

Schornsteinhöhe nach TA Luft

# BESMIN

Programmbeschreibung zu Version 1.1.0

Stand 2024-03-07

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](mailto:info@austal.de) gerichtet werden.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Update-Informationen</b>	<b>ii</b>
<b>1 Das Programm</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund . . . . .	1
1.2 Dateien . . . . .	1
<b>2 Arbeitsweise</b>	<b>2</b>
2.1 Arbeitsablauf . . . . .	2
2.2 Batch-Modus . . . . .	4
<b>3 Technische Details</b>	<b>4</b>
3.1 Berechnung von Quellparametern . . . . .	4
3.2 Weitere Informationen . . . . .	5

## Update-Informationen

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

- Vorgabe von Normvolumenstrom feucht und trocken als Alternative zu Ausströmgeschwindigkeit 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 durchgeführt werden.

Die Ausführungen der Nummer 5.5 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 Nr. 5.5 der 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 TA Luft (2021), Anhang 2, Nummer 14 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 Programm 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 1.1.0 und IBJpluris 3.2.0. Das ausgelieferte Programm `Besmin.jar` hat die CRC32-Prüfsumme 38C904C3.

## 2 Arbeitsweise

Das Programm Besmin bestimmt die Bauhöhe eines einzelnen Schornsteins so, dass für jede Wettersituation der Maximalwert der bodennahen Konzentration die durch den S-Wert vorgegebene Konzentration (Zahlenwert in  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) gerade nicht überschreitet. Dabei wird auf die Ergebnisse von Ausbreitungsrechnungen zurückgegriffen, die für jede der in Betracht zu ziehenden Wettersituationen<sup>1</sup> 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 gesuchte Schornsteinhöhe.

### 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 Ausströmgeschwindigkeit und die Wasserbeladung sind in die entsprechenden Felder einzutragen.

Alternativ zu Ausströmgeschwindigkeit und Wasserbeladung können Normvolumenstrom (feucht) und Normvolumenstrom (trocken) vorgegeben werden. Aus

---

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

dem Normvolumenstrom (feucht) wird die Ausströmgeschwindigkeit und aus der Differenz der beiden Ströme die Wasserbeladung bestimmt unter der Voraussetzung, dass kein Flüssigwasser vorliegt. Die Werte, die nicht vom Benutzer vorgegeben werden, sowie der resultierende Flüssigwassergehalt werden während der Eingabe unmittelbar berechnet und in den entsprechenden Feldern aktualisiert. Weitere Details zur Behandlung feuchter Fahnen sind in einem separaten Dokument im Unterordner `add` aufgeführt.

Das Programm lässt folgende Wertebereiche zu:

Symbol	Kurzname	Parameter	Maßeinheit	Wertebereich
$S$	<code>sv</code>	S-Wert	mg/m <sup>3</sup>	$> 0$
$q$	<code>eq</code>	Emissionsmassenstrom	kg/h	$> 0$
$d$	<code>dq</code>	Innendurchmesser	m	[0,200]
$T$	<code>tq</code>	Austrittstemperatur	°C	[10,600]
$v$	<code>vq</code>	Austrittsgeschwindigkeit	m/s	[0,50]
$x$	<code>zq</code>	Wasserbeladung	kg/(kg tr)	[0,999]
$n_f$	<code>nf</code>	Normvolumenstrom (feucht)	m <sup>3</sup> /h	$\geq 0$
$n_t$	<code>nt</code>	Normvolumenstrom (trocken)	m <sup>3</sup> /h	$\leq n_f$
$l$	<code>lq</code>	Flüssigwassergehalt	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.

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 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 Textda-

tei 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. Es müssen mindestens die Parameter `sv` und `eq` vorgegeben werden, die Reihenfolge der Parameter ist beliebig.

*Hinweis: Es darf entweder  $v$  und  $z$  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`.

## 3 Technische Details

### 3.1 Berechnung von Quellparametern

Die Normvolumenströme (Normzustand bei 273.15 K und 101300 Pa gemäß Nummer 2.4 der TA Luft) werden aus gegebenen Werten des Durchmessers  $d$ , der Austrittstemperatur



$T$  (in Grad Celsius), der Ausströmgeschwindigkeit  $v$  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 Ausströmgeschwindigkeit 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.

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  $\text{m}^3/\text{h}$  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 Weitere Informationen

Weitere technische Details können dem *Bericht zur Umweltphysik Nr. 9* (Auflage 1) entnommen werden.<sup>2</sup> Im Gegensatz zu den Ausführungen in Auflage 1 erlaubt die aktuelle Version von Besmin Bauhöhen bis hinunter zu 6 m entsprechend der Festlegung der TA Luft (2021).

<sup>2</sup>Der Bericht wird in der Deutschen Nationalbibliothek ([www.dnb.de](http://www.dnb.de)) als PDF-Datei bereitgestellt ([urn:nbn:de:101:1-201709132627](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201709132627)), ebenso auf den Seiten des Ing.-Büros Janicke ([www.janicke.de](http://www.janicke.de)).

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

---