Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Prof. Oschatz - Prof. Hartmann - Prof. Werdin

Handbuch zum EVIA-Tool „Luftvolumenströme durch In- und Exfiltration an Gebäuden“

Auftraggeber:	European Ventilation Industry Association (EVIA)
Auftragnehmer:	ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
	Forschung und Anwendung GmbH
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. C. Knaus
	Prof. Dr.-Ing. T. Hartmann

Dresden, Januar 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen 3

2 Aufbau und Bedienung des Tools 5

Schritt 1: Start des Tools 5

Schritt 2: Allgemeine Projekt- und Objektdaten 6

Schritt 3: Allgemeine Angaben zum Gebäude 8

Schritt 3.1: Allgemeine Gebäudedaten 8

Schritt 3.2: Angaben zur betrachteten Wohnung 9

Schritt 3.3: Raumlufttechnische Anlagen 10

Schritt 4: Klimadaten 24

Schritt 5: Angaben zur Gebäudeumgebung 27

Schritt 6: Angaben zur Gebäudestruktur 30

Schritt 6.1: Raumkonfiguration 30

Schritt 6.2: Raumdaten 32

Schritt 6.3: Verbindungen 37

3 Änderungen der Eingaben/Variantenrechnungen 56

4 Berechnungsbeispiele 58

Beispiel 1: Wohnung im Mehrfamilienhaus 58

Beispiel 2: Kleines Reihenhaus 65

5 Literaturverzeichnis 74

1 Grundlagen

Die Basis für das Tool bildet ein physikalisches Berechnungsmodell, welches in der EN 16798-7 (früher EN 15242) mit dem Titel „Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden – Teil 7: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäude einschließlich Infiltration“ beschrieben wird.

Das für die mathematische Lösung verwendete Hardy-Cross-Verfahren ist ein sehr gängiges und praktisch bewährtes maschenorientiertes Lösungsverfahren, dessen Basis das Newtonsche Näherungsverfahren bildet. Es findet häufig Anwendung bei Wasser- und Gasversorgungsnetzen und wurde für die Berechnung der Luftmassenströme durch die Strömungswege eines Gebäudes im Excel-Tool umgesetzt.

Für dieses Verfahren ist es notwendig, alle sogenannten unabhängigen Maschen eines Gebäudes zu kennen, siehe Abbildung 1. Eine Masche stellt dabei einen geschlossenen Strömungspfad über Verbindungen (nach außen oder zwischen Räumen) dar, dessen Start- und Endpunkt identisch und durch konstante Massenströme gekennzeichnet ist. Zur eindeutigen Berechnung der Massenströme ist es weiterhin nötig, Knotengleichungen aufzustellen. Eine Knotengleichung stellt die Summe aller zu- und abfließenden Massenströme eines Knotens (Raums) dar. Knoten sind durch veränderliche Massenströme, aber feste Druckverhältnisse gekennzeichnet.

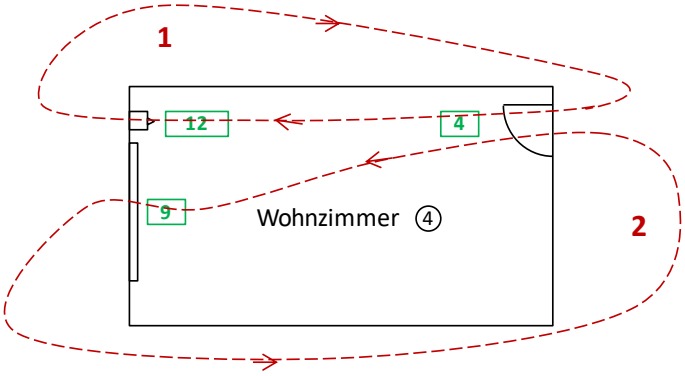


Abbildung 1: Hardy-Cross-Verfahren - Darstellung der Maschen eines Systems

Die Berechnung der Gebäudedurchströmung ist für Gebäude mit bis zu 20 Räumen in einem oder mehreren Geschossen möglich, wobei die maximale Anzahl an Verbindungen eines Raumes ebenfalls bei 20 liegt. Für jeden Raum können durch raumlufttechnische Anlagen aufgeprägte Zu- und/oder Abluftvolumenströme vorgegeben werden. Um den Rechenaufwand sinnvoll zu begrenzen, wird davon ausgegangen, dass diese vorgegebenen Zu- /Abluftvolumenströme konstant und unabhängig von den Druckverhältnissen am Gebäude sind.

Die Berechnung der Gebäudedurchströmung im stationären Fall wird mit den vom Nutzer festgelegten konstanten Randbedingungen durchgeführt:

- Wind (Windrichtung und -geschwindigkeit, Hindernisse und Gebäudeform)
- Temperatur (innen und außen, Berücksichtigung vertikaler Strömungswiderstände)
- Raumlufttechnische Anlagen (Kennlinie des Zu- und Abluftventilators, Druckverlustkennlinien)

- Gebäude (Dichtheit der Gebäudehülle als n_{50}-Wert, Verteilung der Leckagen, Festlegung der Strömungswiderstände (Türen, Spalten, Fugen, Fenster, Außenluftdurchlässe))

Anhand der festgelegten Randbedingungen werden folgende Daten ermittelt werden, die für die Berechnung der Volumenströme benötigt werden:

- Winddruck auf die jeweilige Öffnung
- Dichtheitskennwert, welcher anteilig (nach dem Verhältnis der Außenwandflächen oder nach festem Anteil) auf die jeweiligen äußeren Verbindungen aufgeteilt wird
- Aerodynamischer Druckbeiwert für jede Verbindung des Gebäudes (C_p-Wert).

Mit dem Tool werden letztendlich für einen vorgegebenen stationären Fall die Luftvolumenströme für alle Verbindungen nach außen (z.B. Fensterfugen oder Außenluftdurchlässe und zwischen den Räumen (z.B. Türfugen) unter Berücksichtigung des Winddrucks, des thermischen Auftriebs und ggf. vorhandener RLT-Anlagen berechnet.

Änderungen in Version 1.1:

- Erweiterung der Cp-Werte für Gebäude mit einem Seitenverhältnis von 1:1 oder 2:1
- Betrachtung von Haupt- und Nebenwindrichtungen
- Automatische Optimierung der Rechengenauigkeit

Änderungen in Version 1.2:

- Integration von Gerätekennlinien für zentrale und dezentrale Lüftungsgeräte
- Betrachtung von Einzelraumlüftungsgeräten mit und ohne Wärmespeicher

2 Aufbau und Bedienung des Tools

Schritt 1: Start des Tools

Zum Starten des Berechnungstools muss im Tabellenblatt „Eingabe“ der Button „Eingabe starten“ aktiviert werden. Es erscheint das in Abbildung 2 gezeigte Fenster, indem das Programm in kurzer Form beschrieben wird.

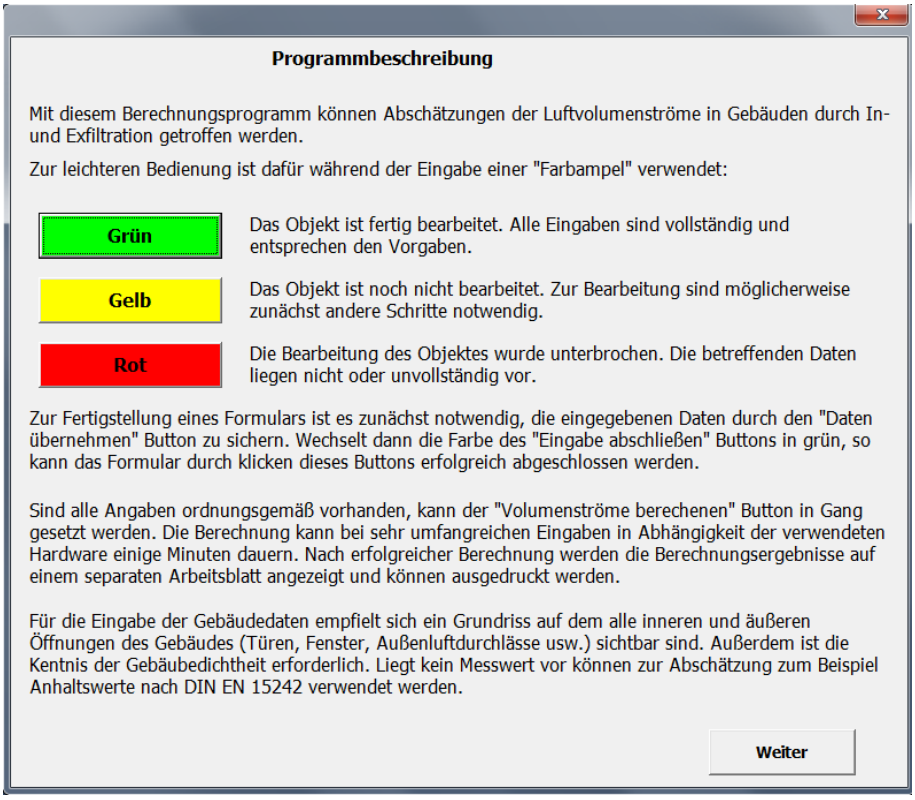


Abbildung 2: Infofenster – Programmbeschreibung

Mit der Betätigung des Buttons „Weiter“ gelangt man zum nächsten Schritt.

Schritt 2: Allgemeine Projekt- und Objektdaten

In der Eingabemaske „Übersicht“ (Abbildung 3) werden unter der Rubrik Projektangaben dem Nutzer Eingabefelder zum Planer, Datum und Bemerkungen zur Verfügung gestellt. Unter der Rubrik Objektdetails sind folgende Eingabefelder aufgeführt:

- Bezeichnung
- Straße
- Postleitzahl
- Ort
- Land.

Nach Wählen der geltenden Berechnungseinheit: m³/h, m³/s oder l/s werden die weiteren Eingabefelder frei gegeben, siehe Abbildung 4.

Abbildung 3: Eingabemaske "Übersicht"

Abbildung 4: Eingabemaske "Übersicht" mit Freigabe der nächsten Eingabemasken

Schritt 3: Allgemeine Angaben zum Gebäude

Die Eingabemaske „Allgemeine Angaben zum Gebäude“ (Abbildung 5) teilt sich in drei Unteraspekte:

- Allgemeine Gebäudedaten
- Angaben zur betrachteten Wohnung
- Raumlufttechnische Anlagen

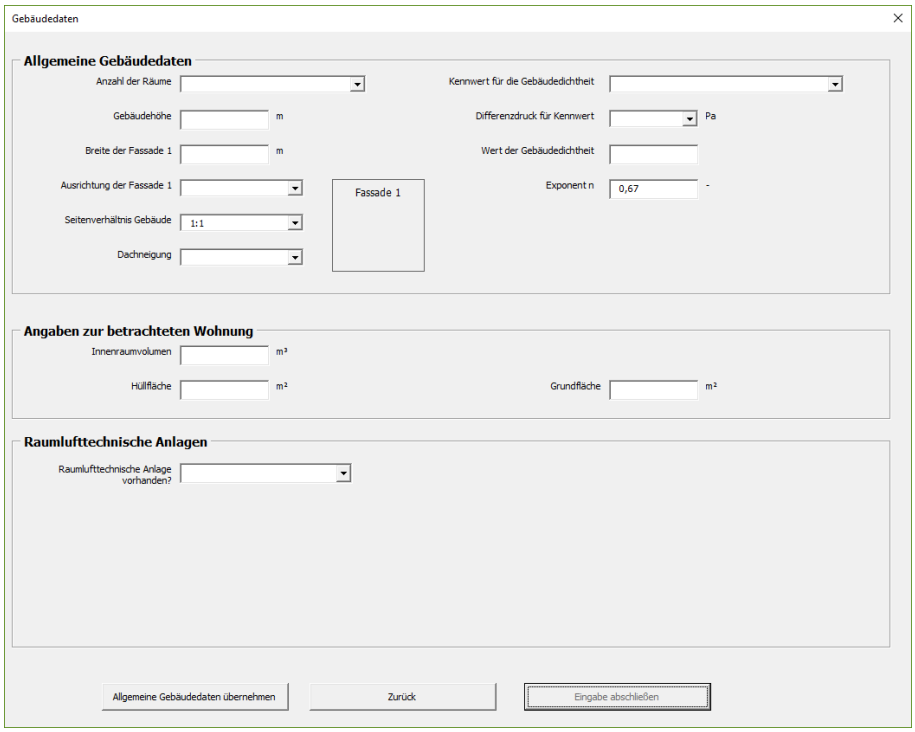
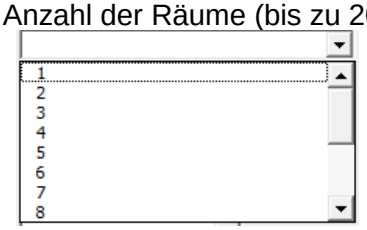


Abbildung 5: Eingabemaske "Allgemeine Angaben zum Gebäude"

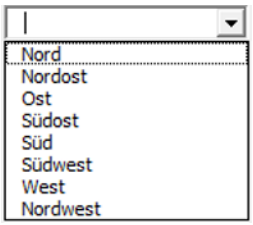
Schritt 3.1: Allgemeine Gebäudedaten

In „Allgemeine Gebäudedaten“ werden folgende Angaben abgefragt:

- Anzahl der Räume (bis zu 20 Räume mögliche)

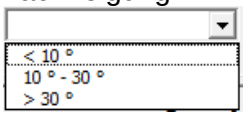


- Gebäudehöhe in m
- Breite der Fassade 1 in m
- Ausrichtung der Fassade 1

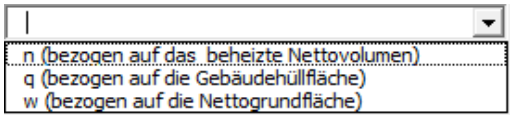


- Seitenverhältnis des Gebäudes

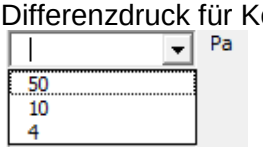
- Dachneigung in °:



- Kennwerte für die Gebäudedichtheit:



- Differenzdruck für Kennwert in Pa:



- Wert der Gebäudedichtheit in m³/(h·m²)
- Exponent n (eingetragener Standardwert von 0,67)

Schritt 3.2: Angaben zur betrachteten Wohnung

Im Aspekt „Angaben zur betrachteten Wohnung“ wird das für die Berechnung benötigte Eingabefeld je nach Auswahl des Kennwertes für die Gebäudedichtheit gelb hinterlegt. Die drei möglichen Eingabefelder sind:

- Innenraumvolumen in m³ (bei n (bezogen auf das beheizte Nettovolumen)), siehe Abbildung 6
- Hüllfläche in m² (bei q (bezogen auf die Gebäudehüllfläche))
- Grundfläche in m² (bei w (bezogen auf die Nettogrundfläche))

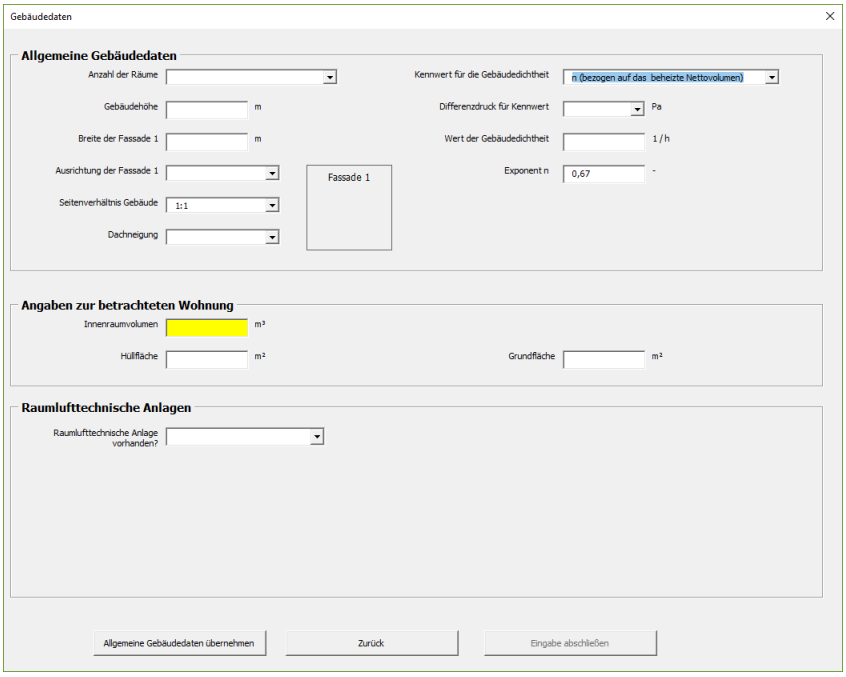
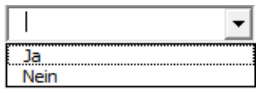


Abbildung 6: Eingabemaske "Allgemeine Angaben zum Gebäude" mit Eingabeaufforderung des Innenraumvolumen

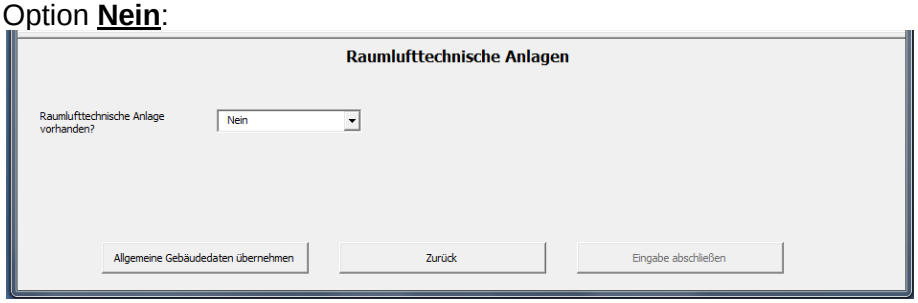
Schritt 3.3: Raumlufttechnische Anlagen

Angaben zur Lüftungsanlage werden im Aspekt „Raumlufttechnische Anlagen“ abgefragt:

- Raumlufttechnische Anlagen vorhanden?

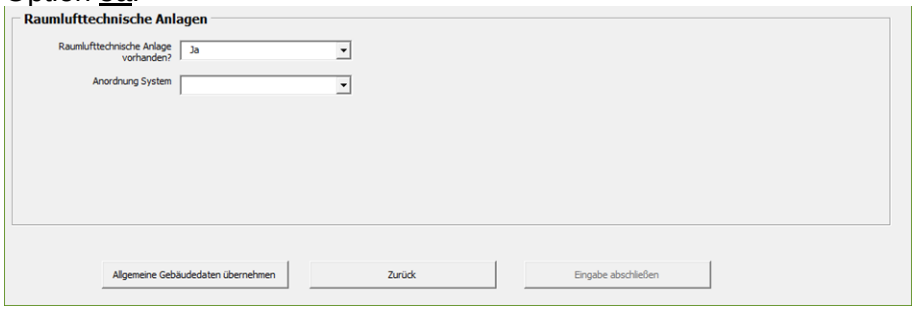


Option **Nein**:



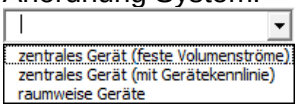
Ist keine raumlufttechnische Anlage vorhanden, sind keine weiteren Angaben mehr nötig.

Option **Ja**:

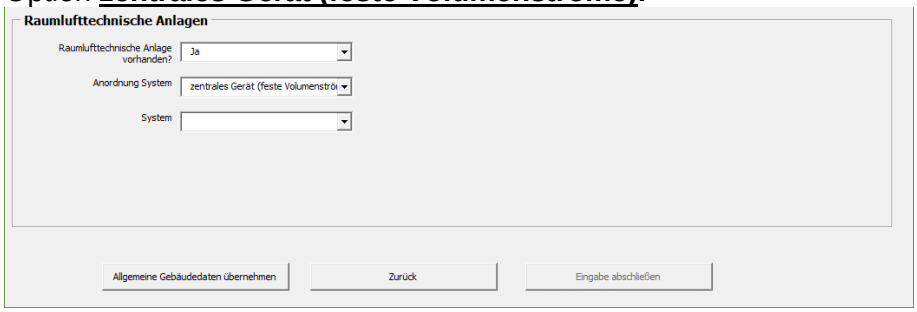


Ist in der betrachteten Wohnung eine raumlufttechnische Anlage vorhanden, dann sind weitere Eingaben nötig:

- Anordnung System:

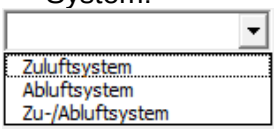


Option **zentrales Gerät (feste Volumenströme)**:

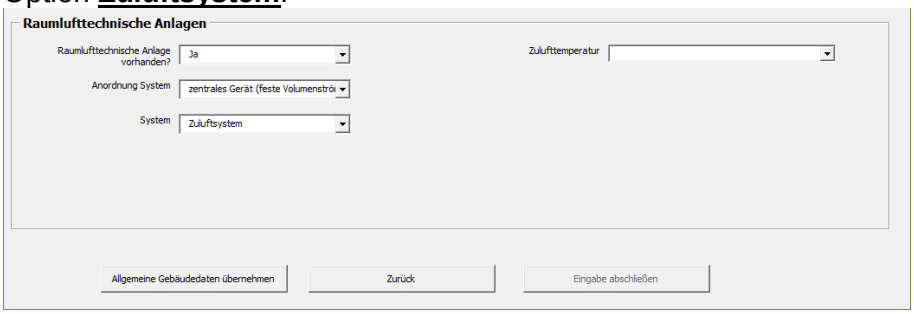


Ist in der betrachteten Wohnung ein zentrales Gerät mit festen Volumenströmen vorhanden, dann sind weitere Eingaben nötig:

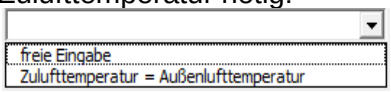
- System:



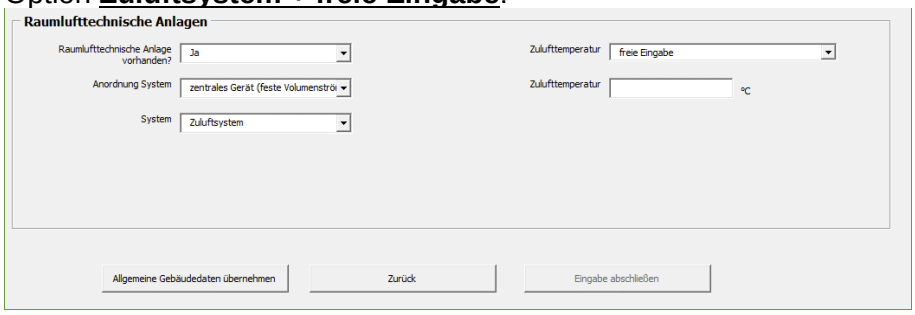
Option **<u>Zuluftsystem</u>**:



Ist ein Zuluftsystem in der betrachteten Wohnung installiert, sind Angaben zur Zulufttemperatur nötig:

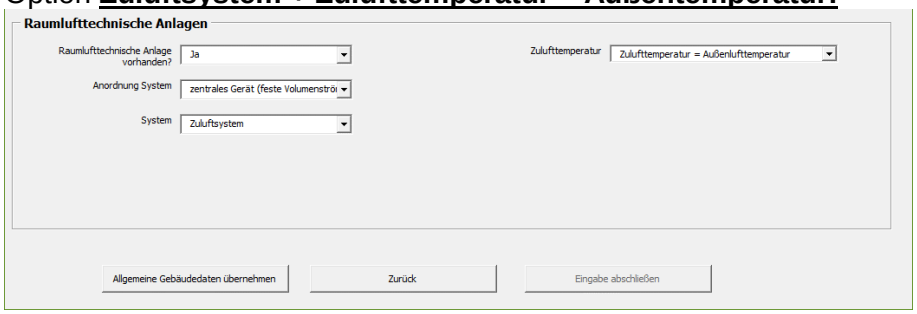


Option **<u>Zuluftsystem + freie Eingabe</u>**:



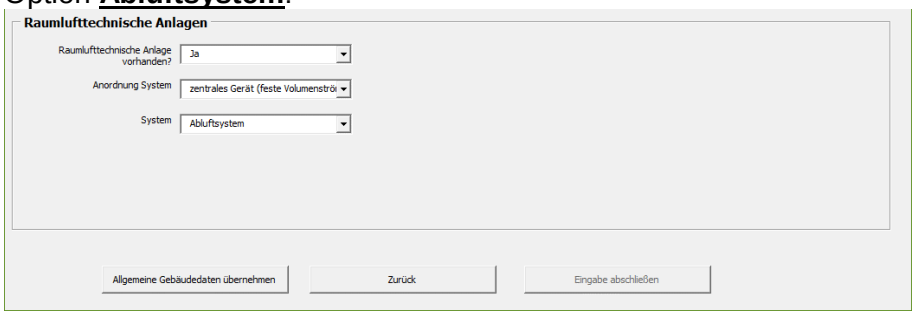
Im erscheinenden Eingabefeld kann die Zulufttemperatur in °C eingegeben werden.

