:

1. Es wird für jede Quelle und jede Wettersituation die effektive Quellschöhe h_{eff} mit dem Programm PLURIS berechnet.
2. Es wird für jede Quelle und jede Wettersituation die bodennahe Konzentrationsverteilung bestimmt, indem aus den vorberechneten Feldern auf die vorliegende effektive Quellschöhe interpoliert wird.
3. Für jede Wettersituation und jede Windrichtung (in Schritten von 5 Grad variiert) werden die Konzentrationsfelder der einzelnen Quellen überlagert und aufsummiert und der maximal auftretende Konzentrationswert bestimmt.

2.1 Arbeitsablauf

Der Arbeitsablauf ist folgendermaßen:

1. Für die erste Quelle sind in den vorgesehenen Eingabefeldern die erforderlichen Daten einzusetzen (vorgegebene Beispielwerte ersetzen): Bezeichnung für die Quelle, Emissionsmassenstrom, Position, Schornsteinhöhe,³ Schornstein-Innendurchmesser, Austrittstemperatur, Austrittsgeschwindigkeit, Wasserbeladung.⁴ Alternativ zu Austrittsgeschwindigkeit und Wasserbeladung können Normvolumenstrom (feucht) und Normvolumenstrom (trocken) vorgegeben werden, beide für den Betriebszustand.

Das Programm lässt folgende Wertebereiche zu:

²Klassen I bis III/2 und Windgeschwindigkeiten entsprechend einer AKS von 1 bis 12 m/s, insgesamt 25 Situationen.

³Schornsteinhöhe in der Bedeutung gemäß Anhang 2 Nummer 14 TA Luft. Sie entspricht der Schornsteinhöhe nach Nummer 5.5.2.2 TA Luft ohne Korrektur nach Nummer 5.5.2.3 TA Luft. Sie ist nicht gleichbedeutend mit der erforderlichen Bauhöhe im Sinne von Nummer 5.5.2.1 Absatz 8 TA Luft.

⁴Die Werte werden wie vom Benutzer angegeben verwendet und gegebenenfalls erneut dargestellt. Lediglich bei automatischen Berechnungen von **nf** und **nt** aus **vq** und **zq** und umgekehrt werden feste Nachkommastellen für die Darstellung verwendet (2 für **vq**, 4 für **zq** und 0 für **nf** und **nt**).

Symbol	Kurzname	Parameter	Maßeinheit	Wertebereich
q	eq	Emissionsmassenstrom	kg/h	≥ 0
h	hq	Schornsteinhöhe	m	[6,250]
d	dq	Innendurchmesser	m	[0,200]
T	tq	Austrittstemperatur	°C	[10,600]
v	vq	Austrittsgeschwindigkeit	m/s	[0,50]
x	zq	Wasserbeladung	kg/(kg tr)	[0,999]
n_f	nf	Normvolumenstrom (feucht, Betrieb)	m ³ /h	≥ 0
n_t	nt	Normvolumenstrom (trocken, Betrieb)	m ³ /h	$\leq n_f$
l	lq	Flüssigwassergehalt (nur informativ)	kg/kg	[0,0.04]

Quellen mit einem Emissionsmassenstrom gleich null werden in der Berechnung ignoriert.

Die Parameter dq, tq, vq und zq (bzw. nf und nt) werden nur zur Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung benötigt. Ist der Innendurchmesser dq oder die Austrittsgeschwindigkeit vq gleich null, dann wird ohne Überhöhung gerechnet, Schornsteinhöhe und effektive Quellhöhe sind in diesem Fall identisch.

2. Für die Eingabe weiterer Quellen ist jeweils der Knopf mit dem Plus-Zeichen zu drücken, worauf das Programm eine weitere Datenspalte für eine neue Quelle einrichtet, deren Eingabefelder wie zuvor auszufüllen sind. Eine Quelle (Datenspalte) kann wieder gelöscht werden, indem man zuerst den Namen löscht und anschließend *RETURN* drückt (der Cursor muss sich noch im Namensfeld befinden).
3. Die Rechnung wird durch Drücken der Taste *Maximale Konzentration berechnen* gestartet. Die Taste verschwindet und stattdessen zeigt ein farbiger Balken an, wie weit die Rechnung fortgeschritten ist.

