

Schornsteinhöhe nach TA Luft

BESMIN

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
2 Arbeitsweise	2
2.1 Arbeitsablauf	2
2.2 Batch-Modus	4
3 Technische Details	6
3.1 Berechnung von Quellparametern	6
3.2 Weitere Informationen	6

Update-Informationen

1.2.0

- Bei Vorgabe der Volumenströme werden genau diese intern in der Rechnung verwendet und in die Protokolldatei ausgeschreiben. 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.
- In der Ergebnistabelle der Protokolldatei stehen für eine bessere Klarheit in der zweiten Zeile die Einheiten der ausgegebenen Zahlenwerte.
- 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)**).
- Im Batch-Modus wird standardmäßig **nf** gleich **nt** und umgekehrt gesetzt. Sind beide Werte gleich, genügt daher die Vorgabe nur einer der beiden Parameter.
- Es wurde die zusätzliche Option im Batch-Modus **-i** (Information) implementiert, mit der nur die Berechnung und Ausgabe der Abgasparameter erfolgt.
- Das Problem 2024-04-02 (keine Vorgabe der Volumenströme im Batch-Modus) wurde behoben.

1.1.0 (ersetzt Version 1.0.1, keine Änderung der Ergebnisse)

- Vorgabe von Normvolumenstrom feucht und trocken als Alternative zu Austrittsgeschwindigkeit und Wasserbeladung.
- Beschränkung des zulässigen Werts für den Flüssigwassergehalt.
- Anpassungen in der Protokollausgabe.
- Zusätzliche Kontrollen.
- 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 Besmin.jar integriert.
- JRE erstellt aus OpenJDK 21 Temurin und OpenJFX 21 Gluon.

1 Das Programm

1.1 Hintergrund

Die TA Luft (2021) schreibt in Nummer 5.5.2.2 ein Verfahren zur Berechnung der Schornsteinhöhe vor. Mit dem Programm Besmin (Bestimmung der minimalen Schornsteinhöhe) kann diese Berechnung für einen einzelnen Schornstein durchgeführt werden.

Die Ausführungen in Nummer 5.5 TA Luft für sich alleine ermöglichen bereits eine programmtechnische Umsetzung des vorgeschriebenen Rechenverfahrens. Mit Besmin 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 Nummer 5.5 TA Luft umzusetzen.

Das Copyright für das Programm Besmin liegt beim Umweltbundesamt, 06813 Dessau-Roßlau, und beim 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 Schornsteinhöhe basiert auf einer Bibliothek von Einzelfahnen, die gemäß Anhang 2 Nummer 14 TA Luft berechnet worden sind. Aus Effizienzgründen greift Besmin nicht direkt auf die Einzelfahnen, sondern auf eine Auswertung zurück, in der für jede Fahne die skalierte Maximalkonzentration vermerkt ist. Der Ordner mit den Tabellen der Maximalkonzentrationen hat den Namen **maxima**. Er wird zur Ausführung der Berechnung benötigt. Das Programm prüft, ob der Inhalt dem Original entspricht, es dürfen daher keine Änderung in den Dateien vorgenommen werden.

Das Programm Besmin ist ein JAVA-Programm und benötigt ein *Java Runtime Environment* (JRE) einschließlich JavaFX. Ausgetestet wurde das Programm unter JAVA 21. Zu Besmin wird für Windows 64-Bit und für Linux 64-Bit ein lokales, auf Besmin 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 **Besmin.jar** und befindet sich im Unterordner **jar**. Das JAVA-Programm erwartet in dem Ordner, in dem es sich befindet, auch den Ordner **maxima**.

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

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

Besmin verwendet für die Berechnung das Überhöhungsmodell PLURIS nach Richtlinie

VDI 3782 Blatt 3 (2022). Es ist direkt in das Programm eingebunden (IBJpluris).

Die aktuellen Programm-Versionen sind Besmin 1.2.0 und IBJpluris 3.2.0. Das ausgelieferte Programm `Besmin.jar` hat die CRC32-Prüfsumme F7DC9401.