Option **<u>Zuluftsystem + Zulufttemperatur = Außentemperatur:</u>**



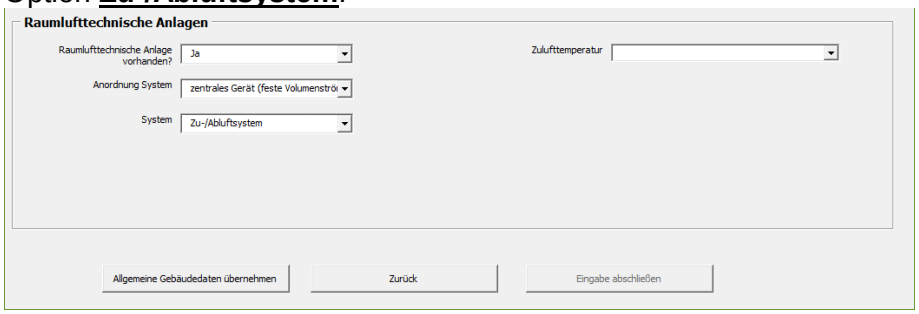
Keine weiteren Angaben sind mehr nötig.

Option **Abluftsystem**:

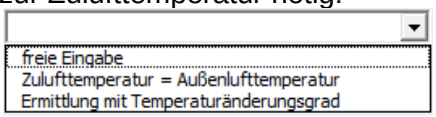


Wird als raumlufttechnische Anlage ein Abluftsystem gewählt, dann sind keine weiteren Angaben mehr nötig.

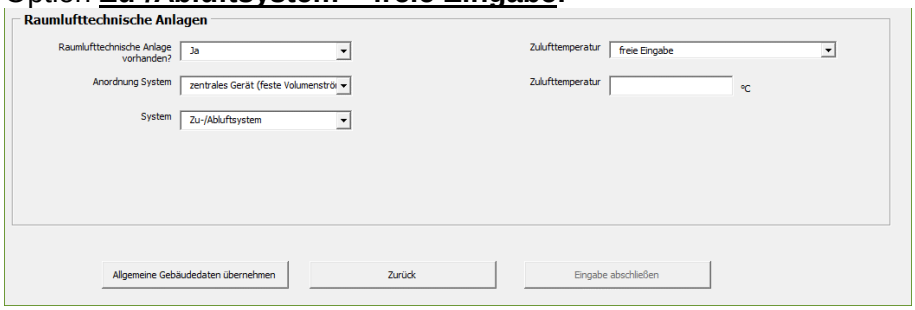
Option **Zu-/Abluftsystem**:



Ist ein Zu-/Abluftsystem in der betrachteten Wohnung installiert, sind Angaben zur Zulufttemperatur nötig:

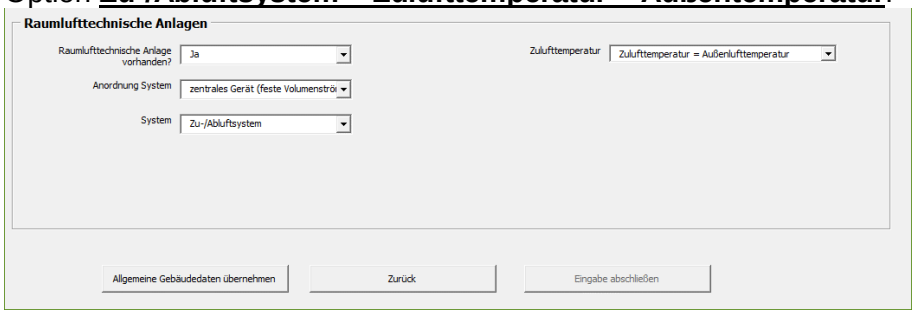


Option **Zu-/Abluftsystem + freie Eingabe:**



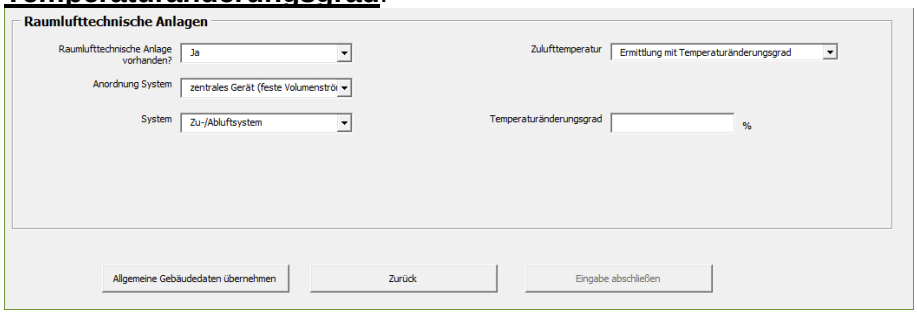
Im erscheinenden Eingabefeld kann die Zulufttemperatur in °C eingegeben werden.

Option **Zu-/Abluftsystem + Zulufttemperatur = Außentemperatur**:



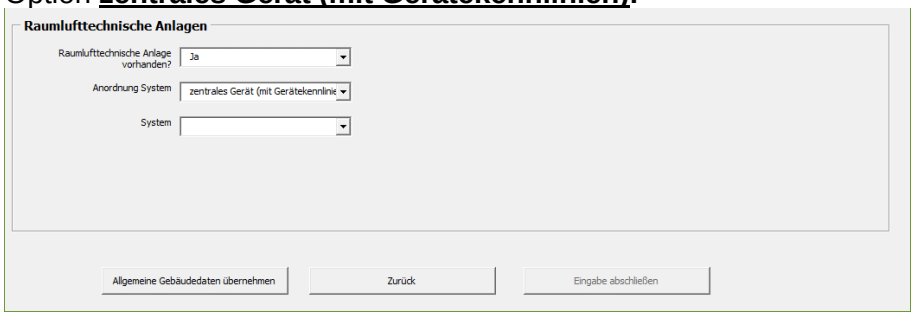
Keine weiteren Angaben sind mehr nötig.

Option **Zu-/Abluftsystem + Ermittlung mit Temperaturänderungsgrad**:



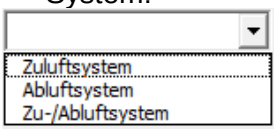
Im erscheinenden Eingabefeld kann der Temperaturänderungsgrad in % eingegeben werden.

Option **zentrales Gerät (mit Gerätekennlinien)**:

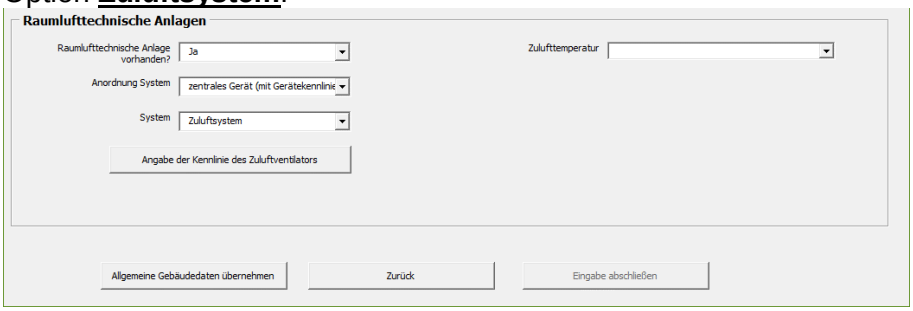


Ist in der betrachteten Wohnung ein zentrales Gerät mit Gerätekennlinien vorhanden, dann sind weitere Eingaben nötig:

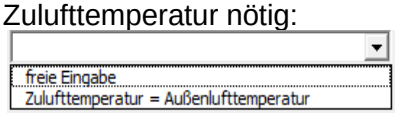
- System:



Option **Zuluftsystem**:



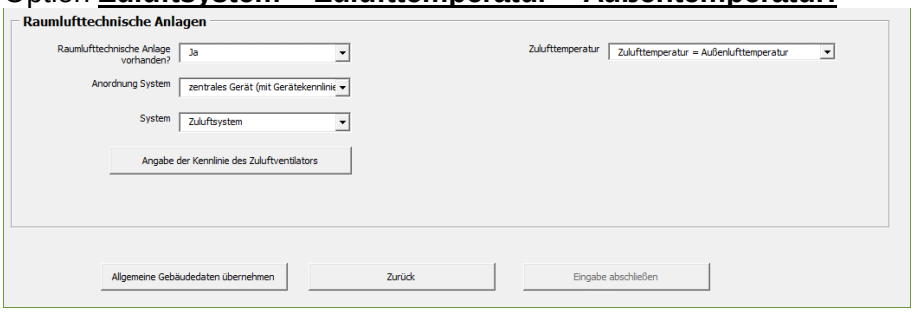
Ist ein Zuluftsystem in der betrachteten Wohnung installiert, sind Angaben zur Zulufttemperatur nötig:



Option **Zuluftsystem + freie Eingabe**:

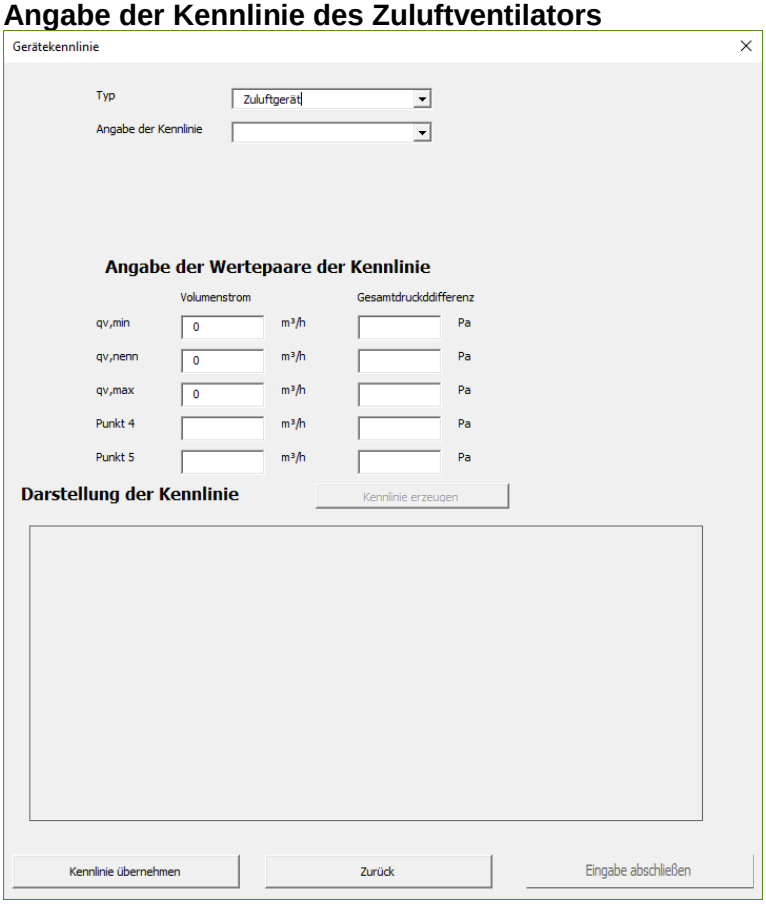
Im erscheinenden Eingabefeld kann die Zulufttemperatur in °C eingegeben werden.

Option **Zuluftsystem + Zulufttemperatur = Außentemperatur:**

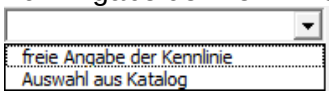


Keine weiteren Angaben sind mehr nötig.

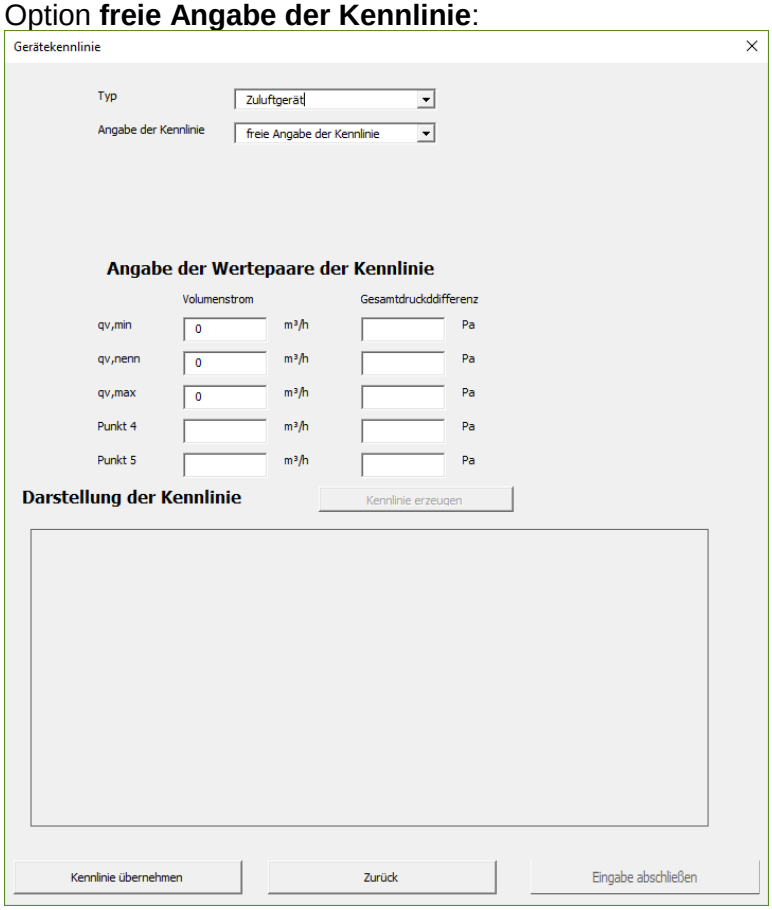
Angabe der Kennlinie des Zuluftventilators



Zur Angabe der Kennlinie, sind weitere Angaben nötig:

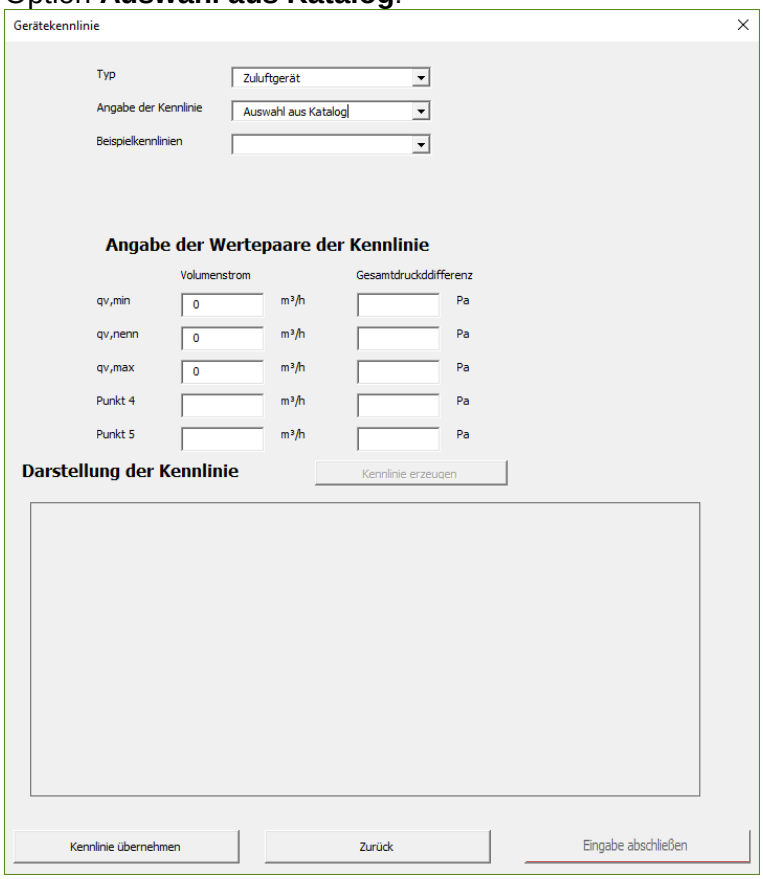


Option **freie Angabe der Kennlinie**:

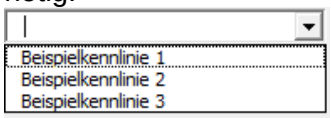


Für die Ermittlung der Kennlinie des Zuluftgeräts sind mindestens 3 Volumenströme und die dazugehörige Gesamtdruckdifferenz notwendig (minimaler Luftvolumenstrom, Nennluftvolumenstrom und maximaler Luftvolumenstrom). Die Angaben zu zwei weiteren Wertepaaren ist optional.

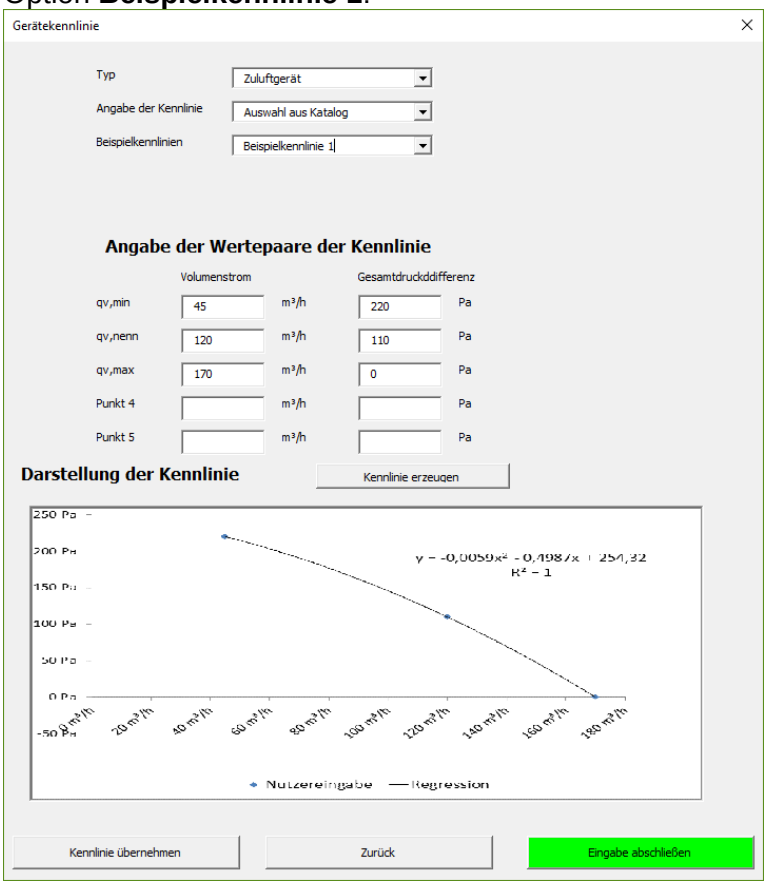
Option **Auswahl aus Katalog**:



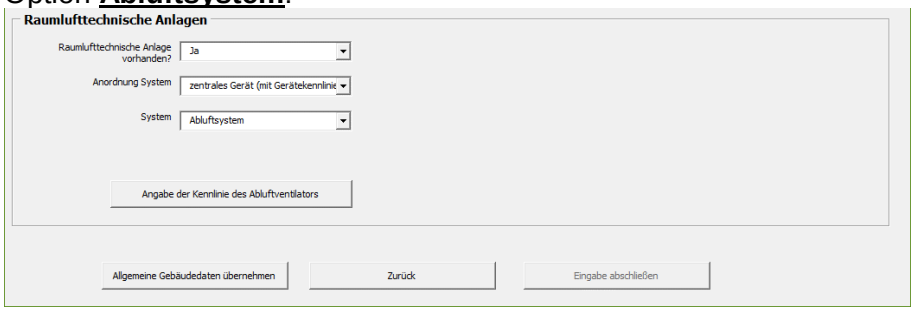
Für die Auswahl der Kennlinie aus dem Katalog sind weitere Angaben nötig:



Option **Beispielkennlinie 1**:

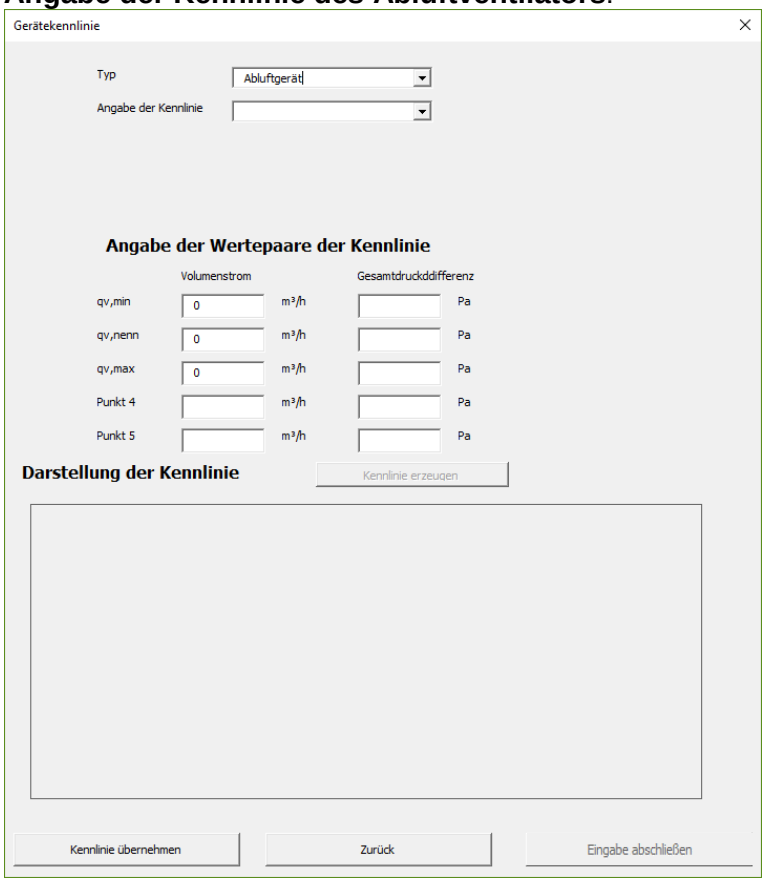


Option **<u>Abluftsystem</u>**:

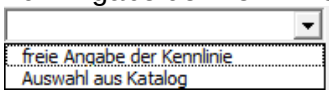


Wird als raumlufttechnische Anlage ein Abluftsystem gewählt, dann sind nur noch Angaben zur Kennlinie des Abluftventilators nötig.