Hinweis: Rechnungen für Kombinationen von sehr unterschiedlichen effektiven Quellhöhen können sehr lange dauern, da in diesem Fall Fahnen für ein sehr großes Gebiet mit sehr feiner Auflösung überlagert werden müssen.

4. Ist die Rechnung beendet, wird das Ergebnis in den darunter stehenden Feldern angezeigt: Maximaler Konzentrationswert und seine geschätzte Unsicherheit, Ort seines Auftretens und die Wettersituation (einschließlich Windrichtung),⁵ bei der er auftritt.⁶

Aus dem Normvolumenstrom (feucht) wird die Austrittsgeschwindigkeit und aus der

⁵Für Situationen, in denen die Windrichtung keine Rolle spielt (nur eine Quelle oder nur eine für die Maximalkonzentration relevante Quelle), wird das Ergebnis für die Windrichtung 270 Grad ausgewiesen. Falls mehrere Windrichtungen dasselbe absolute Maximum liefern, wird das Ergebnis für die kleinste dieser Windrichtungen ausgewiesen.

⁶In manchen Fällen wird eine geringfügig andere Wettersituation als von Besmin ausgewiesen. Ursache sind unterschiedliche Interpolationsverfahren, was sich bei fast gleichen Maximalkonzentrationen für unterschiedliche Wettersituationen bemerkbar machen kann, aber für die weitere Beurteilung nicht relevant ist.

Differenz der beiden Ströme die Wasserbeladung bestimmt unter der Voraussetzung, dass kein Flüssigwasser vorliegt, siehe Abschnitt 3.1. Die Werte, die nicht vom Benutzer vorgegeben werden, sowie der resultierende Flüssigwassergehalt werden während der Eingabe unmittelbar berechnet und in den entsprechenden Feldern aktualisiert. Bei Vorgabe der Volumenströme werden nicht die angezeigten gerundeten Werte von Austrittsgeschwindigkeit und Wasserbeladung, sondern die intern exakt berechneten Werte in der Schornsteinhöhenrechnung verwendet. Weitere Details zur Behandlung feuchter Fahnen sind in einem separaten Dokument im Unterordner `add` aufgeführt.

Bei der Eingabe von Zahlenwerten führt das Programm eine Prüfung durch: Ist die Angabe nicht als Zahlenwert interpretierbar, wird der Hintergrund des Eingabefeldes gelb gefärbt. Ist der Zahlenwert nicht zulässig, wird der Hintergrund rot gefärbt. Eine Rechnung kann nur durchgeführt werden, wenn keine Fehler erkannt wurden.

Die Ergebnisse können durch Drücken der Taste *Emissionsquellen und berechnete Konzentration abspeichern* gespeichert werden. Die Speicherung erfolgt im Ordner `log`, der sich auf derselben Ebene wie der Ordner `jar` befindet und bei Bedarf neu angelegt wird. Der Dateiname ist `besmax(n).log`, wobei n eine Zahl zur Unterscheidung verschiedener Ergebnisdateien ist und immer um 1 weitergezählt wird.

Zur Information kann die gefundene Konzentrationsverteilung grafisch dargestellt werden (Taste *Grafik*). Die Darstellung erfolgt im Wind-System, d.h. die x -Achse verläuft windabwärts. Den Nullpunkt des Koordinatensystems bildet der Emissionsschwerpunkt.

Die in der Grafik aufgeführten Zahlen sind die im Auswertegitter auftretenden Konzentrationswerte in Prozent des vorgebbaren Referenzwertes **Cref**. Mit **Tick** kann der Abstand der Achsenbeschriftung gewählt werden. Die Quellen sind mit ihrem Namen an der vorgegebenen Position eingezeichnet. Voreinstellungen sind:

Kl, Ua: Wettersituation, bei der das Maximum auftritt.
 Ra: Windrichtung, bei der das Maximum auftritt.
 Tick: Das 10-fache der Maschenweite des Auswertegitters.
 Cref: Der maximal auftretende Konzentrationswert.

Mit Drücken der Maustaste auf der Grafik bei gleichzeitig gedrückter Steuerungstaste (**STRG**) kann die Grafik als SVG-Datei gespeichert werden.