2 Arbeitsweise

Das Programm Besmin bestimmt die Bauhöhe¹ eines einzelnen Schornsteins so, dass für jede Wettersituation der Maximalwert der bodennahen Konzentration die durch den S-Wert vorgegebene Konzentration (Zahlenwert in mg/m³) gerade nicht überschreitet. Dabei wird auf die Ergebnisse von Ausbreitungsrechnungen zurückgegriffen, die für jede der in Betracht zu ziehenden Wettersituationen² und ein Spektrum von effektiven Quellhöhen für eine passive Punktquelle in ebenem Gelände und ohne Gebäudeeinfluss durchgeführt worden sind.

Die Berechnung erfolgt in zwei Schritten:

1. Es wird für jede Wettersituation die effektive Quellhöhe berechnet, die erreicht werden muss, damit bei dem vorgegebenen Emissionsmassenstrom die bodennahe Konzentration den S-Wert nicht überschreitet.
2. Es wird für jede Wettersituation die Bauhöhe bestimmt, bei welcher sich zusammen mit der Abgasfahnenüberhöhung die erforderliche effektive Quellhöhe ergibt.

Der höchste Wert der für alle Wettersituationen bestimmten Bauhöhen ist die nach Nummer 5.5.2.2 TA Luft bestimmte Schornsteinhöhe für einen einzelnen Schornstein. Bei mehreren Schornsteinen einer Anlage ist die Einhaltung des S-Wertes gemäß Nummer 5.5.2.2 dagegen durch Überlagerung der Konzentrationsfahnen der Schornsteine zu prüfen. Dafür kann das Programm Besmax verwendet werden.

2.1 Arbeitsablauf

Der Arbeitsablauf ist folgendermaßen:

1. Aus der Auswahlliste ist der gewünschte Stoff (der zugehörige S-Wert wird automatisch eingesetzt) auszuwählen. Alternativ kann der Stoff *Unbekannt* gewählt und im Eingabefeld ein S-Wert explizit angegeben werden.
2. Der Emissionsmassenstrom, der Schornstein-Innendurchmesser, die Austrittstemperatur, die Austrittsgeschwindigkeit und die Wasserbeladung sind in die entspre-

¹Der Begriff Bauhöhe hat in dieser Programmbeschreibung die gleiche Bedeutung wie in Anhang 2 Nummer 14 TA Luft. Sie ist ein Zwischenergebnis bei der Bestimmung der Schornsteinhöhe nach Nummer 5.5.2 und daher nicht gleichbedeutend mit der erforderlichen Bauhöhe im Sinne von Nummer 5.5.2.1 Absatz 8 TA Luft.

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

chenden Felder einzutragen.³ Alternativ zu Austrittsgeschwindigkeit und Wasserbeladung können Normvolumenstrom (feucht) und Normvolumenstrom (trocken) vorgegeben werden, beide für den Betriebszustand.

Das Programm lässt folgende Wertebereiche zu:

Symbol	Kurzname	Parameter	Maßeinheit	Wertebereich
S	sv	S-Wert	mg/m ³	> 0
q	eq	Emissionsmassenstrom	kg/h	> 0
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	≤ n_f
l	lq	Flüssigwassergehalt (nur informativ)	kg/kg	[0,0.04]

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, Bauhöhe und effektive Quellhöhe sind in diesem Fall identisch.

- Die Rechnung wird durch Drücken der Taste *Schornsteinhöhe berechnen* gestartet. Die Taste verschwindet und stattdessen zeigt ein farbiger Balken an, wie weit die Rechnung fortgeschritten ist.

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

Beim Abarbeiten der einzelnen Wettersituationen werden im Reiter *Zwischenergebnisse* die jeweils berechnete effektive Quellhöhe und die resultierende Bauhöhe aufgelistet. Sind alle Wettersituationen abgearbeitet, dann wird die Zeile mit der höchsten Bauhöhe

³Die 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**).

durch einen Stern gekennzeichnet und der Wert wird übernommen.