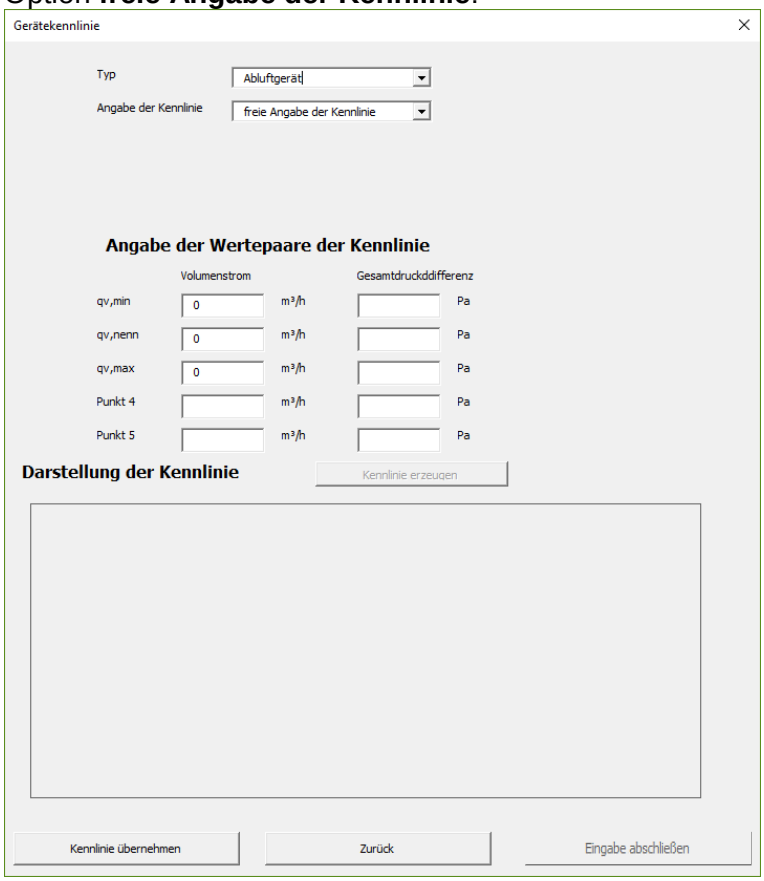
Angabe der Kennlinie des Abluftventilators:



Zur Angabe der Kennlinie, sind weitere Angaben nötig:

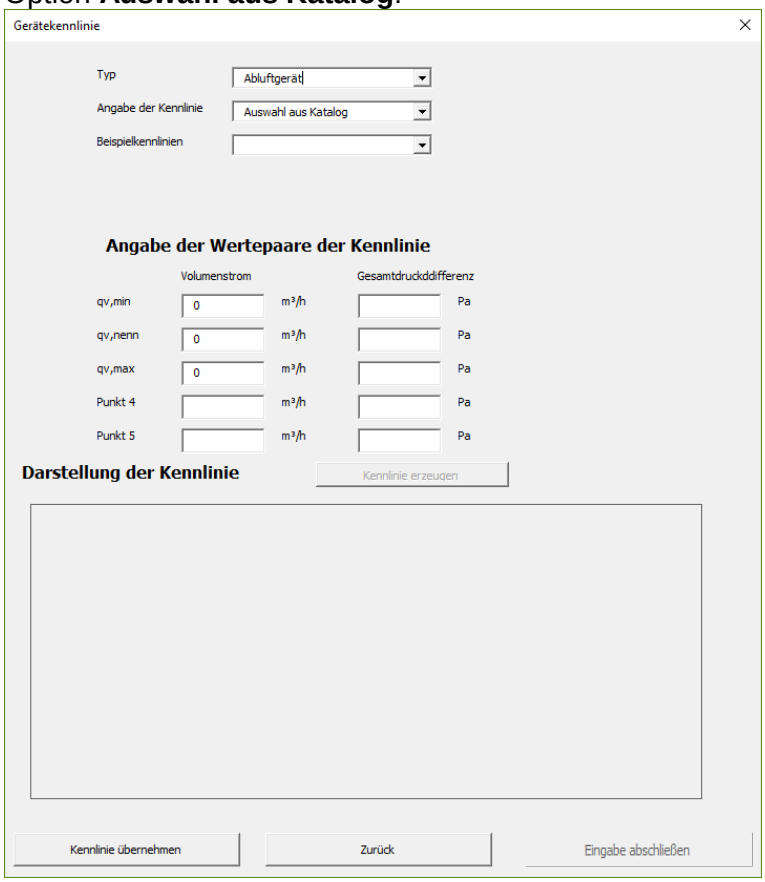


Option **freie Angabe der Kennlinie**:

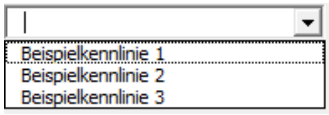


Für die Ermittlung der Kennlinie des Zuluftgeräts sind mindestens 3 Volumenströme und die dazugehörige Gesamtdruckdifferenz notwendig (minimaler Luftvolumenstrom, Nennluftvolumenstrom und maximaler Luftvolumenstrom). Die Angaben zu zwei weiteren Wertepaaren ist optional.

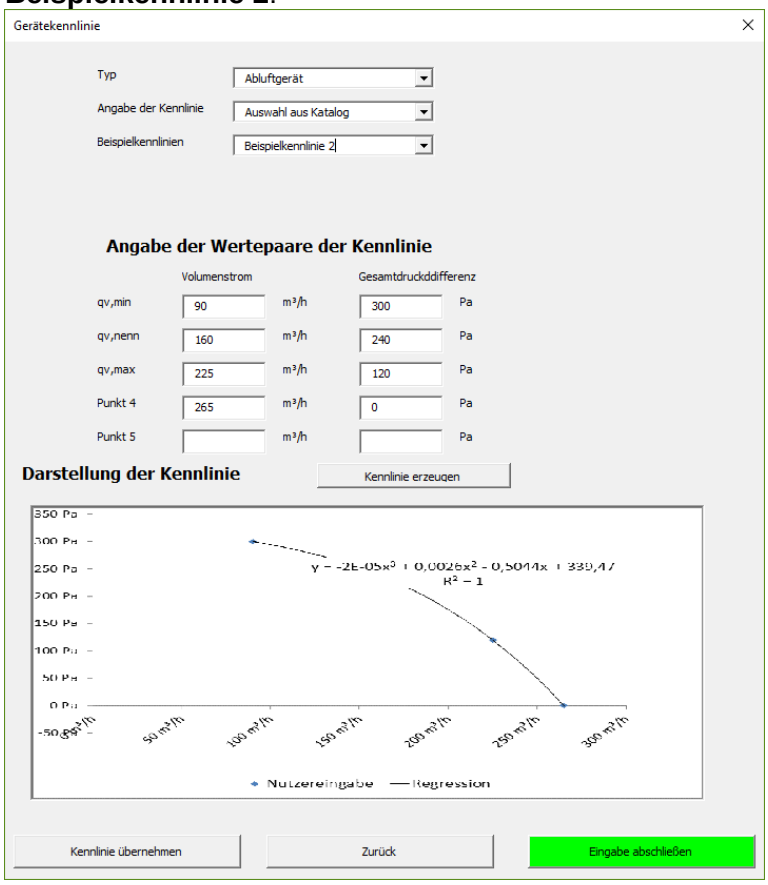
Option **Auswahl aus Katalog**:



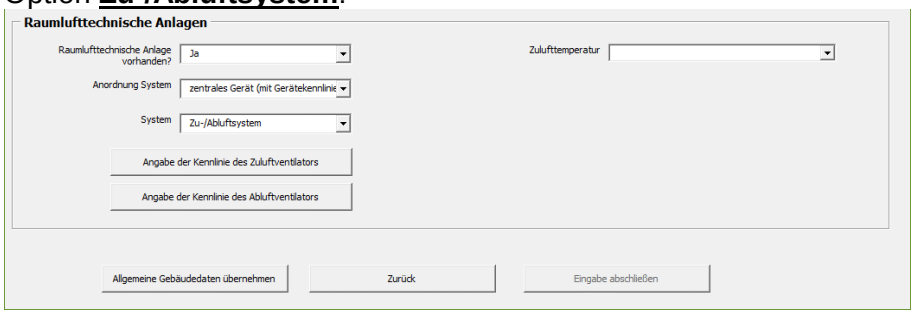
Für die Auswahl der Kennlinie aus dem Katalog sind weitere Angaben nötig:



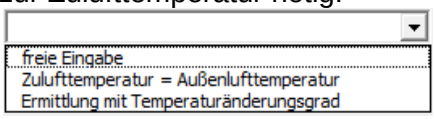
Option **Beispielkennlinie 2**:



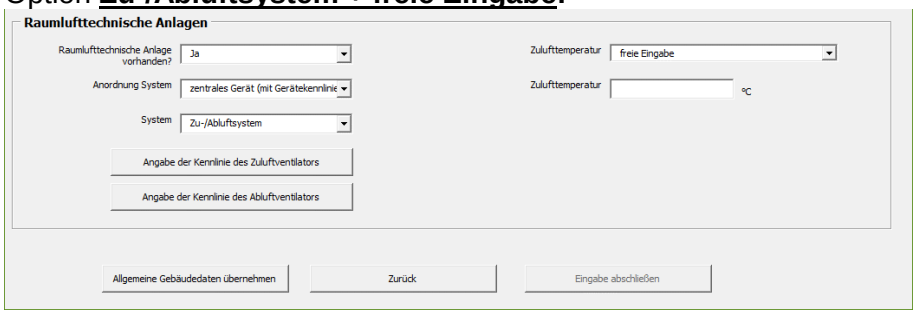
Option **<u>Zu-/Abluftsystem</u>**:



Ist ein Zu-/Abluftsystem in der betrachteten Wohnung installiert, sind Angaben zur Zulufttemperatur nötig:

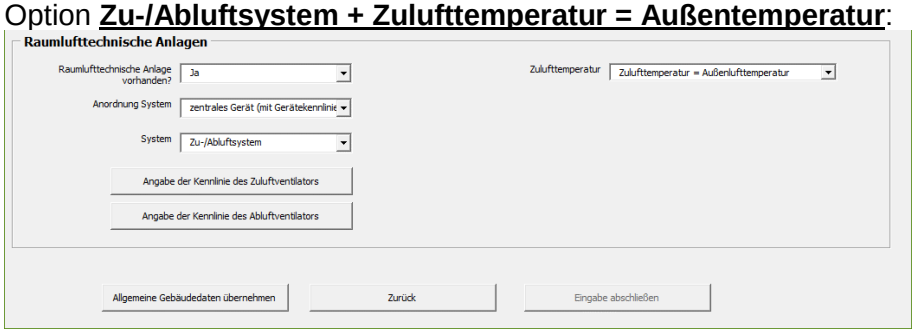


Option **Zu-/Abluftsystem + freie Eingabe**:



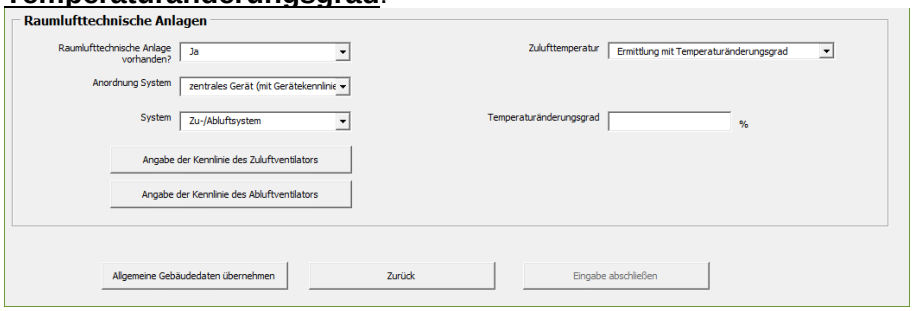
Im erscheinenden Eingabefeld kann die Zulufttemperatur in °C eingegeben werden.

Option **Zu-/Abluftsystem + Zulufttemperatur = Außentemperatur**:



Keine weiteren Angaben sind mehr nötig.

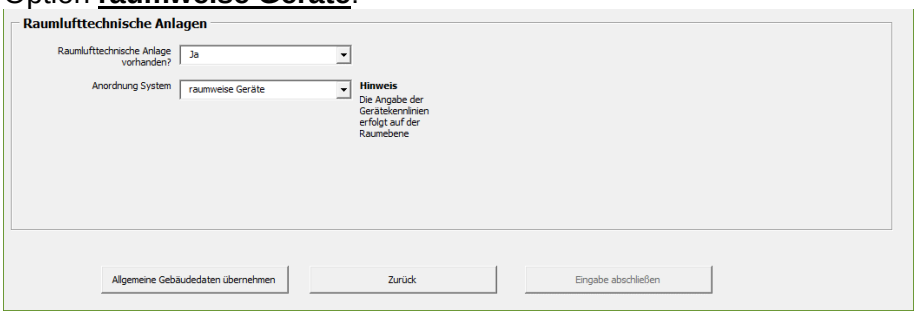
Option **Zu-/Abluftsystem + Ermittlung mit Temperaturänderungsgrad**:



Im erscheinenden Eingabefeld kann der Temperaturänderungsgrad in % eingegeben werden.

Angaben zu den Kennlinien des Zuluft- und Abluftventilators:
Siehe hier zu jeweils die Informationen bei Option Zuluftsystem und Option Abluftsystem.

Option **raumweise Geräte**:



Weitere Angaben zu Gerätekennlinien auf Raumebene. In dieser Userform werden keine weiteren Eingaben mehr benötigt.

Sind alle benötigten Eingaben erfolgt, werden durch Anklicken des Buttons „Allgemeine Gebäudedaten übernehmen“ alle Eingaben gespeichert und für die Berechnung zur Verfügung gestellt, siehe Abbildung 7. Mit dem Button „Eingabe abschließen“ wird die aktuelle Eingabemaske geschlossen und das Fenster „Übersicht“ erscheint, von dem aus die nächste Eingabemaske aufgerufen wird. Sind alle Angaben in der Eingabemaske „Allgemeine Angaben zum Gebäude“ vollständig erscheint dieser Button grün, siehe Abbildung 8. Erläuterungen zur Farbampel sind Abbildung 2 zu entnehmen.

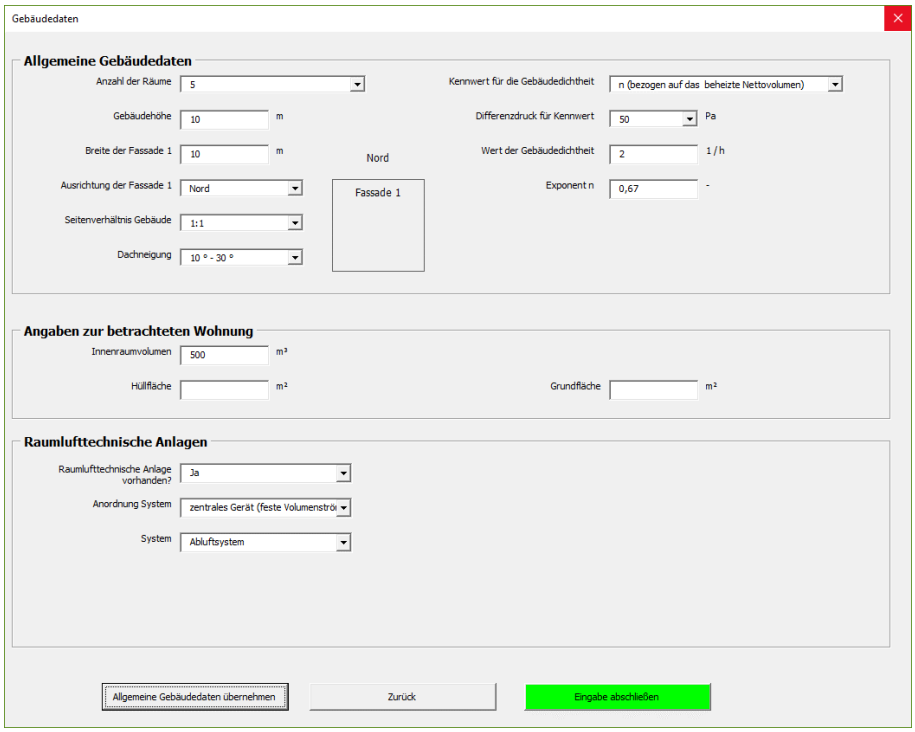


Abbildung 7: Eingabemaske "Allgemeine Angaben zum Gebäude" nach Übernahme der allgemeinen Gebäudedaten

Abbildung 8: Eingabemaske "Übersicht" mit vollständigen Angaben zu "Allgemeine Angaben zum Gebäude"

Schritt 4: Klimadaten

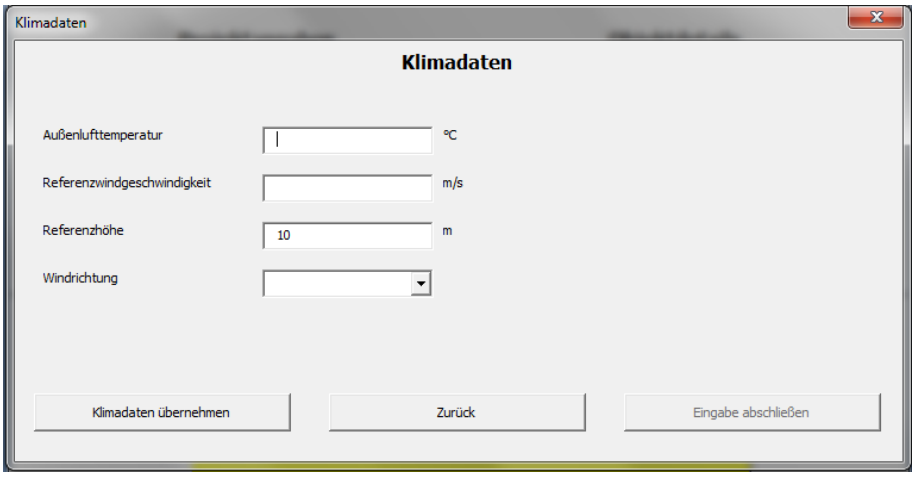
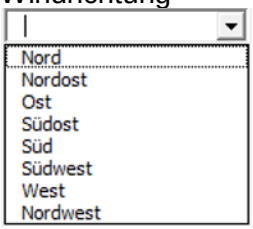


Abbildung 9: Eingabemaske "Klimadaten"

In der Eingabemaske „Klimadaten“ (Abbildung 9) werden Angaben zu folgenden Größen benötigt:

- Außenlufttemperatur in °C
- Referenzwindgeschwindigkeit in m/s
- Referenzhöhe in m (eingetragener Standardwert von 10 m)

- Windrichtung



Sind alle benötigten Eingaben erfolgt, werden durch Anklicken des Buttons „Klimadaten übernehmen“ alle Eingaben gespeichert und für die Berechnung zur Verfügung gestellt, siehe Abbildung 10. Mit dem Button „Eingabe abschließen“ wird die aktuelle Eingabemaske geschlossen und das Fenster „Übersicht“ erscheint, von dem aus die nächste Eingabemaske aufgerufen wird. Sind alle Angaben in der Eingabemaske „Allgemeine Angaben zum Gebäude“ vollständig erscheint dieser Button grün, siehe Abbildung 11. Erläuterungen zur Farbampel sind Abbildung 2 zu entnehmen.