2.2 Batch-Modus

Im Batch-Modus werden die Parameter einer Quelle als Argument beim Programmaufruf übergeben. Hierzu sind entweder 9 Parameter vorzugeben (Rückwärtskompatibilität zu Version 1.0)

```
Besmax --source= $n, x_q, y_q, h, d, v, T, x, q$ 
```

bzw.

```
jre\bin\java -jar jar\Besmax.jar --source=n,xq,yq,h,d,v,T,x,q
```

oder es sind 11 Parameter vorzugeben (Anzahl und Reihenfolge entsprechend der Benutzeroberfläche)

```
Besmax --source=n,q,xq,yq,h,d,T,v,x,nf,nt
```

bzw.

```
jre\bin\java -jar jar\Besmax.jar --source=n,q,xq,yq,h,d,T,v,x,nf,nt
```

wobei die Werte durch ein Komma zu trennen sind und für Gleitkommazahlen ein Dezimalpunkt zu verwenden ist.

Es bedeuten:

n Name der Quelle
 q Emissionsmassenstrom (kg/h)
 x_q x -Koordinate (m)
 y_q y -Koordinate (m)
 h Schornsteinhöhe (m)
 d Durchmesser (m)
 T Austrittstemperatur (°C)
 v Austrittsgeschwindigkeit (m/s)
 x Wasserbeladung (kg/(kg tr))
 n_f Normvolumenstrom (feucht) (m³/h)
 n_t Normvolumenstrom (trocken) (m³/h)

Hinweis: Bei Vorgabe von 11 Parametern müssen bei Vorgabe von v und x die Werte von n_f und n_t auf einen negativen Wert (z. B. -1) gesetzt werden und umgekehrt. Bei Vorgabe von n_f und n_t prüft das Programm, ob der resultierende Flüssigwassergehalt gleich null ist, und bricht andernfalls mit einer Fehlermeldung ab.

Wird zusätzlich die Option **--interactive** angegeben, dann werden diese Quellparameter in die Tabelle der Benutzeroberfläche von Besmax eingetragen und die Berechnung kann interaktiv durchgeführt werden.

In der Batch-Rechnung werden auf dem Bildschirm Kontrollausgaben und die Parameter des Maximums aufgelistet:

... Nullpunkt des Koordinatensystems
 ... Auflistung der Quellen
 cm Konzentrationswert
 dm statistische Unsicherheit
 xp x -Koordinate
 yp y -Koordinate
 kl Stabilitätsklasse

ua Windgeschwindigkeit
ra Windrichtung

Mit der zusätzlichen Option `-i` wird nur die Berechnung der Abgasparameter durchgeführt (n_f und n_t aus v und x bzw. v und x aus n_f und n_t) und die Werte in der Protokolldatei ausgeschrieben.

Quellfestlegungen und Programmaufruf können in einer Batch-Datei zusammengefasst oder archiviert werden. Damit ist es zum Beispiel ohne zusätzlichen Aufwand möglich, die Rechnung zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal oder in abgeänderter Form durchzuführen.

Beispiel für eine Batch-Datei:

```
jre\bin\java -Xmx12g -jar jar\Besmax.jar ^
--interactive ^
--source=" A, 100.0, 0.0, 0.0, 100.0, 0.0, 10.0, 0.0, 0.0, -1, -1" ^
--source=" B, 200.0, 50.0, 50.0, 40.0, 2.0, 40.0, 12.0, 0.03, -1, -1"
```

3 Technische Details

3.1 Berechnung von Quellparametern

Die Normvolumenströme (Normzustand bei 273.15 K und 101300 Pa gemäß Nummer 2.4 TA Luft) werden aus gegebenen Werten des Durchmessers d , der Austrittstemperatur T (in Grad Celsius), der Austrittsgeschwindigkeit v und der Wasserbeladung x zu

$$n_f = \frac{\pi}{4} d^2 v \frac{T_0}{T_0 + T} \quad (1)$$

$$n_t = \frac{n_f}{1 + x(R_v/R_d)} \quad (2)$$

berechnet mit $T_0 = 273.15$ K sowie den Gaskonstanten $R_d = 287.05$ J/(kg K) und $R_v = 461.52$ J/(kg K).