Das Ergebnis wird zusammen mit den Eingabeparametern in die Ergebnisliste im Reiter *Durchgeführte Berechnungen* übernommen. Sind mehrere Rechnungen durchgeführt, dann kann man durch Anklicken einer Zeile in der Ergebnisliste die zugehörigen Eingabedaten wieder in die Eingabefelder einsetzen, wobei auch die zugehörigen Zwischenergebnisse restauriert werden.

Ist die berechnete Bauhöhe größer als der in der TA Luft vermerkte Maximalwert 250 m, wird zur Kennzeichnung dieses Umstands der Wert 999.9 m ausgewiesen.

Die Ergebnisse können durch Drücken der Taste *Rechenergebnisse speichern* als Textdatei (UTF-8) 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 Name der Datei lautet `besmin(n).log`, wobei n eine Zahl zur Unterscheidung verschiedener Ergebnisdateien ist und immer um 1 weitergezählt wird.

2.2 Batch-Modus

Das Programm Besmin kann auch ohne grafische Benutzer-Oberfläche verwendet werden. Mit der Aufrufoption `--help` (alternativ `-h` oder `-?`) wird ein kurzer Hilfetext ausgegeben.

Im Batch-Modus sind die Quellparameter und der S-Wert als Aufrufparameter zu übergeben. Jeder Aufrufparameter hat die Form `--Kurzname=Wert`. Die zu verwendenden Kurznamen sind in der Tabelle oben aufgeführt (außer `1q`). Es müssen mindestens die Parameter `sv` und `eq` vorgegeben werden, die Reihenfolge der Parameter ist beliebig.

Hinweis: Es darf entweder v und x oder n_f und n_t vorgegeben werden. Bei Vorgabe von n_f und n_t prüft das Programm, ob der resultierende Flüssigwassergehalt null ist, und bricht andernfalls mit einer Fehlermeldung ab.

Nach dem Aufruf

```
Besmin --sv=Wert --eq=Wert ...
```

bzw.

```
jre\bin\java -jar jar\Besmin.jar --sv=Wert --eq=Wert ...
```

zeigt das Programm eine Fortschrittsanzeige, bei der für jeden Aufruf von IBJpluris ein Punkt ausgegeben wird. Zum Schluss werden die Quellparameter sowie die Zwischenergebnisse aufgelistet und die berechnete Schornsteinbauhöhe ausgegeben. Die Zwischenergebnisse enthalten für jede Stabilitätsklasse `k1` und jede Windgeschwindigkeit `ua` die erforderliche effektive Quellhöhe `he`, die statistische Unsicherheit der zu ihrer Berechnung verwendeten Konzentrationswerte (in Klammern) und die erforderliche

Bauhöhe `hb`.

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. In diesem Fall ist eine Angabe der Werte `sv` und `eq` nicht erforderlich.

Beispiele:

```
jre\bin\java -jar jar\Besmin.jar --sv=1 --eq=100 --dq=1 --tq=40 --vq=10
```

```
jre\bin\java -jar jar\Besmin.jar --dq=1 --tq=40 --nt=30000 -i
```

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

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

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

mit $v = 0$ und $x = 0$ für $d = 0$.

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

3.2 Weitere Informationen

Weitere technische Details können dem *Bericht zur Umweltphysik Nr. 9* (Auflage 1) entnommen werden.⁴ Im Gegensatz zu den Ausführungen dort erlaubt die aktuelle Version von Besmin Bauhöhen bis hinunter zu 6 m entsprechend der Festlegung der TA Luft.

Für Testzwecke kann im Batch-Betrieb mit der Zusatzoption `--log-pluris` die Protokolldatei von IBJpluris für die erste durchgeführte Überhöhungsrechnung ausgegeben

⁴Der Bericht wird in der Deutschen Nationalbibliothek (www.dnb.de) als PDF-Datei bereitgestellt (urn:nbn:de:101:1-201709132627), ebenso auf den Seiten des Ing.-Büros Janicke (www.janicke.de).

werden.