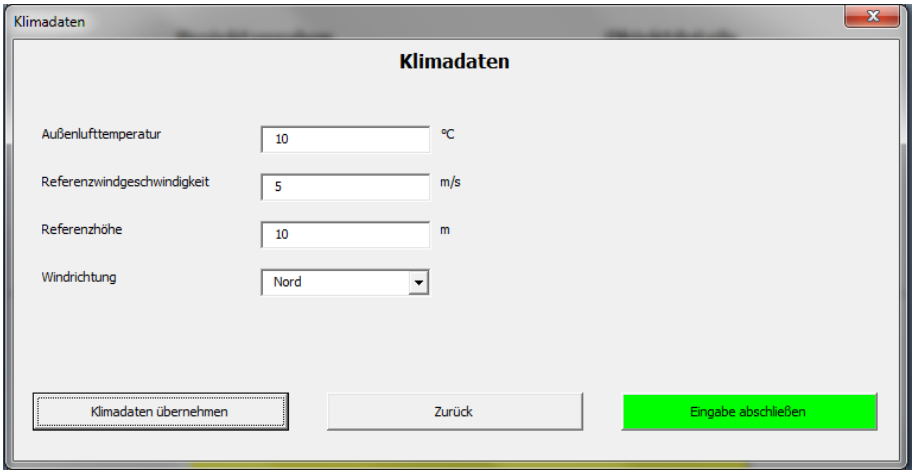


Abbildung 10: Eingabemaske "Klimadaten" nach Übernahme der Klimadaten

Abbildung 11: Eingabemaske "Übersicht" mit vollständigen Angaben zu "Allgemeine Angaben zum Gebäude" und "Klimadaten"

Schritt 5: Angaben zur Gebäudeumgebung

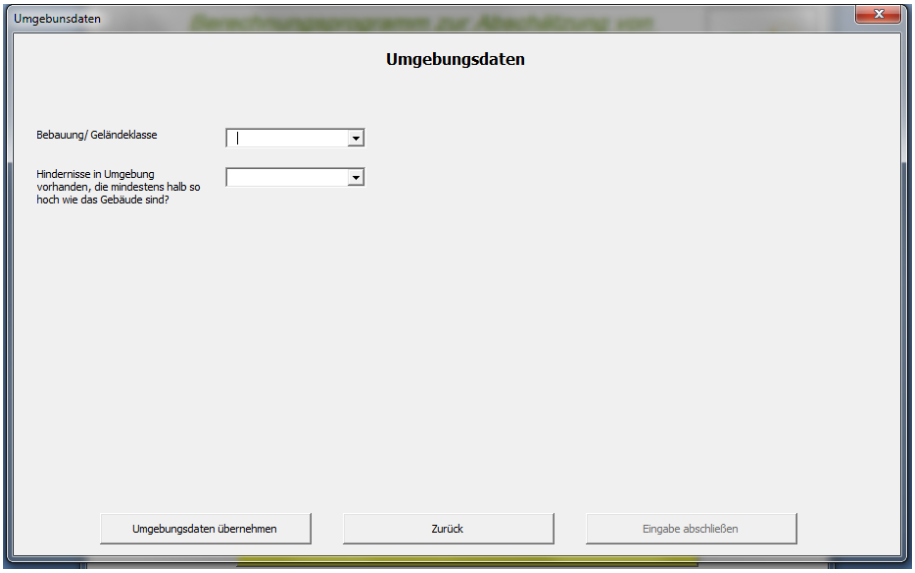
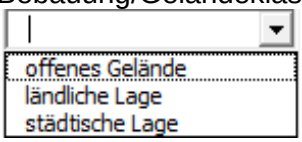


Abbildung 12: Eingabemaske "Angaben zur Gebäudeumgebung" bzw. "Umgebungsdaten"

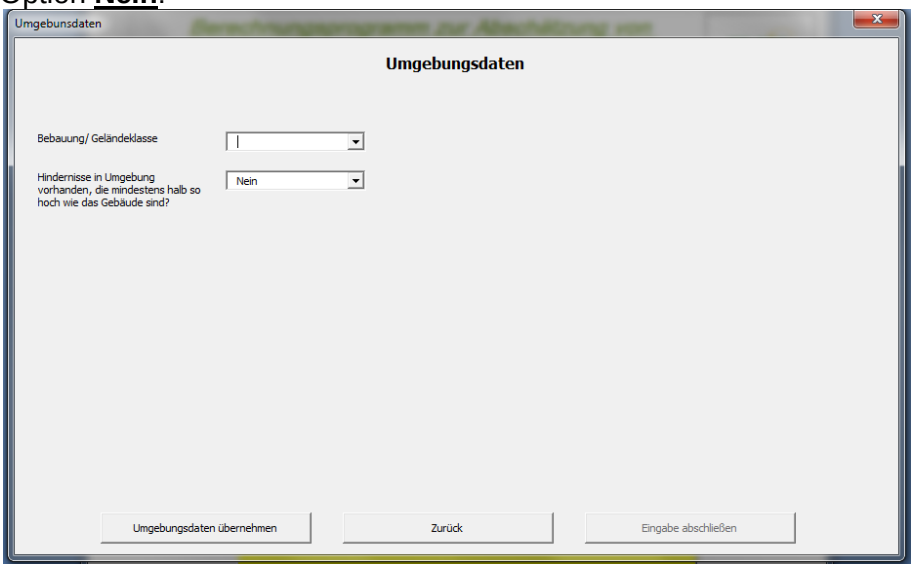
In der Eingabemaske „Angaben zur Gebäudeumgebung“ bzw. „Umgebungsdaten“ erfolgt die Eingabeaufforderung für:

- Bebauung/Geländeklasse



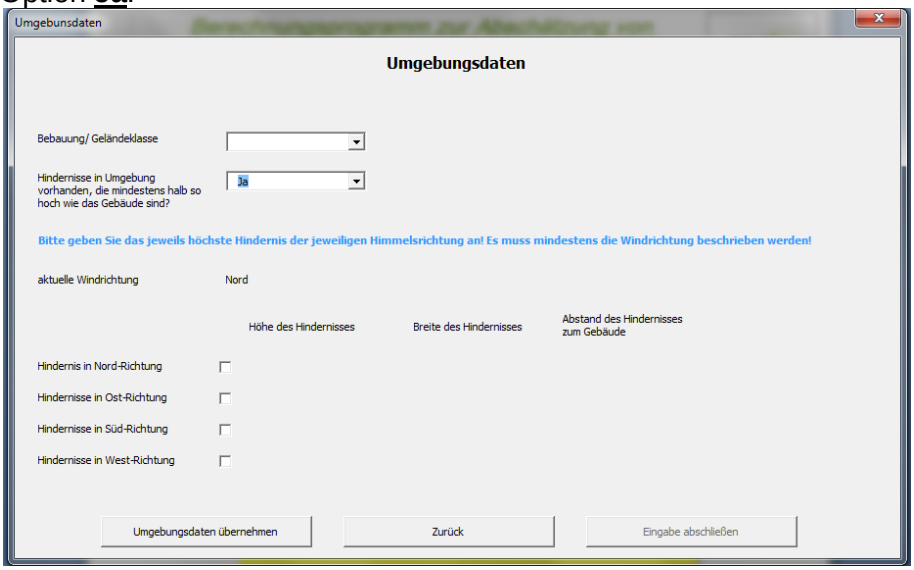
- Hindernisse in Umgebung vorhanden, die mindestens halb so hoch wie das Gebäude sind?

Option **Nein**:



Sind keine Hindernisse in der Umgebung vorhanden, die mindestens halb so hoch wie das Gebäude sind, dann sind keine weiteren Angaben mehr nötig.

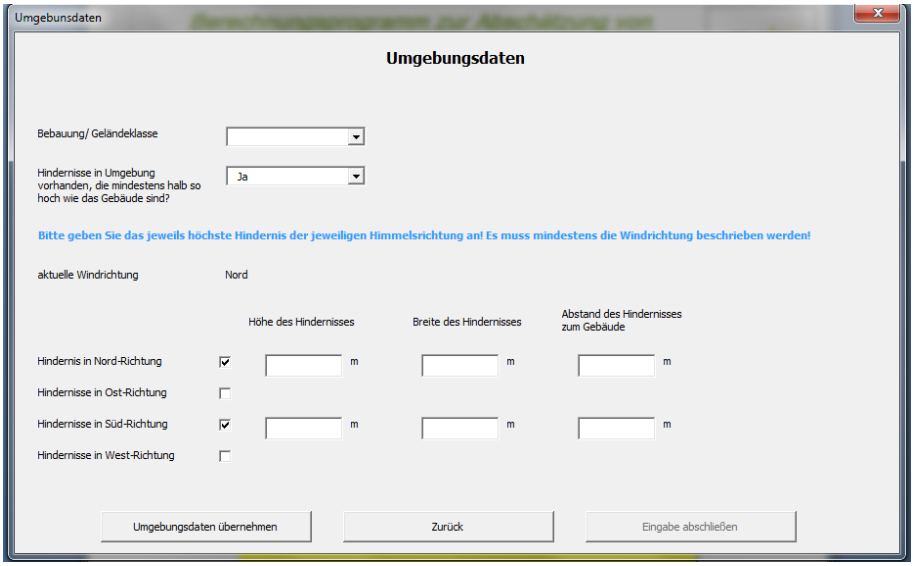
Option **Ja**:



Sind Hindernisse in der Umgebung vorhanden, die mindestens halb so hoch wie das Gebäude sind, muss die Richtung des Hindernisses/der Hindernisse angegeben werden.

Ist diese Auswahl vorgenommen, werden weitere Eingabefelder freigeschaltet mit Angaben zu:

- Höhe des Hindernisses in m
- Breite des Hindernisses in m
- Abstand des Hindernisses zum Gebäude in m



Sind alle benötigten Eingaben erfolgt, werden durch Anklicken des Buttons „Umgebungsdaten übernehmen“ alle Eingaben gespeichert und für die Berechnung zur Verfügung gestellt, siehe Abbildung 13. Mit dem Button „Eingabe abschließen“ wird die aktuelle Eingabemaske geschlossen und das Fenster „Übersicht“ erscheint, von dem aus die

nächste Eingabemaske aufgerufen wird. Sind alle Angaben in der Eingabemaske „Allgemeine Angaben zum Gebäude“ vollständig erscheint dieser Button grün, siehe Abbildung 14. Erläuterungen zur Farbampel sind Abbildung 2 zu entnehmen.

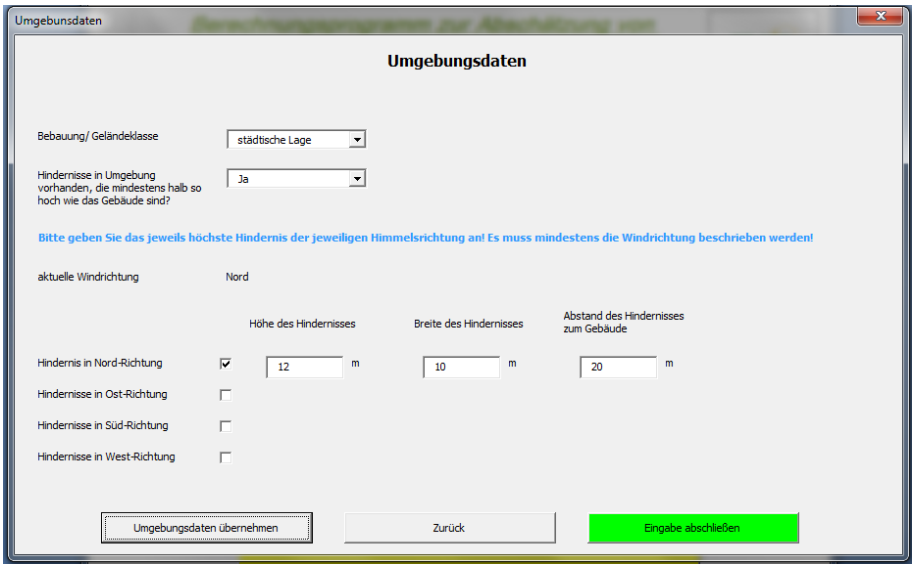


Abbildung 13: Eingabemaske "Angaben zur Gebäudeumgebung" bzw. „Umgebungsdaten“ nach Übernahme der Umgebungsdaten

Abbildung 14: Eingabemaske "Übersicht" mit vollständigen Angaben zu "Allgemeine Angaben zum Gebäude", "Klimadaten" und „Angaben zur Gebäudeumgebung“

Schritt 6: Angaben zur Gebäudestruktur

Schritt 6.1: Raumkonfiguration

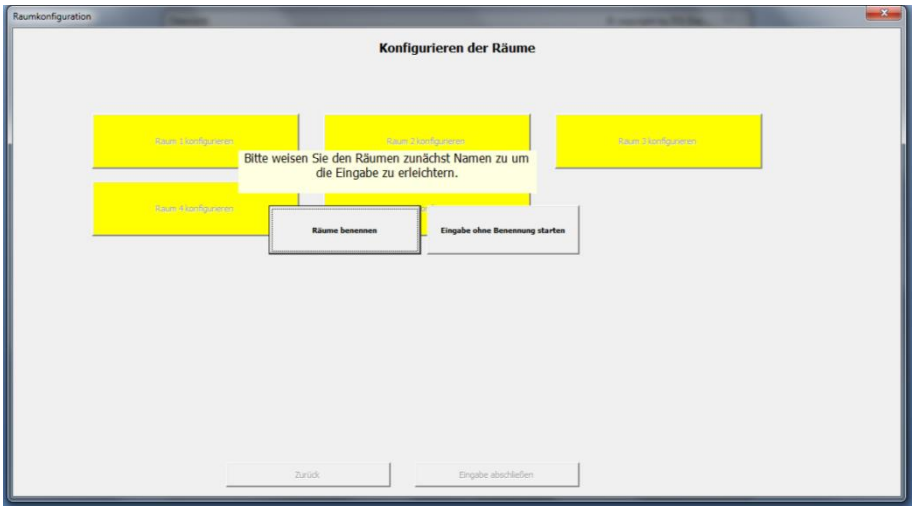
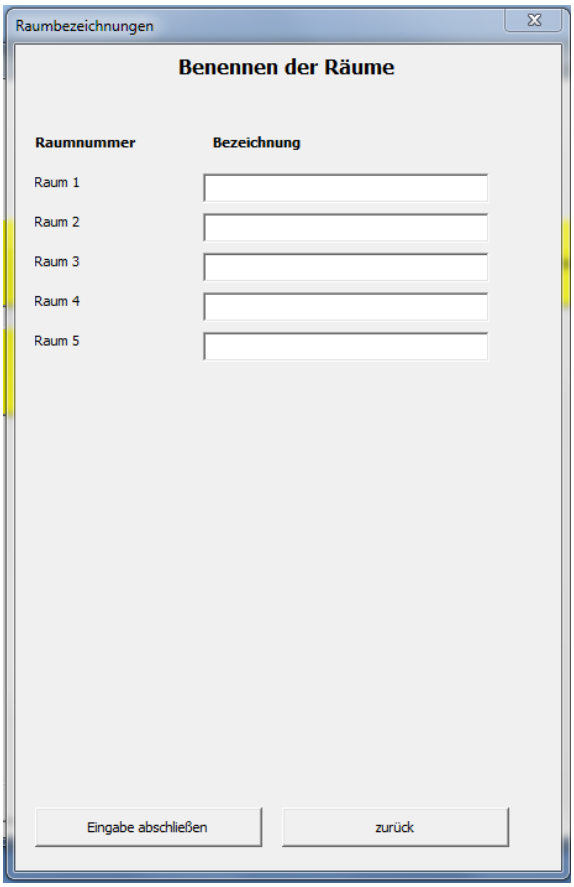


Abbildung 15: Eingabemaske "Eingabe der Gebäudestruktur"

Bevor die Räume konfiguriert werden können, besteht die Möglichkeit die Räume zu benennen, um die Eingabe zu erleichtern. Wird diese Möglichkeit nicht genutzt, dann behalten die Räume die Bezeichnung „Raum 1“, „Raum 2“ usw. und die Konfigurierung der einzelnen Räume kann vorgenommen werden.

Wird die Möglichkeit genutzt die Räume zu benennen, öffnet sich ein weiteres Fenster mit der Eingabemöglichkeit der Bezeichnung für die Räume.



Mit dem Button „Eingabe abschließen“ werden die Eingaben übernommen und das Konfigurieren der Räume ist möglich.

Anmerkung: Bei der Wahl „zentrales Gerät (mit Gerätekennlinie)“ wird ein zusätzlicher virtueller Raum angezeigt, der das zentrale Gerät darstellt.

Nach Auswahl des Raumes und der Betätigung des Buttons bspw. „Raum 5 konfigurieren“ bzw. „Bad konfigurieren“, erscheint die Eingabemaske „Raumdaten eingeben“, siehe Abbildung 16.

Schritt 6.2: Raumdaten

Raumdaten bei zentralem Gerät mit festen Volumenströmen:

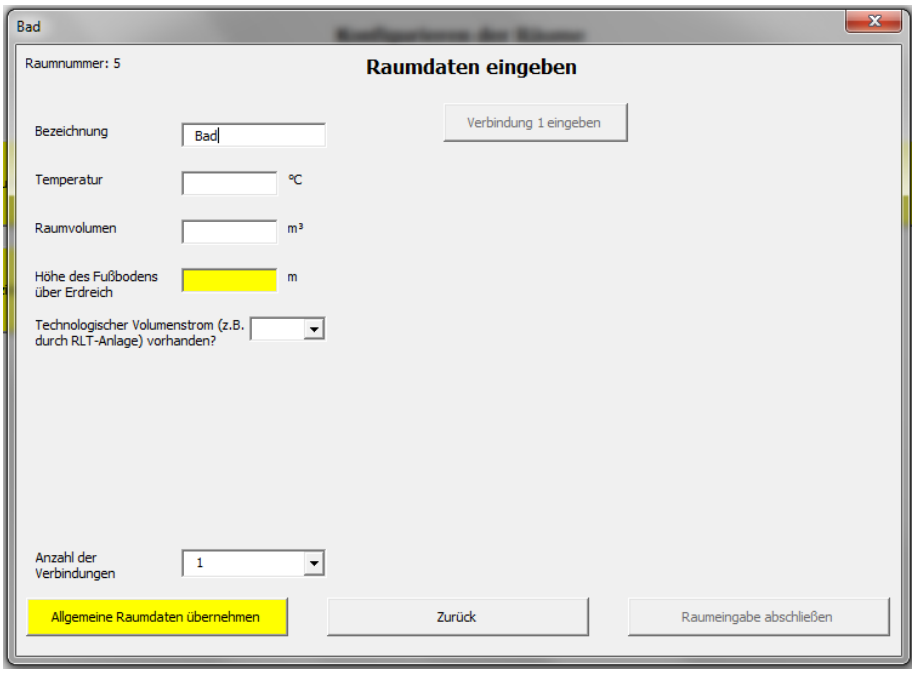
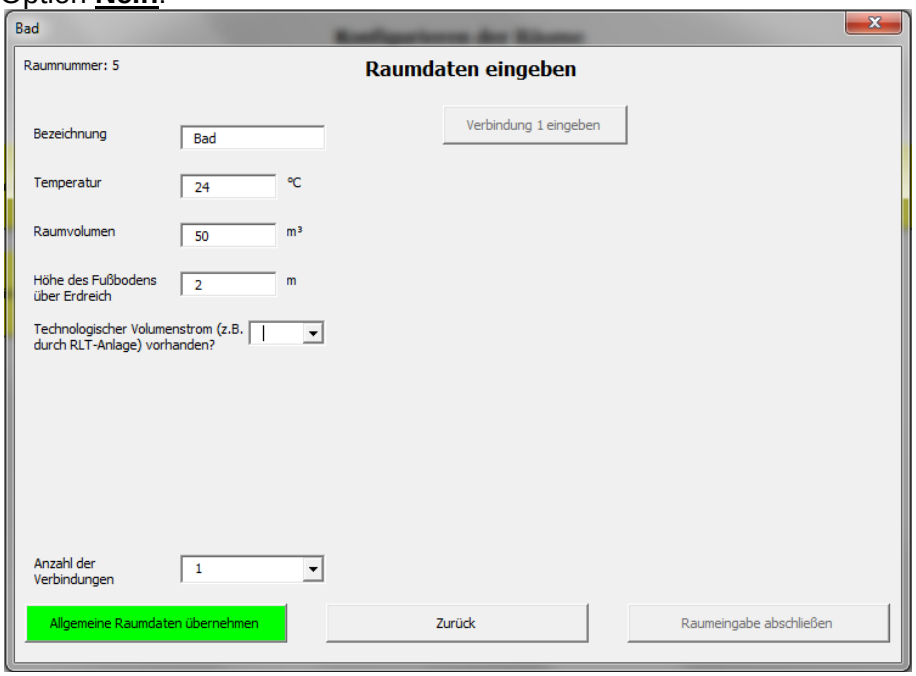


Abbildung 16: Eingabemaske "Raumdaten eingeben"

Die in dieser Eingabemaske vorgenommenen Angaben beziehen sich jeweils auf den ausgewählten Raum und folgende Größen:

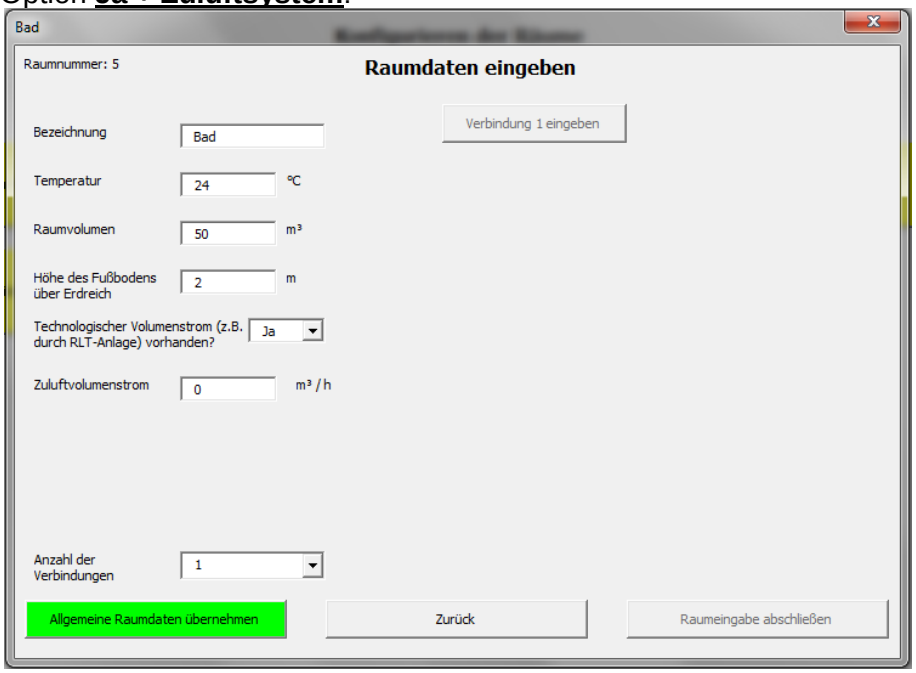
- Temperatur in °C
- Raumvolumen in m³
- Höhe des Fußbodens über Erdreich in m
- Technologischer Volumenstrom (z.B. durch RLT-Anlage) vorhanden?

Option **Nein**:



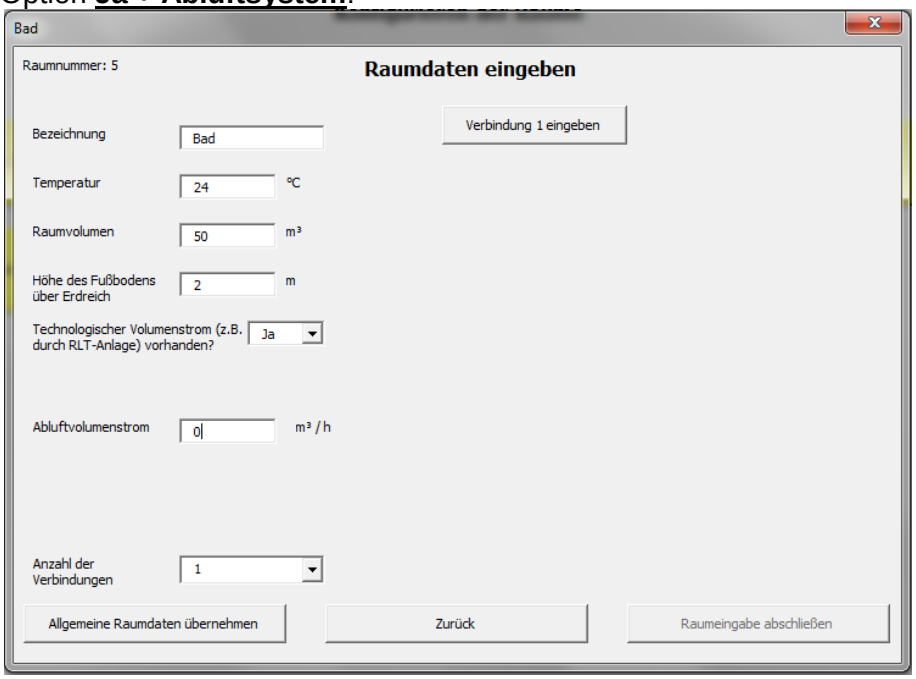
Keine weiteren Angaben sind nötig.

Option **Ja + Zuluftsystem**:



Angabe zum Zuluftvolumenstrom in m³/h muss ergänzt werden.