Die Berechnung von Austrittsgeschwindigkeit und Wasserbeladung aus vorgegebenen Normvolumenströmen erfolgt entsprechend als

$$v = \frac{4 n_f (T_0 + T)}{\pi T_0 d^2} \quad (3)$$

$$x = \frac{n_f - n_t}{n_t (R_v/R_d)} \quad (4)$$

mit $v = 0$ und $x = 0$ für $d = 0$.

Diese Umrechnungen sind nur korrekt, wenn kein Flüssigwasser vorliegt. Soweit Besmax einen berechneten Zahlenwert für x ausweist, ist die Berechnung nach Gleichung (4) erfolgt, unabhängig davon, ob das Ergebnis einen Flüssigwassergehalt impliziert oder nicht.

Programmintern sind v und x die für die Überhöhungsrechnung maßgeblichen Rechengrößen. Sie werden in der Benutzeroberfläche mit drei bzw. vier Nachkommastellen dargestellt und aus diesen Einträgen werden bei Bedarf die Normvolumenströme neu berechnet und in m^3/h ohne Nachkommastellen dargestellt.

Wenn in der Benutzeroberfläche zum Beispiel n_f vorgegeben wird, wird hieraus v berechnet und mit drei Nachkommastellen dargestellt. Selektiert man nun die Vorgabe von v und danach wieder die von n_f , so wird im letzten Schritt v ausgelesen und daraus n_f neu berechnet und dargestellt. Dieser Wert kann sich aufgrund der Rundung von v auf drei Dezimalstellen geringfügig von dem ursprünglich vorgegebenen Wert unterscheiden.

3.2 Fahnenüberlagerung

Besmax greift auf Daten zurück, die durch Ausbreitungsrechnungen für passive, punktförmige Quellen der Quellstärke 1 g/s und der Höhe h_l durchgeführt worden sind,

$$h_0 = 10 \text{ m} \quad (5)$$

$$h_l = h_0 \cdot 2^{l/4}, \quad l = 0..26, \quad (6)$$

zuzüglich der Höhen 6 m und 8 m. Damit wird der Höhenbereich 6 m bis 905 m abgedeckt. Die höchste von PLURIS ausgewiesene effektive Quellschichthöhe beträgt 800 m. Von den berechneten Konzentrationsfeldern werden nur die Werte in der untersten Schicht ($0 \leq z \leq 3 \text{ m}$) verwendet: Konzentration $c_{i,j;l,m}$ für die Gitterzelle (i,j) , die Quellschichthöhe h_l und die Wettersituation m und die zugehörige statistische Unsicherheit $d_{i,j;l,m}$. Die Rechengitter G_l haben folgende Ausdehnung:

$$\text{Anzahl der Maschen in } x\text{-Richtung } n_x = 220 \quad (7)$$

$$\text{Anzahl der Maschen in } y\text{-Richtung } n_y = 200 \quad (8)$$

$$\text{Maschenweite } \Delta_l = h_l/2 \quad (9)$$

$$\text{Linker Rand } x_{\min,l} = -20\Delta_l \quad (10)$$

$$\text{Unterer Rand } y_{\min,l} = -100\Delta_l \quad (11)$$

Die Indexbereiche sind $i = 1..n_x$ und $j = 1..n_y$. Bei einem verschobenen Gitter $G_l^*(\delta_x, \delta_y)$ liegt die Quelle nicht im Nullpunkt sondern bei (δ_x, δ_y) . Im verschobenen Gitter erhält

man die Konzentration c^* am Punkt (x,y) durch⁷

$$c_{l,m}^*(x,y) = c_{i^*,j^*,l,m} \quad (12)$$

$$i^* = 1 + \lfloor (x - \delta_x - x_{\min}) / \Delta_l \rfloor \quad (13)$$

$$j^* = 1 + \lfloor (y - \delta_y - y_{\min}) / \Delta_l \rfloor \quad (14)$$

Die Ausbreitungsrechnung hat die Windrichtung $r_a = 270$ Grad verwendet, die Fahne verläuft also im Wesentlichen in x-Richtung.