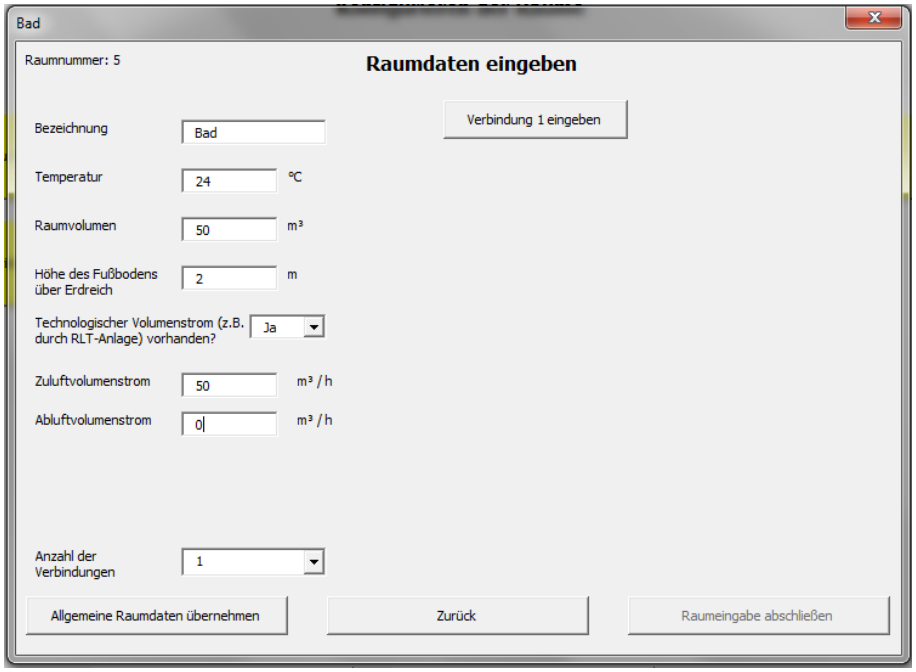
Option **Ja + Abluftsystem**:



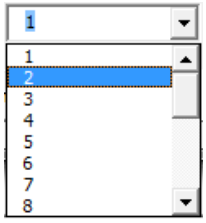
Angabe zum Abluftvolumenstrom in m³/h muss ergänzt werden.

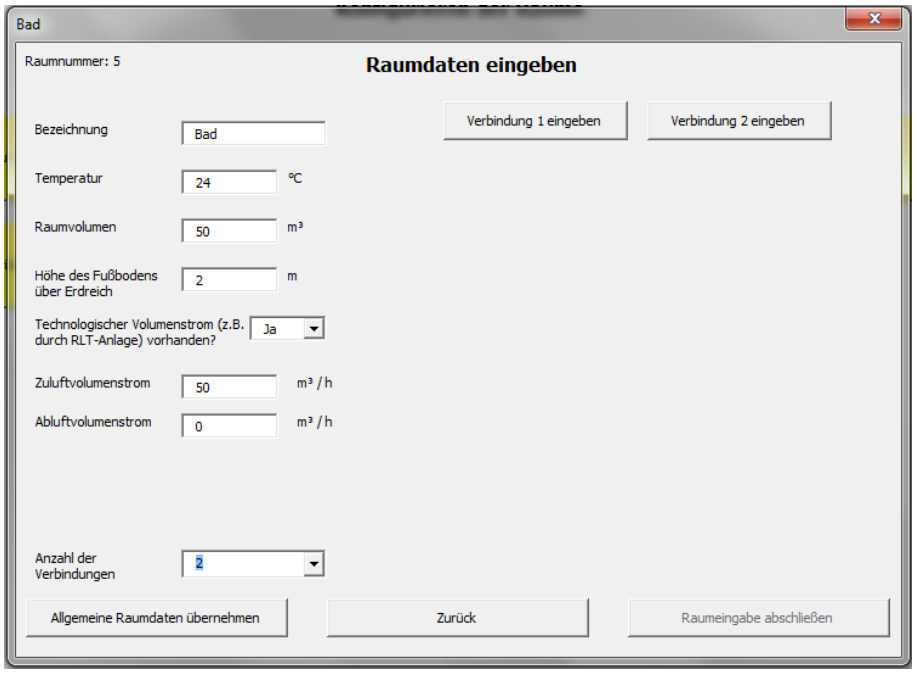
Option **Ja + Zu-/Abluftsystem**:

Angaben zum Zuluftvolumenstrom und zum Abluftvolumenstrom (beide in m³/h) müssen ergänzt werden.



- Anzahl der Verbindungen (bis zu 20 Verbindungen pro Raum möglich)





Mit dem Aktivieren des Buttons z.B. „Verbindung 1 eingeben“ öffnet sich die Eingabemaske „Eingeben der Verbindungen“, siehe Abbildung 18.

Raumdaten bei zentralem Gerät mit Angabe zu Gerätekennlinien oder raumweisen Geräten:

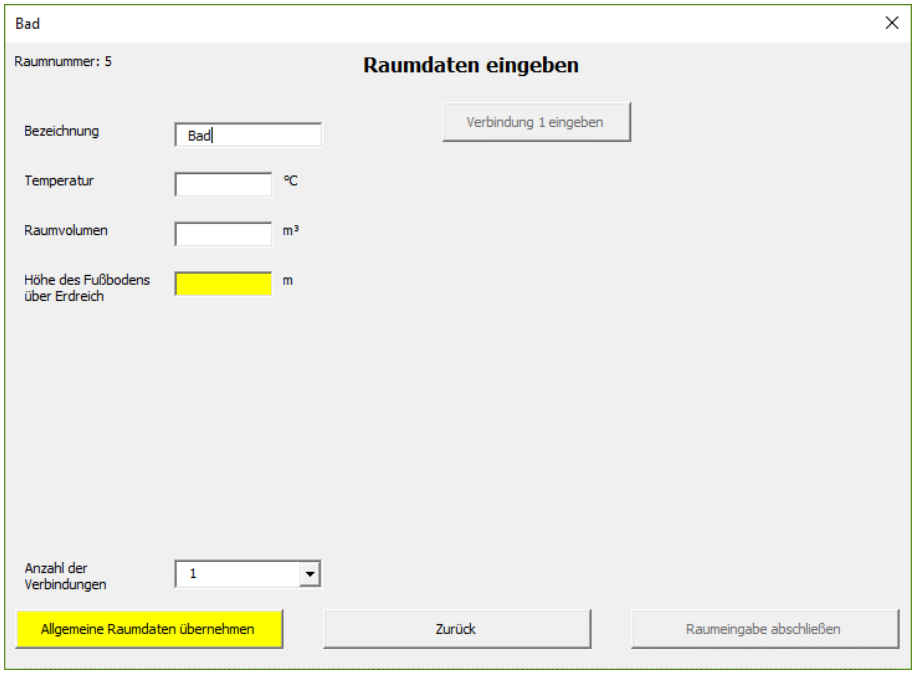
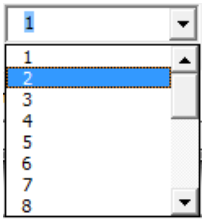
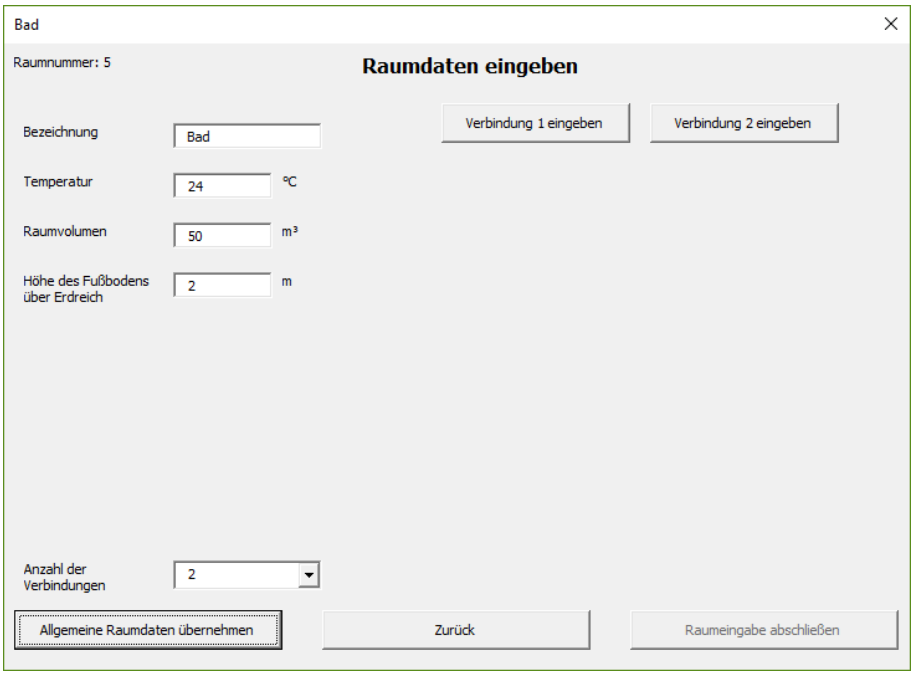


Abbildung 17: Eingabemaske "Raumdaten eingeben"

Die in dieser Eingabemaske vorgenommenen Angaben beziehen sich jeweils auf den ausgewählten Raum und folgende Größen:

- Temperatur in °C
- Raumvolumen in m³
- Höhe des Fußbodens über Erdreich in m
- Anzahl der Verbindungen (bis zu 20 Verbindungen pro Raum möglich)





Mit dem Aktivieren des Buttons z.B. „Verbindung 1 eingeben“ öffnet sich die Eingabemaske „Eingeben der Verbindungen“, siehe Abbildung 18.

Schritt 6.3: Verbindungen

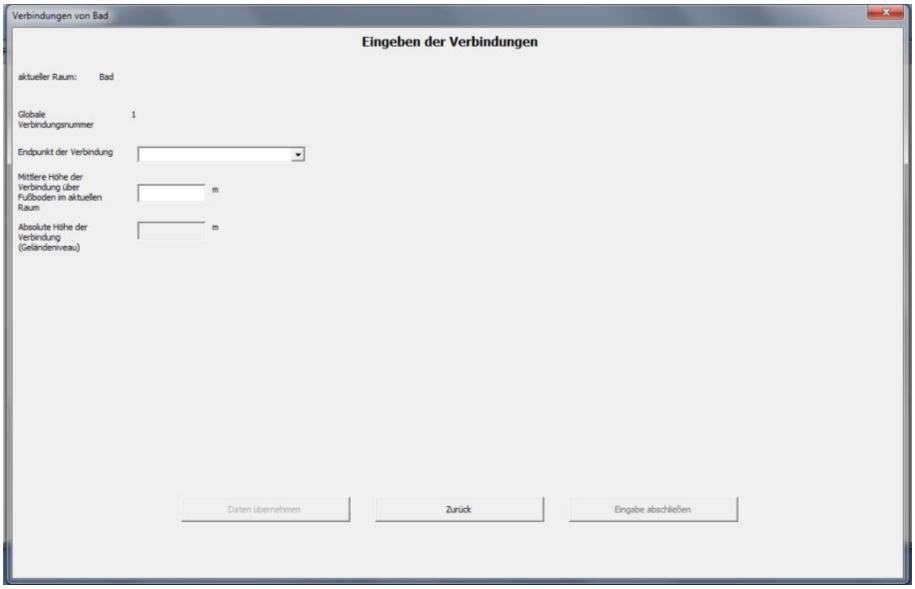
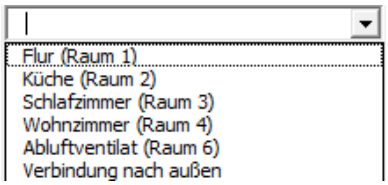


Abbildung 18: Eingabemaske "Eingeben der Verbindungen"

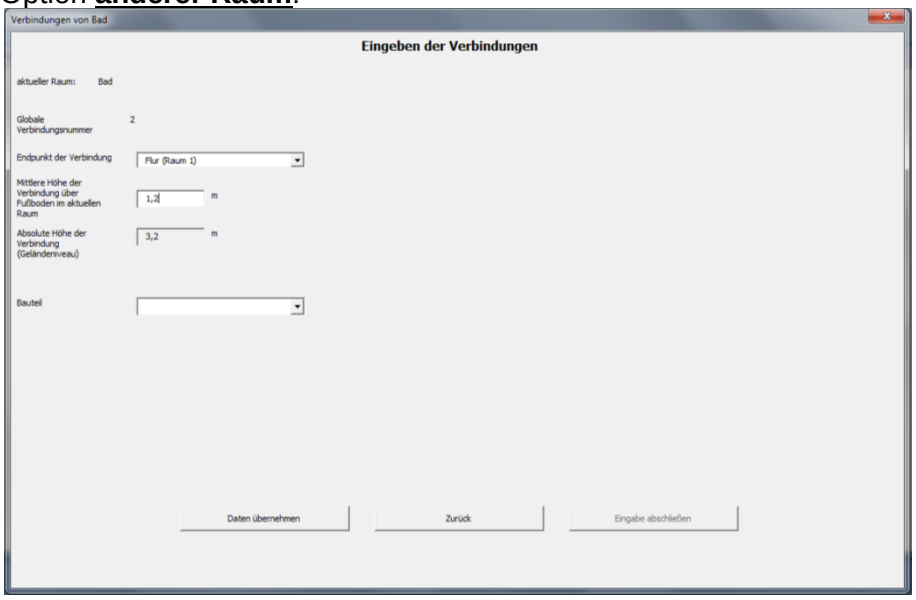
Neben den Informationen zum aktuellen Raum und der globalen Verbindungsnummer sind weitere Angaben zu vervollständigen:

- Mittlere Höhe der Verbindung über Fußboden im aktuellen Raum in m
- Endpunkt der Verbindung

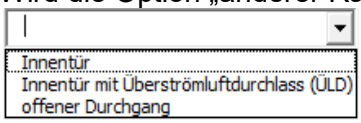


Anmerkung: Die Auswahlmöglichkeit eines Ventilators ist nur möglich bei Vorhandensein eines zentralen Gerätes mit Gerätekennlinien.

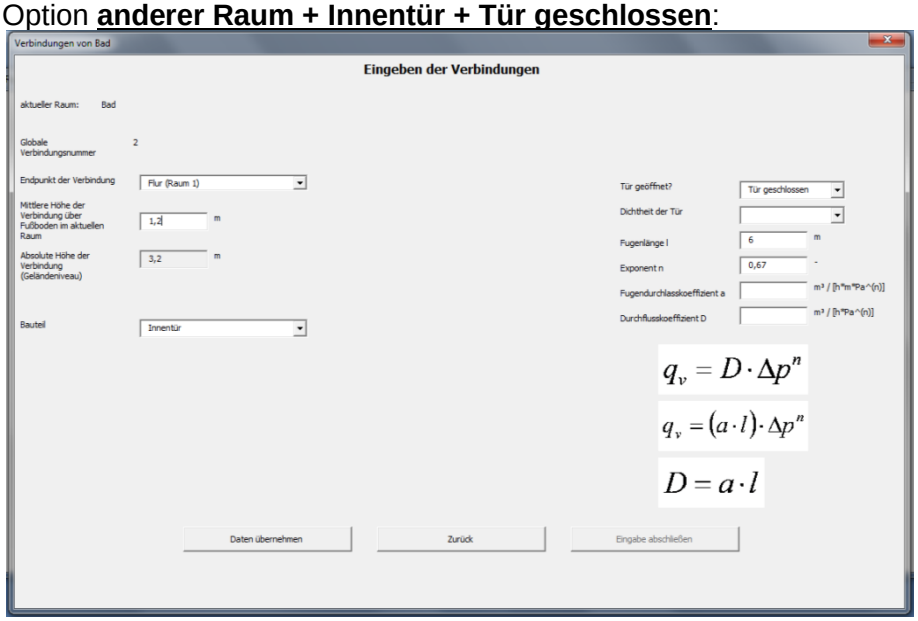
Option **anderer Raum**:



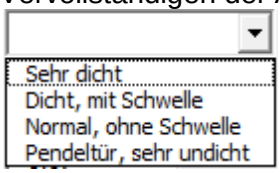
Wird die Option „anderer Raum“ gewählt, sind Angaben zum Bauteil vorzunehmen:



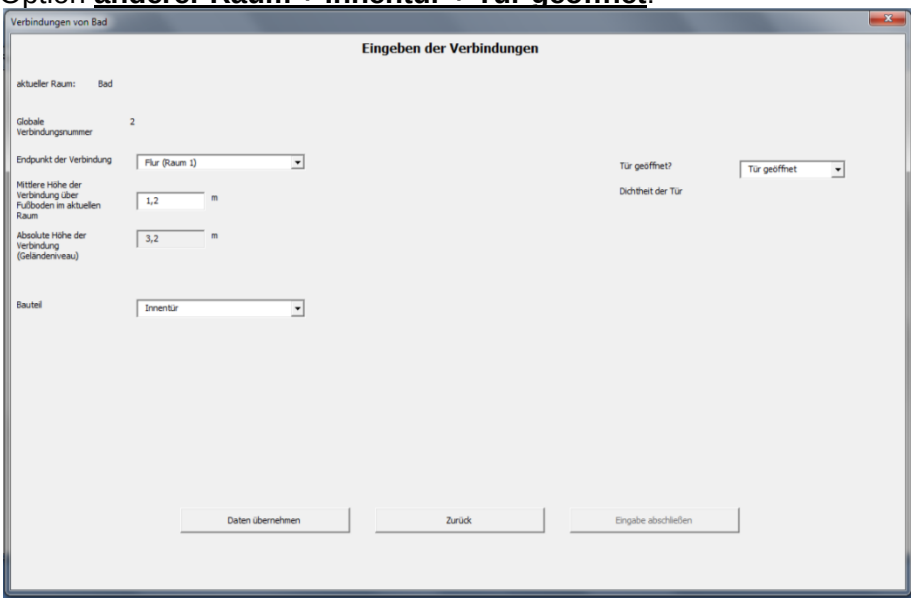
Option **anderer Raum + Innentür + Tür geschlossen**:



Vervollständigen der Angabe zur Dichtheit der Tür ist erforderlich:

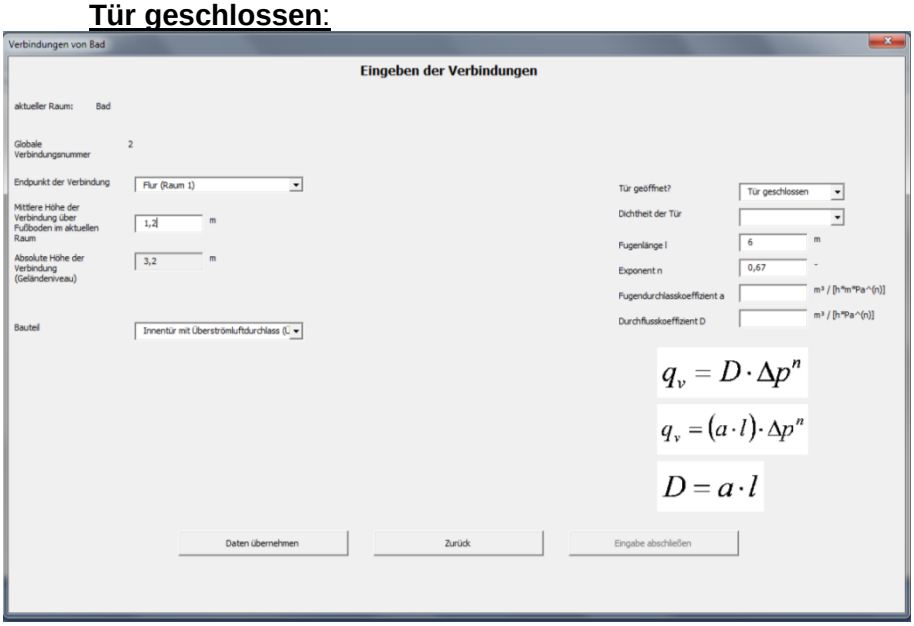


Option **<u>anderer Raum + Innentür + Tür geöffnet</u>**:

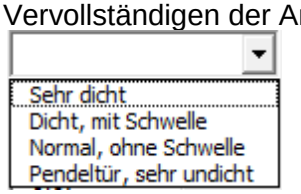


Keine weiteren Angaben sind notwendig.

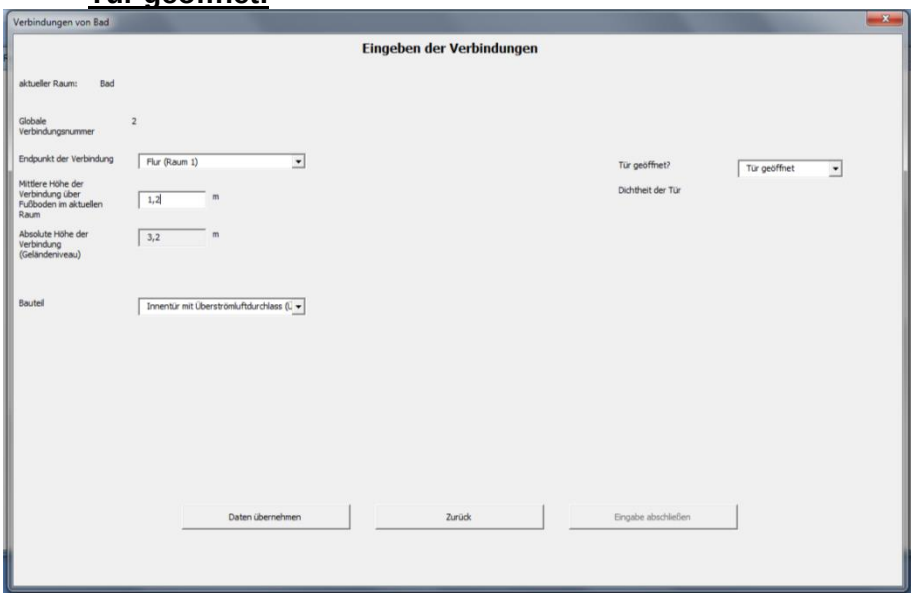
Option **<u>anderer Raum + Innentür mit Überströmluftdurchlass (ÜLD) + Tür geschlossen</u>**:



Vervollständigen der Angabe zur Dichtheit der Tür ist erforderlich:

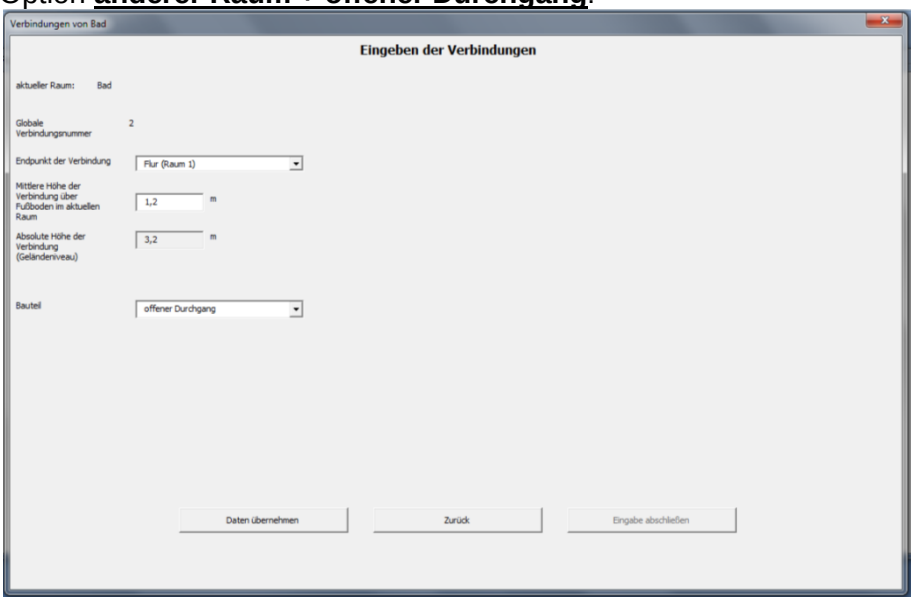


Option **anderer Raum + Innentür mit Überströmluftdurchlass (ÜLD) + Tür geöffnet:**



Keine weiteren Angaben sind notwendig.

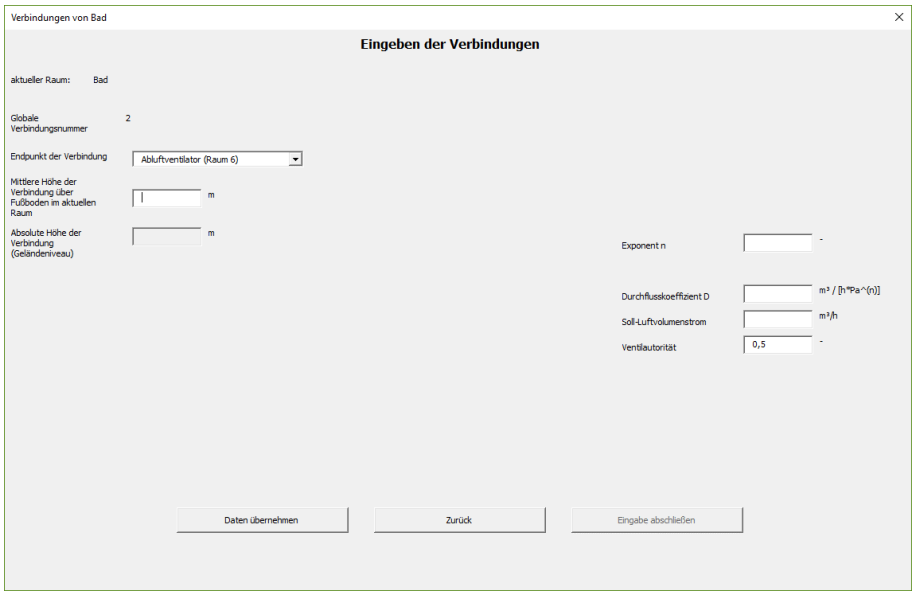
Option **anderer Raum + offener Durchgang**:



Keine weiteren Angaben sind notwendig.

Räume mit nur einer Verbindung, wie beispielsweise Abstellräume mit einer Tür und keinem Fenster werden aus dem Algorithmus ausgeschlossen. Im stationären Fall bildet sich bei einer solchen Konfiguration auch nur ein sehr kleiner Luftvolumenstrom entlang der Fugen der Tür aus, bedingt durch den thermischen Auftrieb zwischen unterer und oberer Fuge der Tür. Sollen diese Räume trotzdem mit berücksichtigt werden, kann die Tür in zwei oder mehr Verbindungen aufgeteilt und den Verbindungen verschiedene Höhen zugewiesen werden. Die somit entstehenden Volumenströme sind wie bereits beschrieben extrem gering, außerdem liegt eine Kurzschlussströmung um die Tür vor. Der somit berechnete Luftwechsel repräsentiert also keinesfalls den lokalen Luftwechsel im Raum.

Option **Ventilator**:
Anmerkung: Nur möglich bei Vorhandensein eines zentralen Gerätes mit Gerätekennlinien.

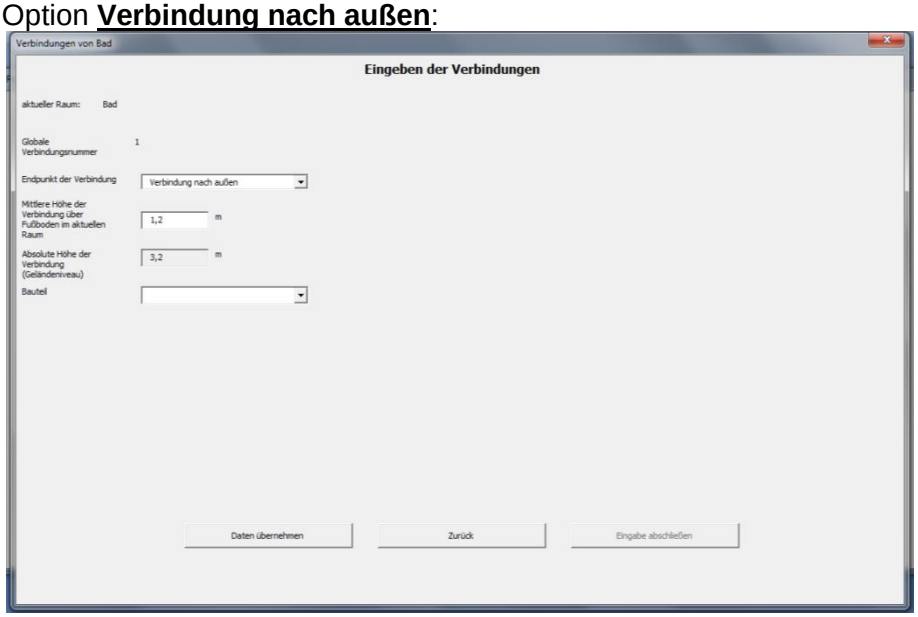


Es werden zusätzliche Angaben zu:

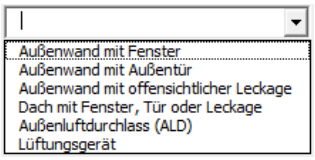
- Exponent n,
- Durchflusskoeffizienten D,
- Soll-Luftvolumenstrom,
- Ventilautorität (Standardwert 0,5)

benötigt.

Option **Verbindung nach außen**:

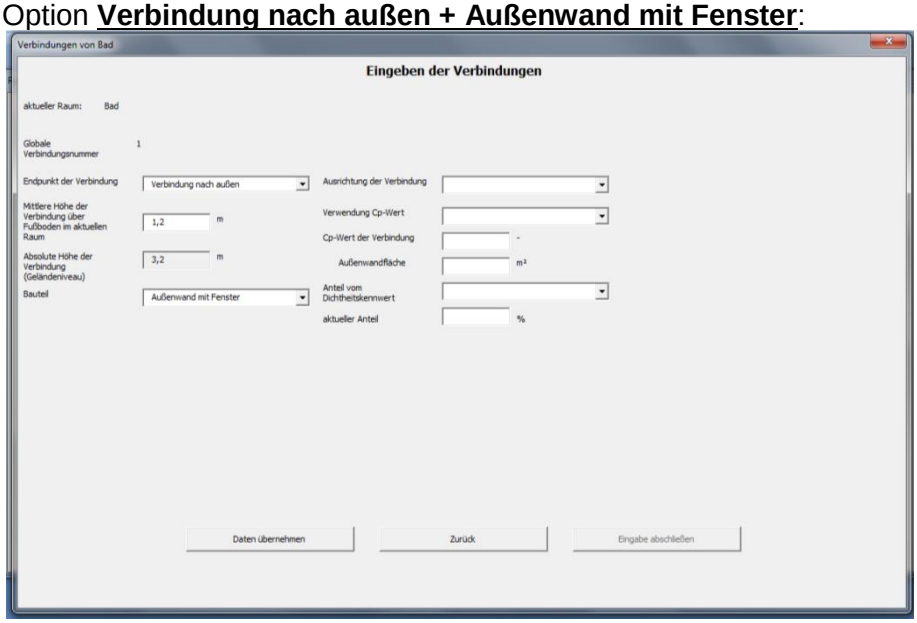


Wird die Option „Verbindung nach außen“ gewählt, sind Angaben zum Bauteil vorzunehmen:



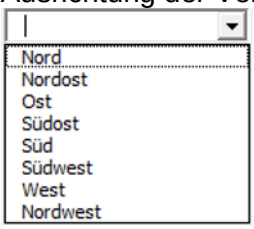
Anmerkung: Die Auswahlmöglichkeit eines Lüftungsgerätes ist nur möglich bei Vorhandensein von raumweisen Lüftungsgeräten.

Option **Verbindung nach außen + Außenwand mit Fenster**:

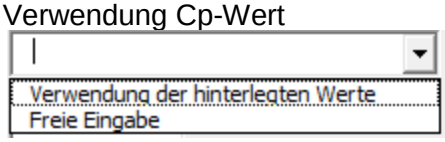


Vervollständigen der Angaben zu folgenden Größen ist erforderlich:

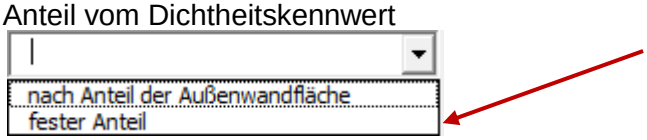
- Ausrichtung der Verbindung



- Verwendung Cp-Wert

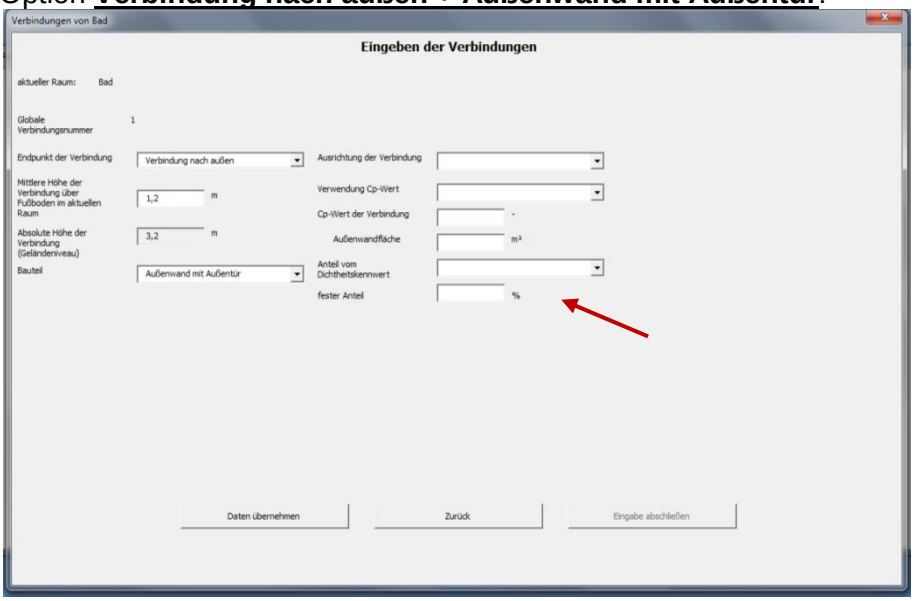


- Cp-Wert der Verbindung
- Außenwandfläche in m²
- Anteil vom Dichtheitskennwert



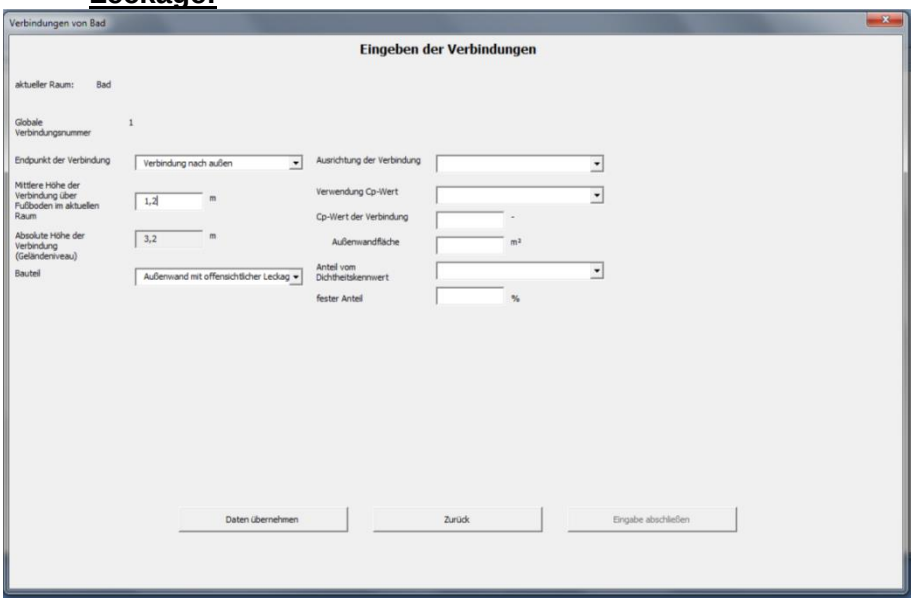
  Sind die Dichtheitskennwerte aller Verbindungen nach Anteil der Außenwandfläche ermittelt worden, kann durch erneutes Aufrufen der Eingabemasken „Eingeben der Verbindungen“ hier der Anteil manuell bspw. verkleinert werden (Anteil der Undichtheit der Dachfläche steigt).
- Aktueller/fester Anteil

Option **Verbindung nach außen + Außenwand mit Außentür**:



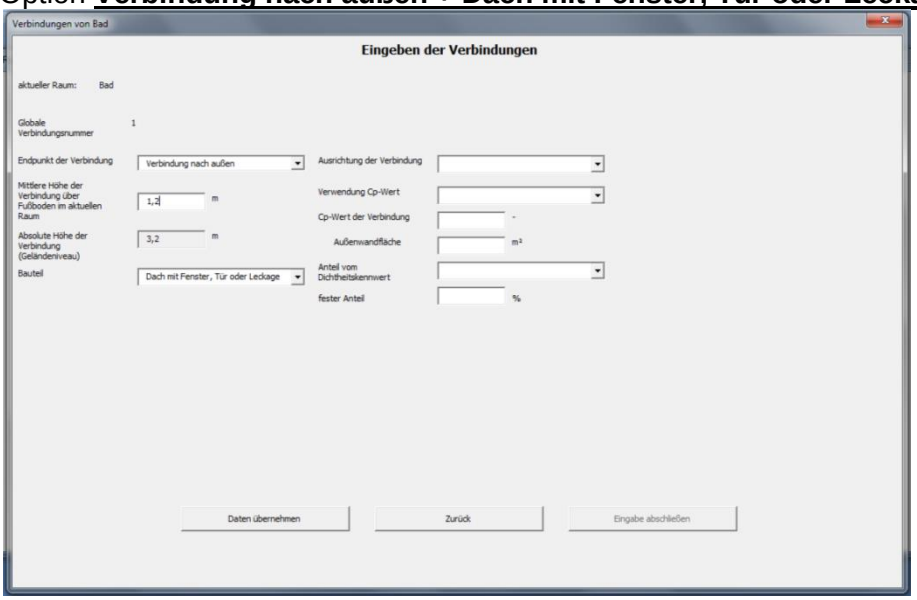
Vervollständigung der Angaben erforderlich, siehe Option Verbindung nach außen + Außenwand mit Fenster.

Option **Verbindung nach außen + Außenwand mit offensichtlicher Leckage:**



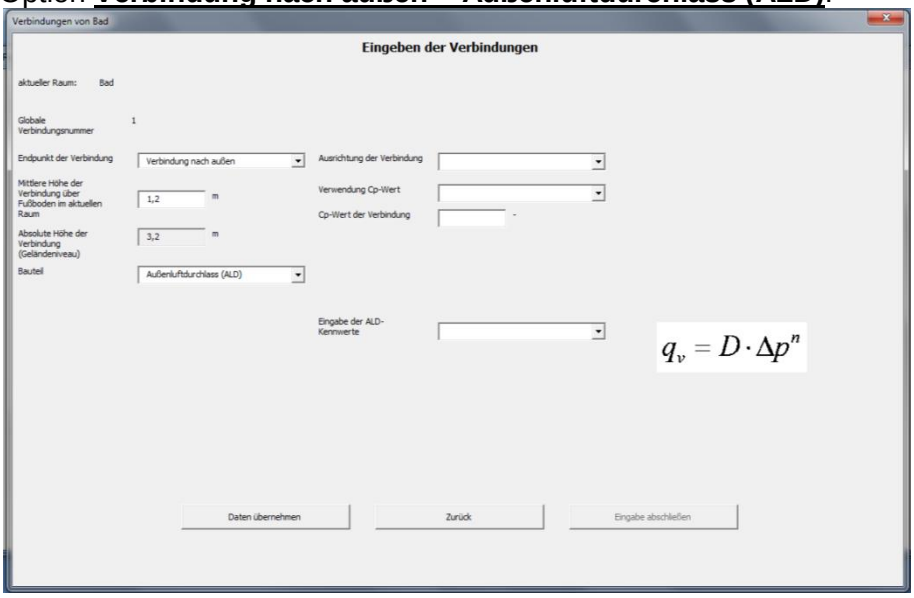
Vervollständigung der Angaben erforderlich, siehe Option Verbindung nach außen + Außenwand mit Fenster.

Option **Verbindung nach außen + Dach mit Fenster, Tür oder Leckage**:



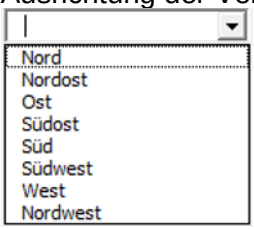
Vervollständigung der Angaben erforderlich, siehe Option Verbindung nach außen + Außenwand mit Fenster.

Option **Verbindung nach außen + Außenluftdurchlass (ALD)**:

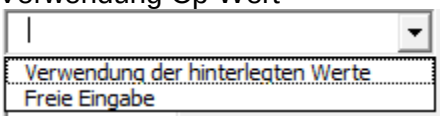


Vervollständigen der Angaben zu folgenden Größen ist erforderlich:

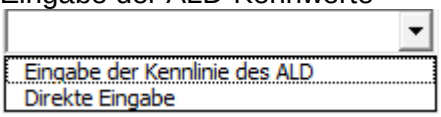
- Ausrichtung der Verbindung



- Verwendung Cp-Wert

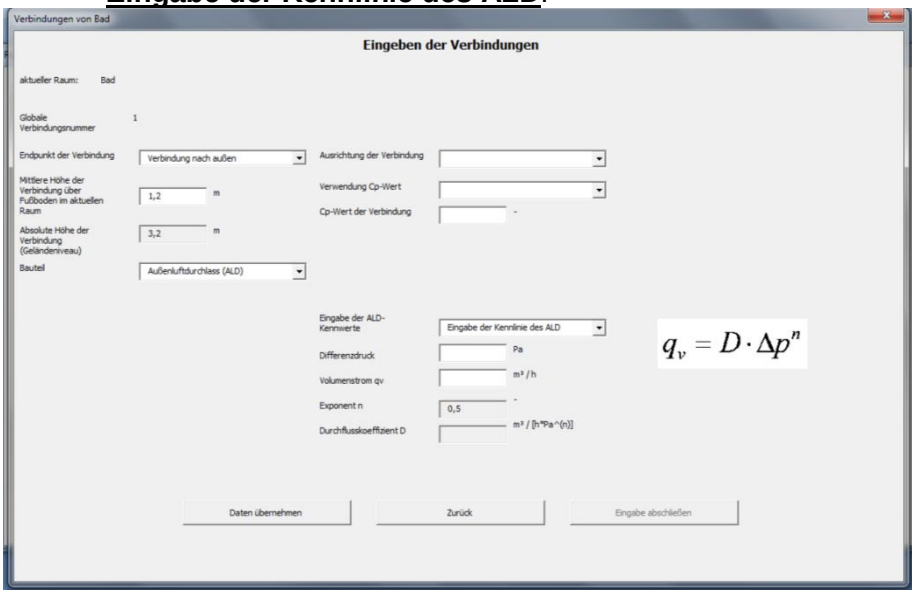


- Cp-Wert der Verbindung
- Eingabe der ALD-Kennwerte



Die Eingabe der ALD-Kennwerte kann durch den Durchflusskoeffizient und der Exponent des ALD wahlweise durch den Nutzer von Hand, oder durch die Angabe eines Punktes der Kennlinie des ALD erfolgen.

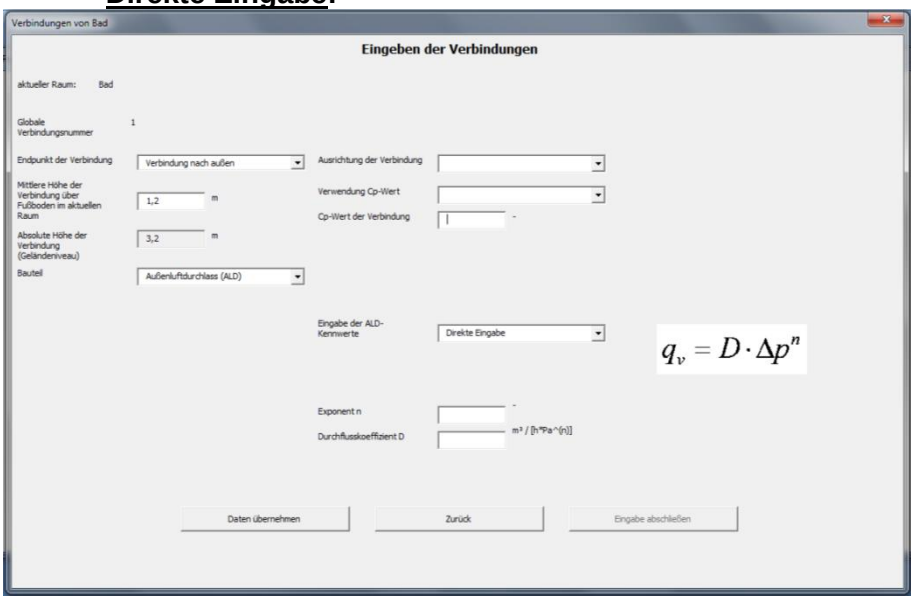
Option **<u>Verbindung nach außen + Außenluftdurchlass (ALD) + Eingabe der Kennlinie des ALD</u>**:



Erforderliche Angaben sind zu folgenden Größen notwendig:

- Differenzdruck in Pa
- Volumenstrom q_v in m³/h

Option **<u>Verbindung nach außen + Außenluftdurchlass (ALD) + Direkte Eingabe</u>:**



Erforderliche Angaben sind zu folgenden Größen notwendig:

- Exponent n
- Durchflusskoeffizient D in $\frac{m^3}{h \cdot Pa^n}$

Sind alle benötigten Eingaben erfolgt, werden durch Anklicken des Buttons „Daten übernehmen“ alle Eingaben gespeichert und für die Berechnung zur Verfügung gestellt, siehe Abbildung 19 und Abbildung 20.