Vom Anwender sind n_q Emissionsquellen mit den Parametern P_n vorgegeben, zu denen u.a. folgende Werte gehören ($n = 1..n_q$):

$e_{q,n}$ Quellstärke
 $x_{q,n}$ x-Koordinate
 $y_{q,n}$ y-Koordinate
 $h_{q,n}$ Schornsteinhöhe

Der Emissionsschwerpunkt (\bar{x}, \bar{y}) ist

$$\bar{x} = \sum_n e_{q,n} x_{q,n} / \sum_n e_{q,n} \quad (15)$$

$$\bar{y} = \sum_n e_{q,n} y_{q,n} / \sum_n e_{q,n} \quad (16)$$

Die auf den Emissionsschwerpunkt bezogenen Koordinaten der Emissionsquellen sind

$$\tilde{x}_{q,n} = x_{q,n} - \bar{x} \quad (17)$$

$$\tilde{y}_{q,n} = y_{q,n} - \bar{y} \quad (18)$$

Eine grafische Darstellung erfolgt hier immer so, dass der Emissionsschwerpunkt den Koordinaten-Nullpunkt bildet.

Für jede Wettersituation m werden die folgenden Schritte durchgeführt:

1. Für jede Quelle n werden folgende Schritte durchgeführt:
 - a) Mit PLURIS wird die effektive Quellhöhe $h_{e,n}$ berechnet.
 - b) Es wird die Rechenhöhe h_{l_n} herausgesucht, die unmittelbar unter der effektiven Quellhöhe liegt, also
$$h_{l_n} \leq h_{e,n} < h_{l_n+1} \quad (19)$$
 - c) Aus den Konzentrationswerten der Gitter G_{l_n} und G_{l_n+1} werden später die Konzentrationswerte der Quelle n durch lineare Interpolation bestimmt.

⁷ $\lfloor x \rfloor$ bezeichnet die größte ganze Zahl, die nicht größer ist als x .

Hierzu werden die beiden Interpolationsgewichte $w_{0,n}$ und $w_{1,n}$ festgelegt:

$$w_{0,n} = \frac{h_{l_n+1} - h_{e,n}}{h_{l_n+1} - h_{l_n}} \quad (20)$$

$$w_{1,n} = 1 - w_{0,n} \quad (21)$$

- d) Die beiden Gitter werden an den Ort der Quelle verschoben, es werden also die Gitter $G_{l_n}^*(\tilde{x}_{q,n}, \tilde{y}_{q,n})$ und $G_{l_n+1}^*(\tilde{x}_{q,n}, \tilde{y}_{q,n})$ verwendet.
2. Es wird ein Auswertegitter G_{res} festgelegt, dessen Maschenweite Δ_{res} gleich der kleinsten vorkommenden Maschenweite ist,

$$\Delta_{\text{res}} = \min_n \{\Delta_{l_n}\} \quad (22)$$

und das alle Gitter $G_{l_n+1}^*$ umfasst.

3. Die Konzentration $c_{\text{res},i,j}$ im Auswertegitter wird aus der Summe der Beiträge der einzelnen Quellgitter berechnet:

$$c_{\text{res},i,j;m} = \sum_n \left[w_{0,n} c_{l_n,m}^*(x_i, y_j) + w_{1,n} c_{l_n+1,m}^*(x_i, y_j) \right] \quad (23)$$

$$(x_i, y_j) = \text{Mittelpunkt der Zelle } (i,j) \text{ des Auswertegitters } G_{\text{res}} \quad (24)$$

Die statistische Unsicherheit $d_{\text{res},i,j;m}$ wird entsprechend durch Addition der Varianzen berechnet.

4. Die maximale bodennahe Konzentration für die Wettersituation m und die Standardwindrichtung $r = 0$ ist

$$c_{\text{max},m,0} = \max_{i,j} \{c_{\text{res},i,j;m}\} \quad (25)$$

5. Die Schritte 1 bis 4 werden für alle anderen Windrichtungen soweit erforderlich wiederholt, wobei die Windrichtung in Schritten von 5 Grad verändert wird. Dies wird technisch dadurch erreicht, dass die Gruppe der Quellen um den Emissionsschwerpunkt im Gegensinn gedreht wird. Damit bleibt die Ausrichtung der Gitter an den Koordinatenachsen des Auswertegitters erhalten. Die maximale Konzentration für die Wettersituation m ist

$$c_{\text{max},m} = \sum_r c_{\text{max},m,r} \quad (26)$$

Der von Besmax als maximale Konzentration ausgewiesene Wert c_{max} ist das Maximum über alle Wettersituationen:

$$c_{\text{max}} = \max_m \{c_{\text{max},m}\} \quad (27)$$