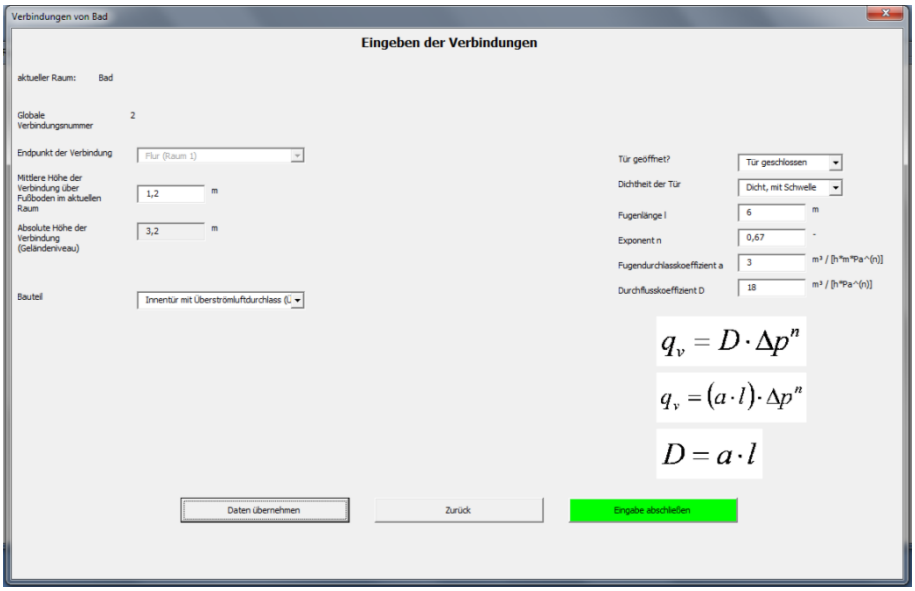


Abbildung 19: Eingabemaske "Eingeben der Verbindungen" nach Übernahme der Daten für eine Verbindung zu einem anderen Raum

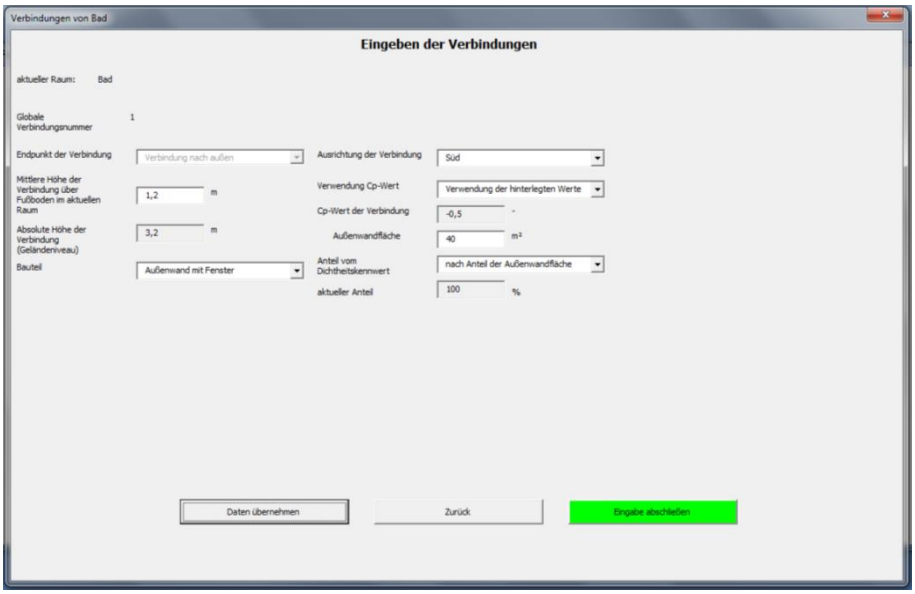
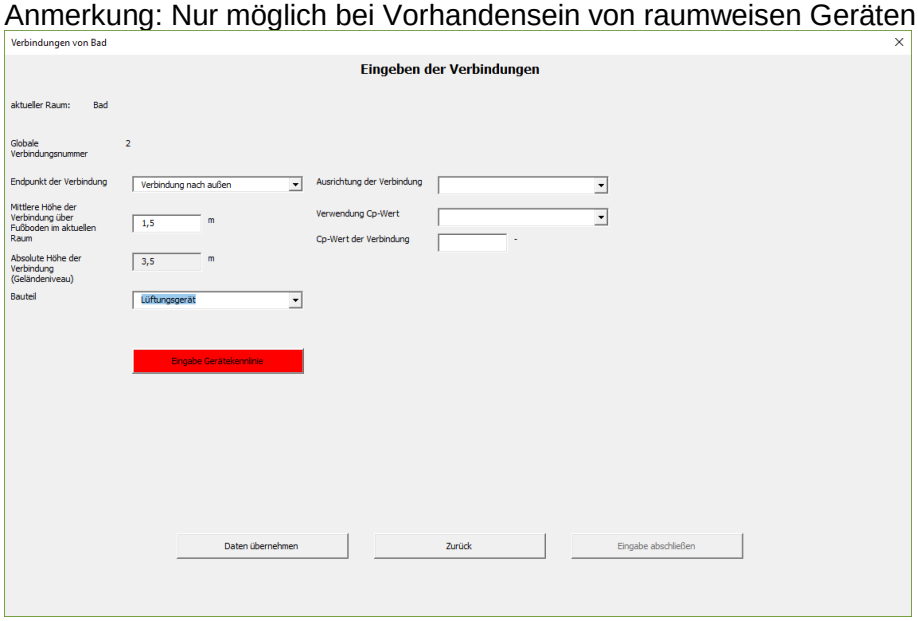
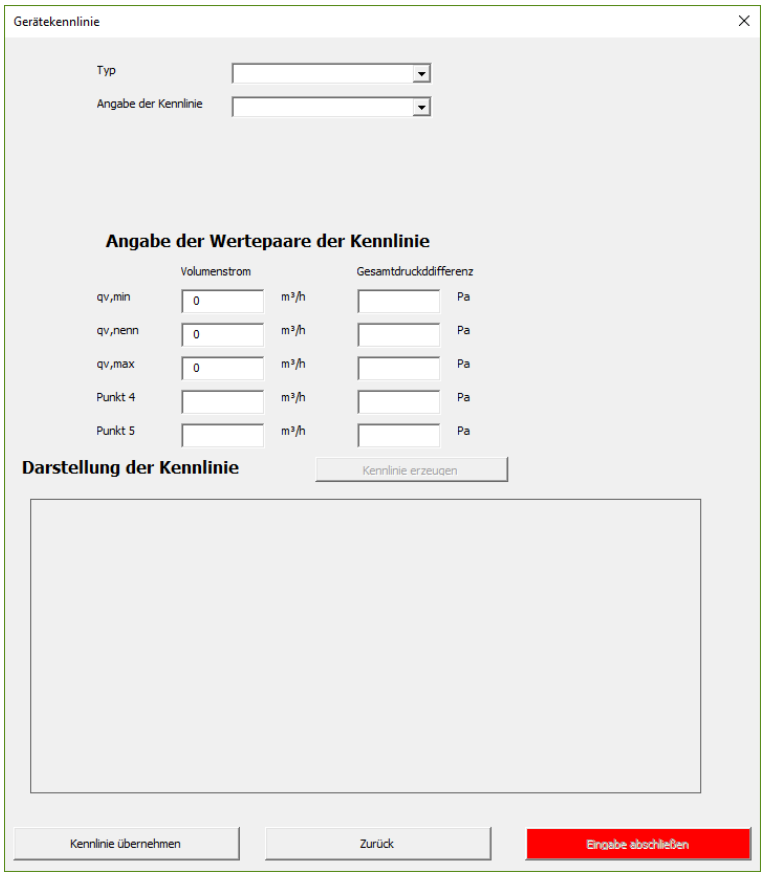


Abbildung 20: Eingabemaske "Eingeben der Verbindungen" nach Übernahme der Daten für eine Verbindung nach außen

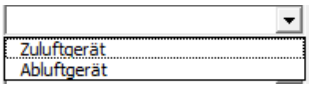
Option **<u>Lüftungsgerät</u>**:
Anmerkung: Nur möglich bei Vorhandensein von raumweisen Geräten.



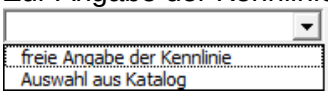
Die Eingabe der Kennlinie für raumweise Geräte erfolgt bei der Angabe der Verbindungen.



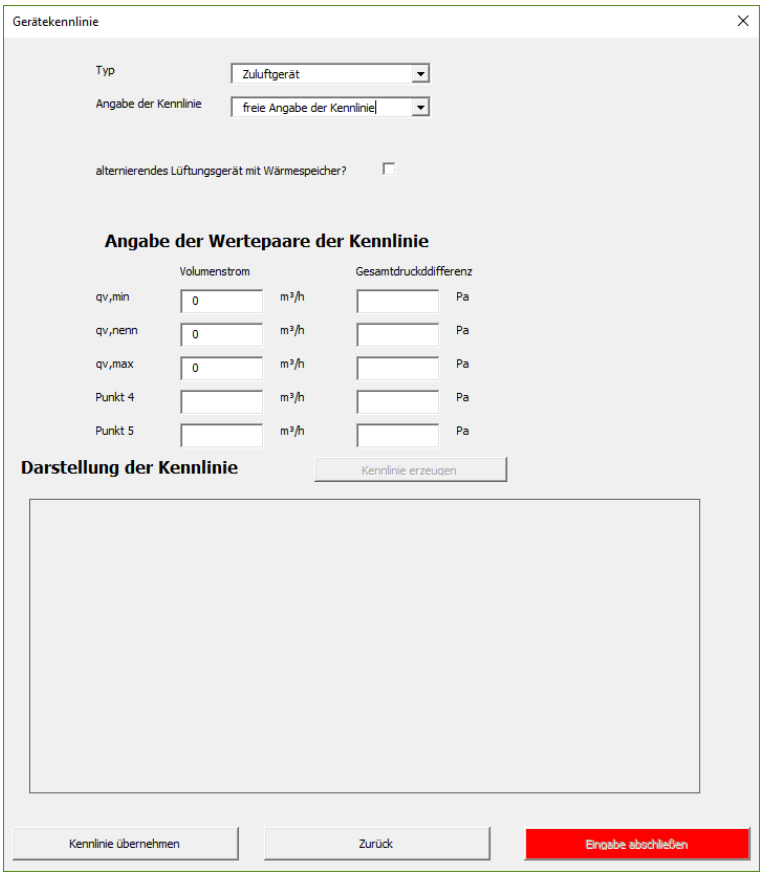
Der Gerätetyp ist zu definieren:



Zur Angabe der Kennlinie, sind weitere Angaben nötig:

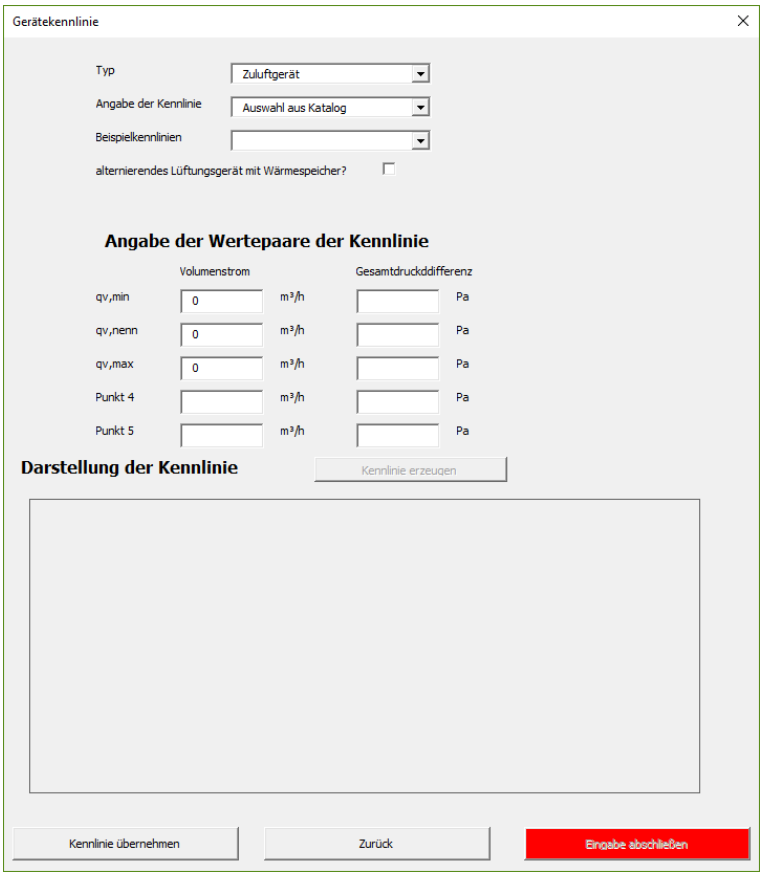


Option **freie Angabe der Kennlinie**

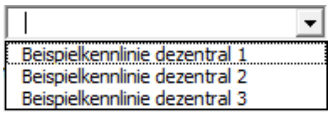


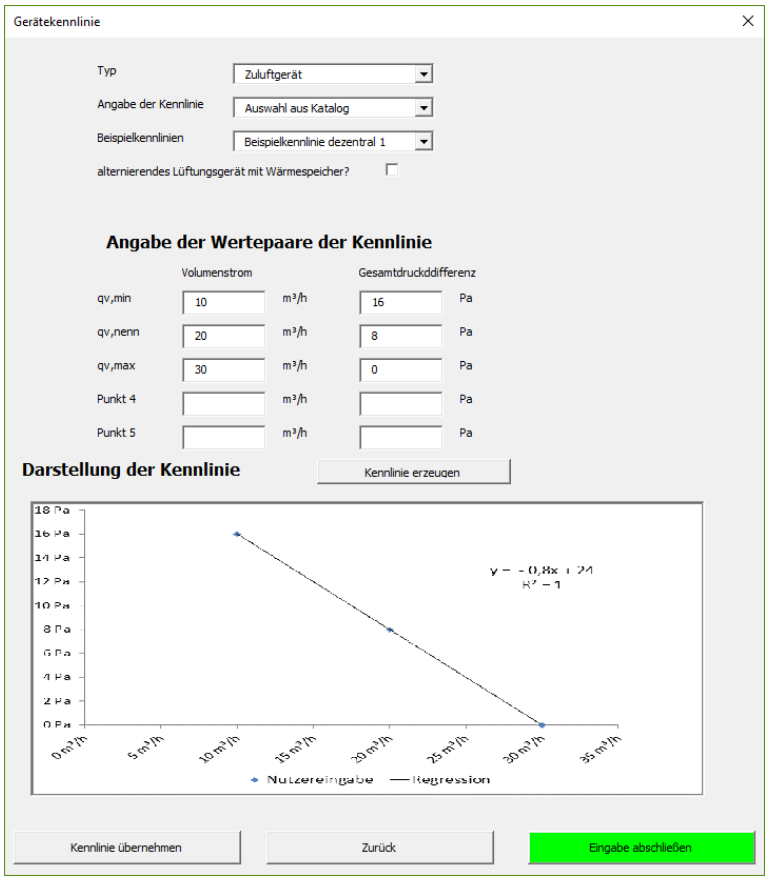
Für „Freie Angabe der Kennlinie“ sind für die Ermittlung der Kennlinie des Zuluftgeräts mindestens 3 Volumenströme und die dazugehörige Gesamtdruckdifferenz notwendig (minimaler Luftvolumenstrom, Nennluftvolumenstrom und maximaler Luftvolumenstrom). Die Angaben zu zwei weiteren Wertepaaren ist optional.

Option **Auswahl aus Katalog**:

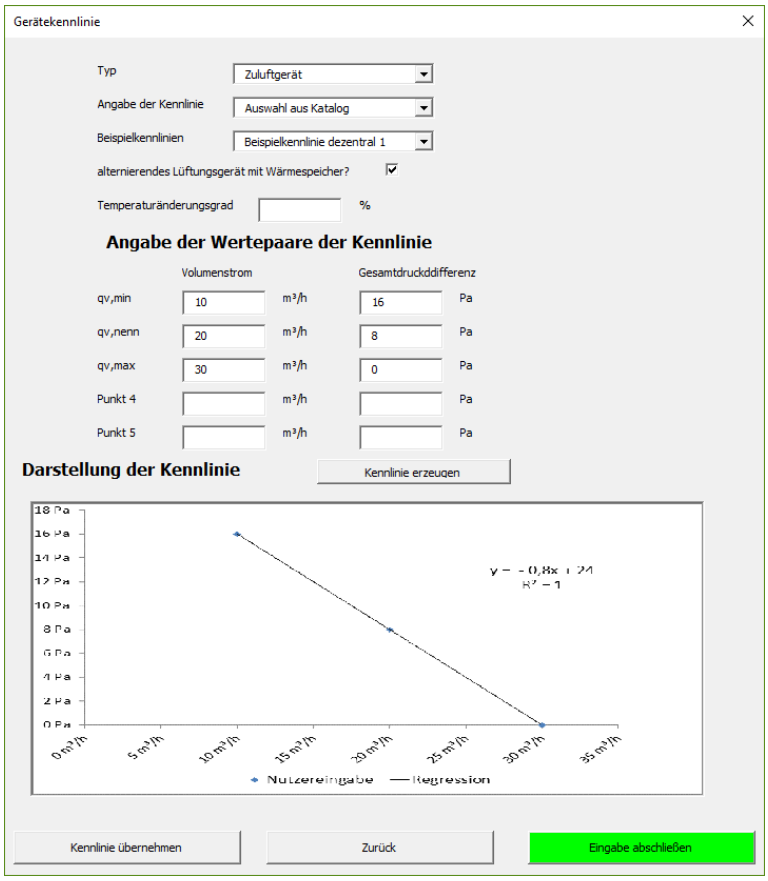


Auswahl aus Katalog:





Liegt ein alternierendes Lüftungsgerät mit Wärmespeicher vor, kann dieses ausgewählt werden und der Temperaturänderungsgrad angegeben werden.



Mit dem Button „Eingabe abschließen“ wird die aktuelle Eingabemaske geschlossen.

Mit dem Button „Eingabe abschließen“ wird die aktuelle Eingabemaske zu den Verbindungen geschlossen und das Fenster „Raumdaten eingeben“ erscheint, von dem aus die restlichen Verbindungen eingegeben werden können. Sind alle Angaben in den Eingabemasken „Eingeben der Verbindungen“ vollständig erscheinen diese Buttons grün, siehe . Sind alle benötigten Eingaben in den Eingabemasken „Eingeben der Verbindungen“ erfolgt, werden durch Anklicken des Buttons „Daten übernehmen“ alle Eingaben gespeichert und für die Berechnung zur Verfügung gestellt, siehe Abbildung 21. Erläuterungen zur Farbampel sind Abbildung 2 zu entnehmen.

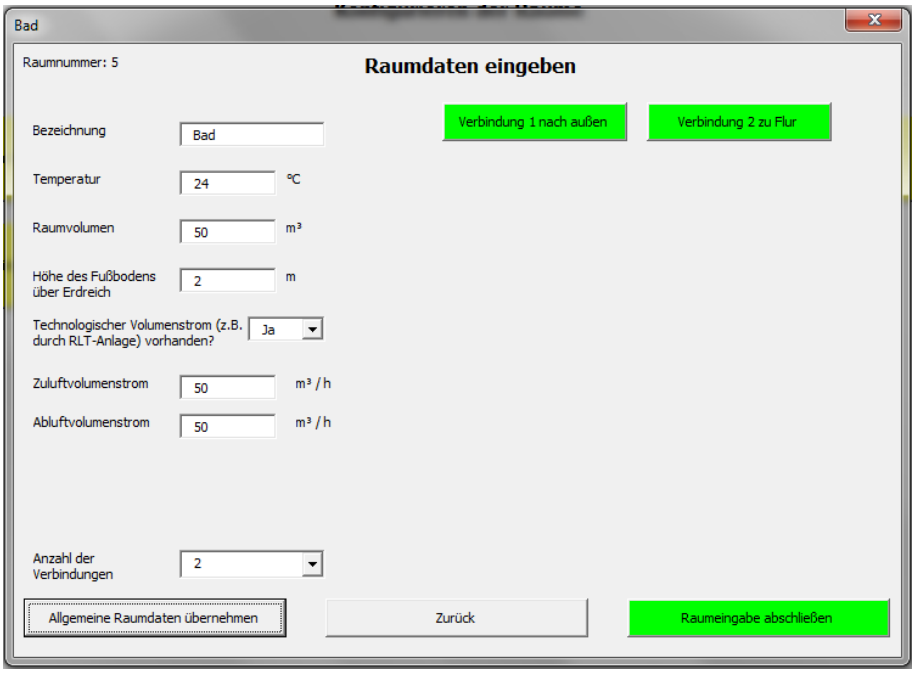


Abbildung 21: Eingabemaske "Raumdaten eingeben" nach vollständiger Eingabe der Angaben in den Eingabemasken „Eingeben der Verbindungen“ und Übernahme der allgemeinen Raumdaten

Abbildung 22: Eingabemaske "Konfigurieren der Räume" vor erfolgreichem Abschluss aller Raumkonfigurationen

Mit dem Button „Raumeingabe abschließen“ gelangt man wieder zur Eingabemaske „Konfigurieren von Räumen“ (siehe Abbildung 22), von der aus die restlichen Räume konfiguriert werden bis die Konfiguration aller Räume abgeschlossen ist, siehe Abbildung 23.

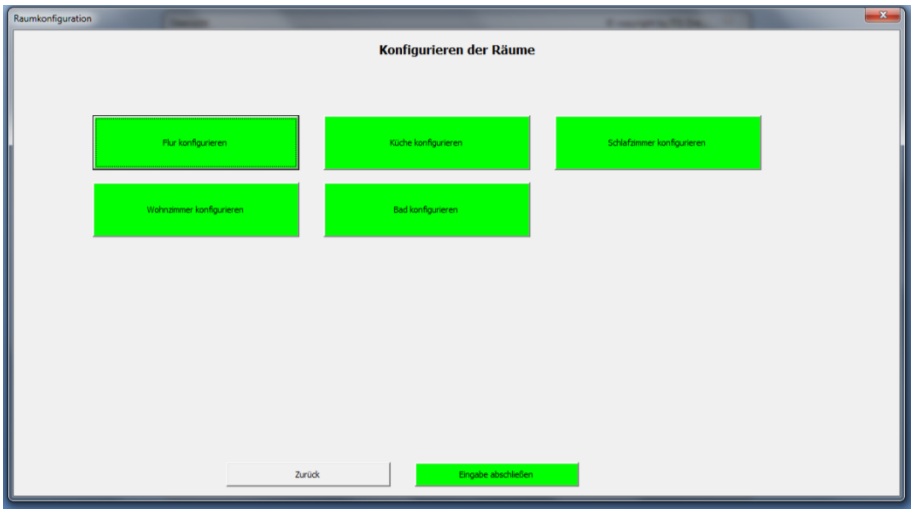


Abbildung 23: Eingabemaske "Konfigurieren der Räume" nach erfolgreichem Abschluss aller Raumkonfigurationen

Mit dem Button „Eingabe abschließen“ gelangt man zur Eingabemaske „Übersicht“, siehe Abbildung 24.

Abbildung 24: Eingabemaske "Übersicht" nach Eingabe aller benötigten Angaben für die Berechnung der Volumenströme

Wird der Button „Berechnen der Volumenströme“ aktiviert, wird die Berechnung gestartet.

Es erscheint ein Hinweisfeld (siehe Abbildung 25) mit der Information, dass die automatische Optimierung der Rechengenauigkeit aktiviert ist und dies zu einer erhöhten Rechenzeit führen kann. Der Fortschritt der Berechnung kann diskontinuierlich in der Statuszeile von Excel verfolgt werden. Wird eine Berechnungszeit von 15 Minuten überschritten, dann stoppt der Algorithmus und der Nutzer erhält ebenfalls ein Hinweisfeld, siehe Abbildung 26.

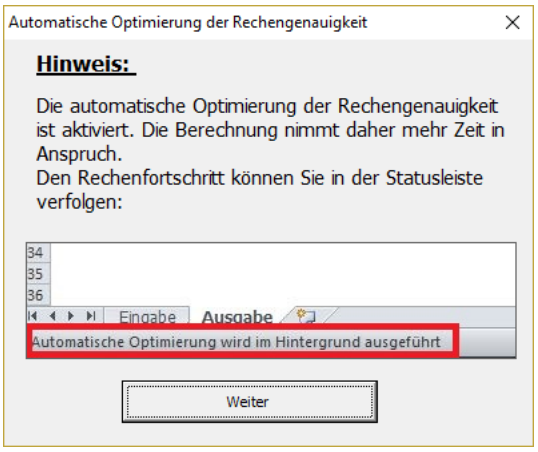


Abbildung 25: Hinweisfeld zur automatischen Optimierung der Rechengenauigkeit

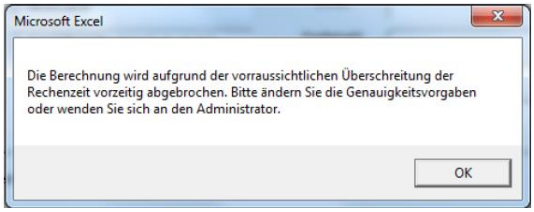


Abbildung 26: Hinweisfeld zum Abbruch des Algorithmus durch Zeitüberschreitung

Die Ergebnisse werden im Anschluss im Tabellenblatt „Ausgabe“ tabellarisch angezeigt, siehe Abbildung 27.

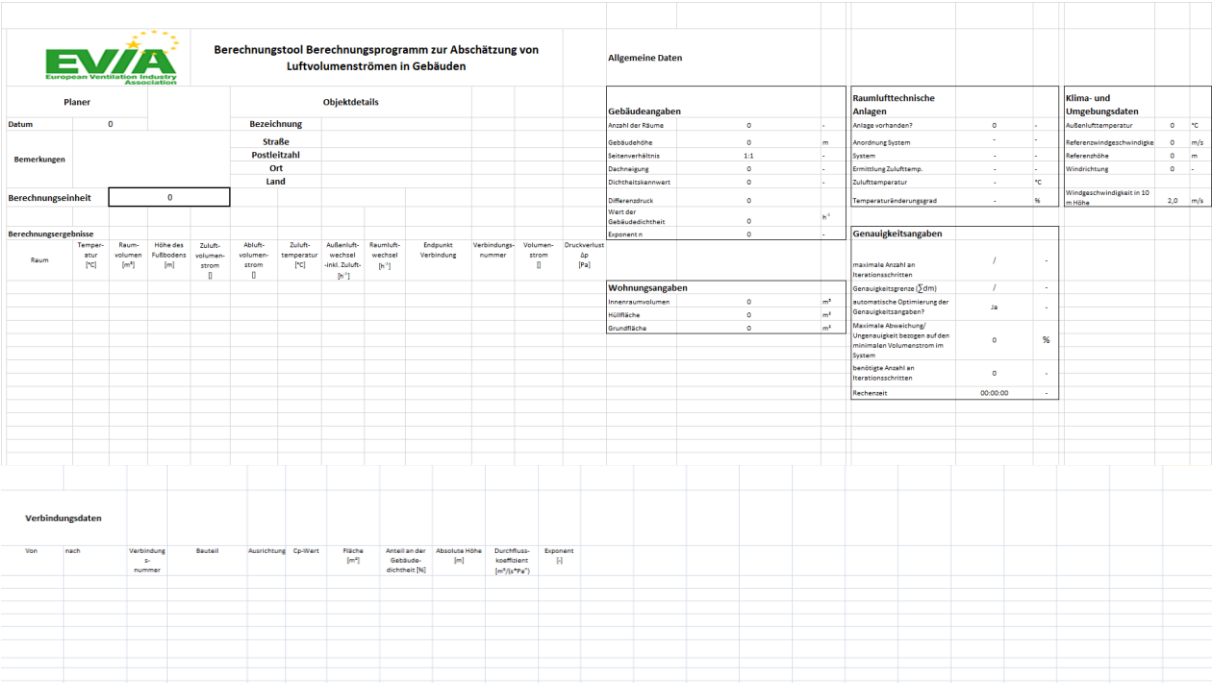


Abbildung 27: Ausgabe der Ergebnisse in Tabellenform

3 Änderungen der Eingaben/Variantenrechnungen

Das Tool ermöglicht dem Nutzer Variantenrechnungen einfach durchzuführen, indem die Randbedingungen (wie Windrichtung, Dichtheit der Gebäudehülle, Lüftungssysteme, usw.) in den entsprechenden Eingabemasken geändert werden, übernommen und die Eingabe abgeschlossen wird.

Sollen Eingaben verworfen oder Eingaben einer vorherigen Ebene geändert werden, kann dies über den Button „Zurück“ erfolgen, siehe Abbildung 28.

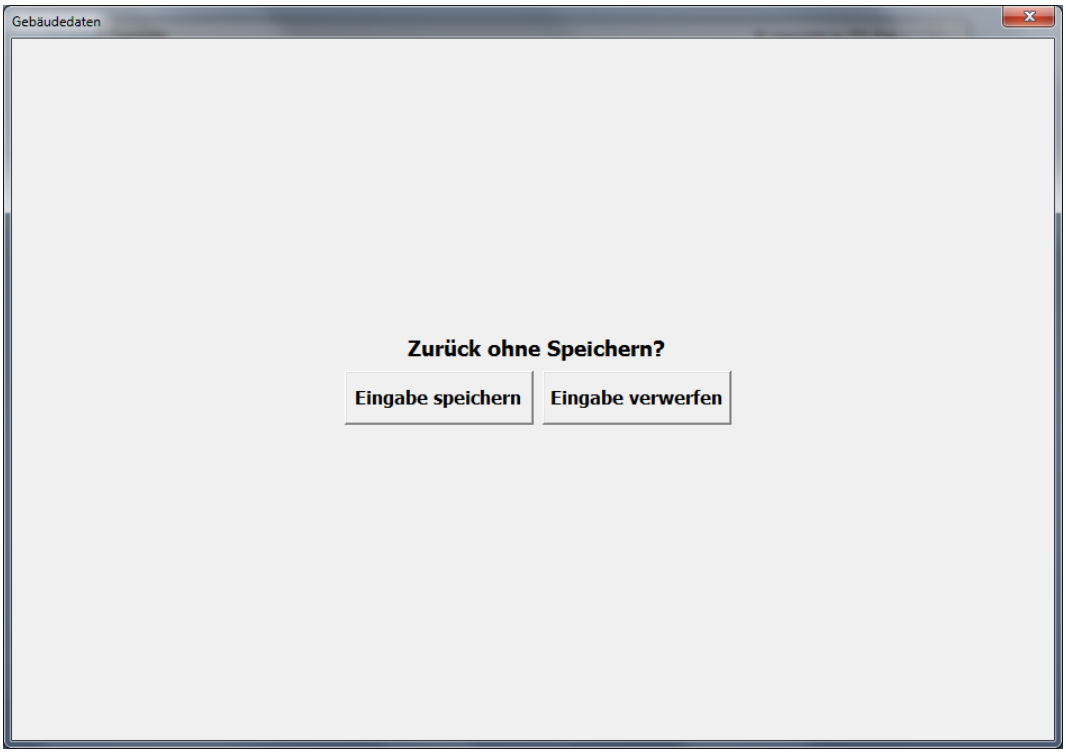


Abbildung 28: Abfrage-Fenster "Zurück ohne Speichern?"

Das Ändern der Raumanzahl (Einfügen zusätzlicher Räume oder Reduzierung der Räume), kann in der Eingabemaske „ Allgemeine Angaben zum Gebäude“ nur durchgeführt werden, solange noch keine Eingabe der ersten Verbindung erfolgt ist. Nach Eingabe der ersten Verbindung ist die Änderung der Raumanzahl nicht mehr möglich und ein neues Projekt muss angelegt werden, Abbildung 29.

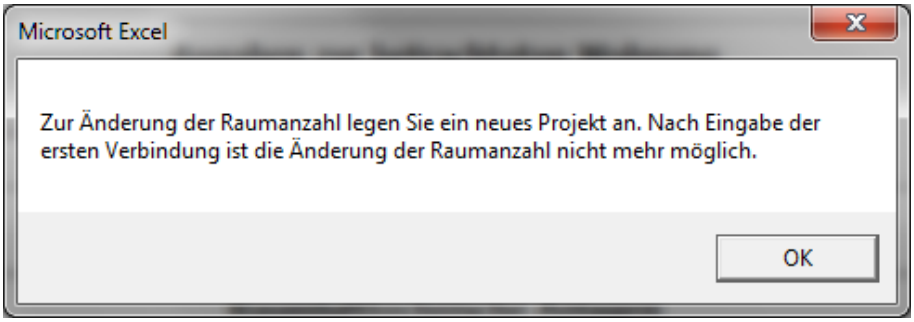


Abbildung 29: Hinweis-Fenster zum nachträglichen Ändern der Raumanzahl

Ist die Wahl zur Anordnung der Lüftungssystems (zentrales Gerät (feste Volumenströme), zentrales Gerät (mit Gerätekennlinien), raumweise Geräte) getroffen, kann diese nicht wieder innerhalb des Projektes geändert werden. Soll die Wahl der Anordnung des Lüftungssystems geändert werden, muss ein neues Projekt angelegt werden.

Änderungen der Verbindungen einzelner Räume wie Orientierung, Bauteiltyp oder Erhöhung der Anzahl können problemlos in den entsprechenden Fenstern „Raumdaten eingeben“ erfolgen, siehe Abbildung 30 und Abbildung 31. Um die Anzahl der Verbindungen allerdings wieder zu reduzieren, muss ein neues Projekt angelegt werden oder auf eine entsprechend gespeicherte Version zurück gegriffen werden.

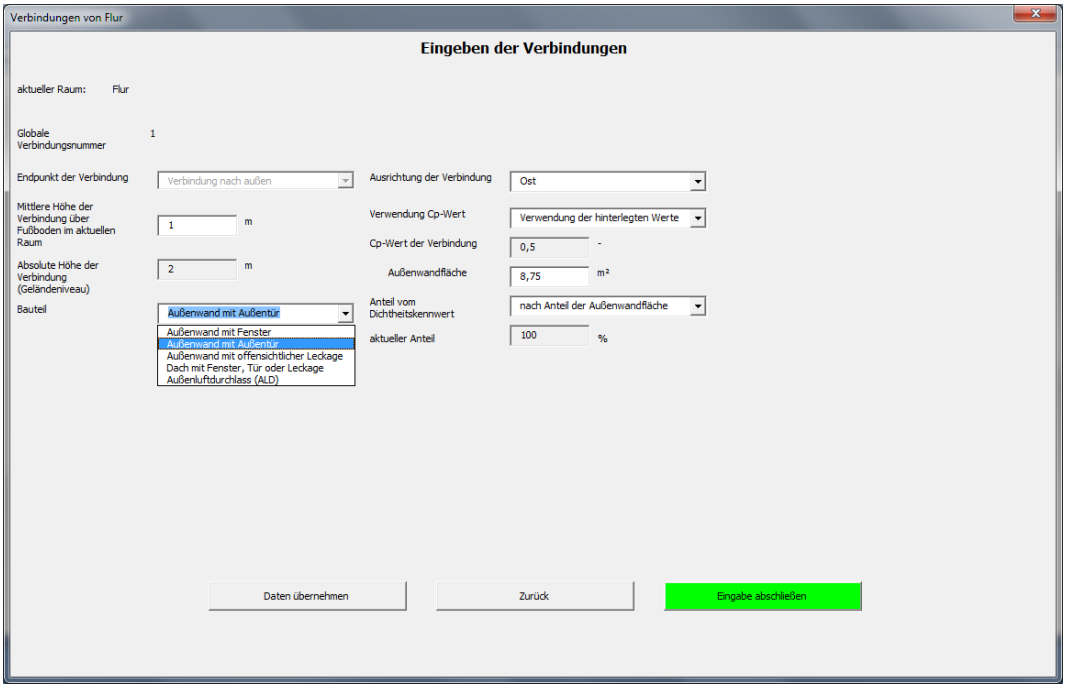


Abbildung 30: Eingabemaske "Eingeben der Verbindungen" zum Ändern von Orientierung, Bauteiltyp

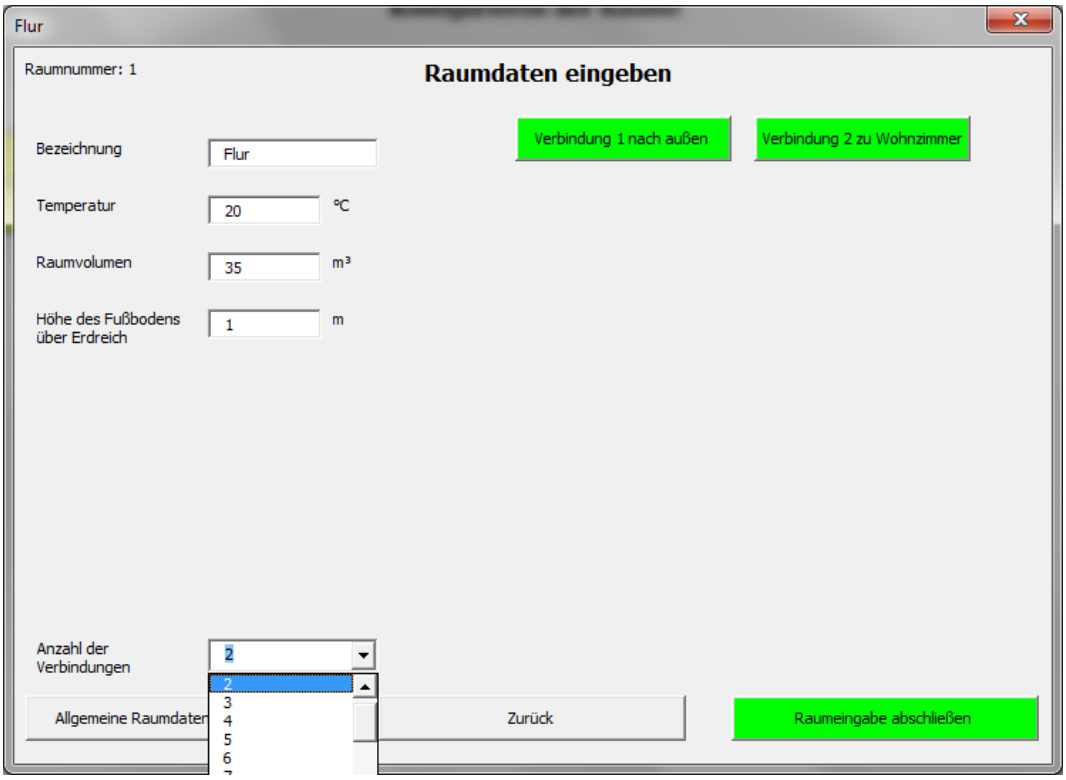


Abbildung 31: Eingabemaske "Raumdaten eingeben" zum Ändern der Anzahl der Verbindungen

4 Berechnungsbeispiele

Beispiel 1: Wohnung im Mehrfamilienhaus

Im Beispiel 1 wird die Berechnung der Luftvolumenströme durch In- und Exfiltration an einer Wohnung im Mehrfamilienhaus durchgeführt. Abbildung 32 zeigt den Grundriss der Wohnung. Die Ziffern in den Kästchen (grün) verdeutlichen die Verbindungen.

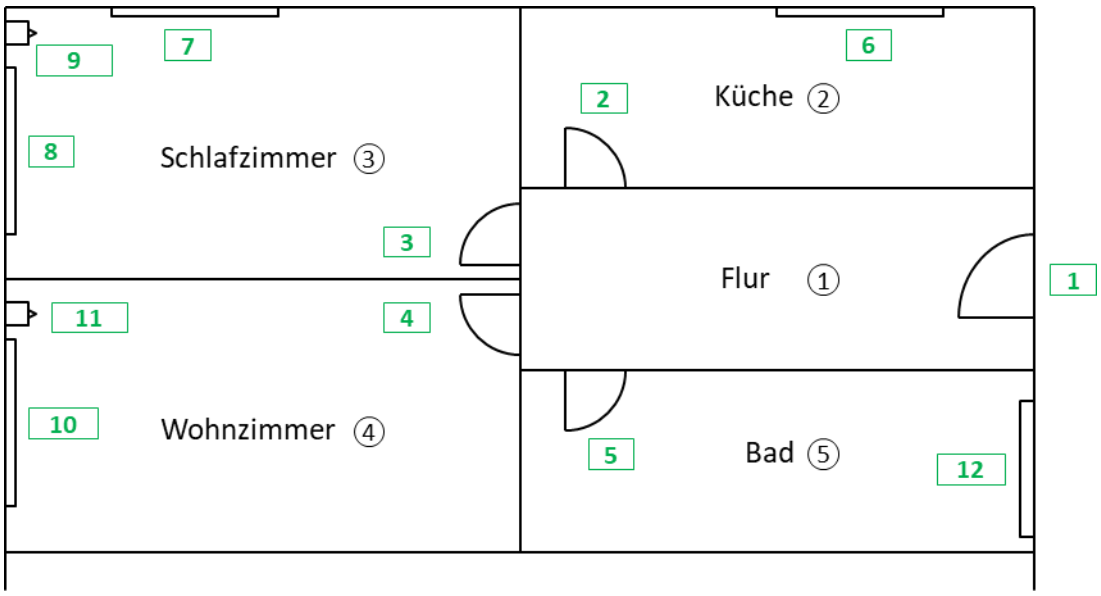


Abbildung 32: Grundriss der betrachteten Beispielwohnung

Abbildung 33 bis Abbildung 35 zeigen die Randbedingungen der Wohnung bezüglich allgemeiner Gebäudedaten (Schritt 3: Allgemeine Angaben zum Gebäude), Klimadaten (Schritt 4: Klimadaten) und Umgebungsdaten (Schritt 5: Angaben zur Gebäudeumgebung).

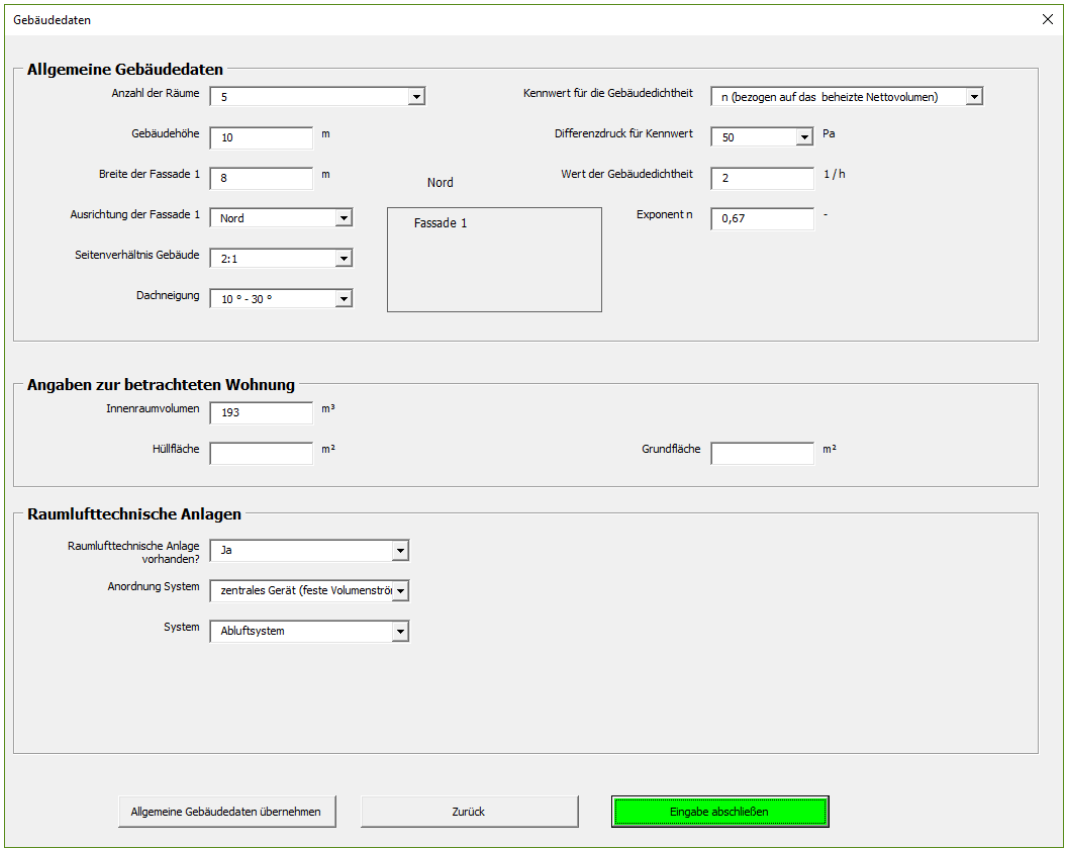


Abbildung 33: Allgemeine Angaben zur betrachteten Wohnung

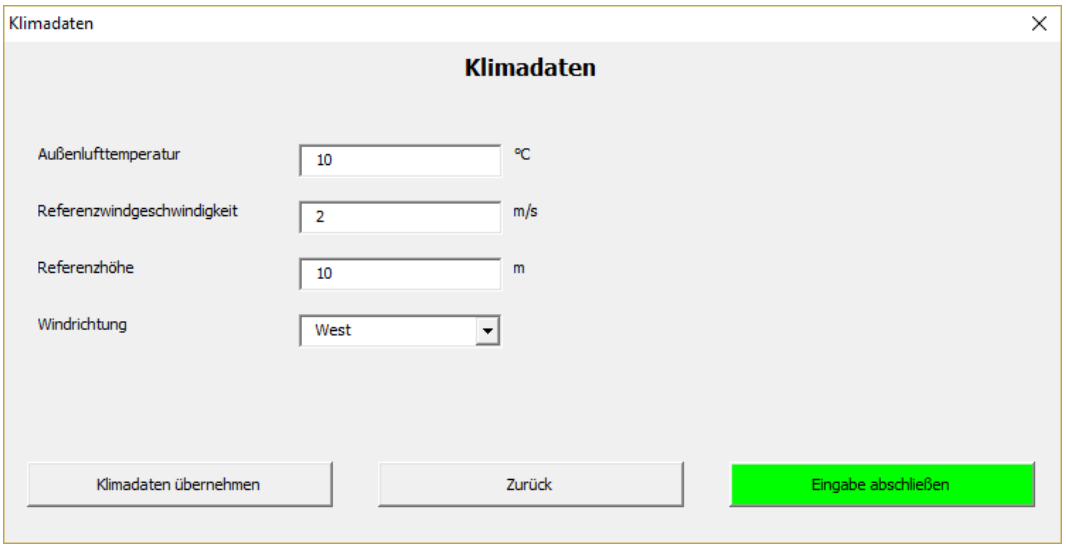


Abbildung 34: Klimadaten zur betrachteten Wohnung

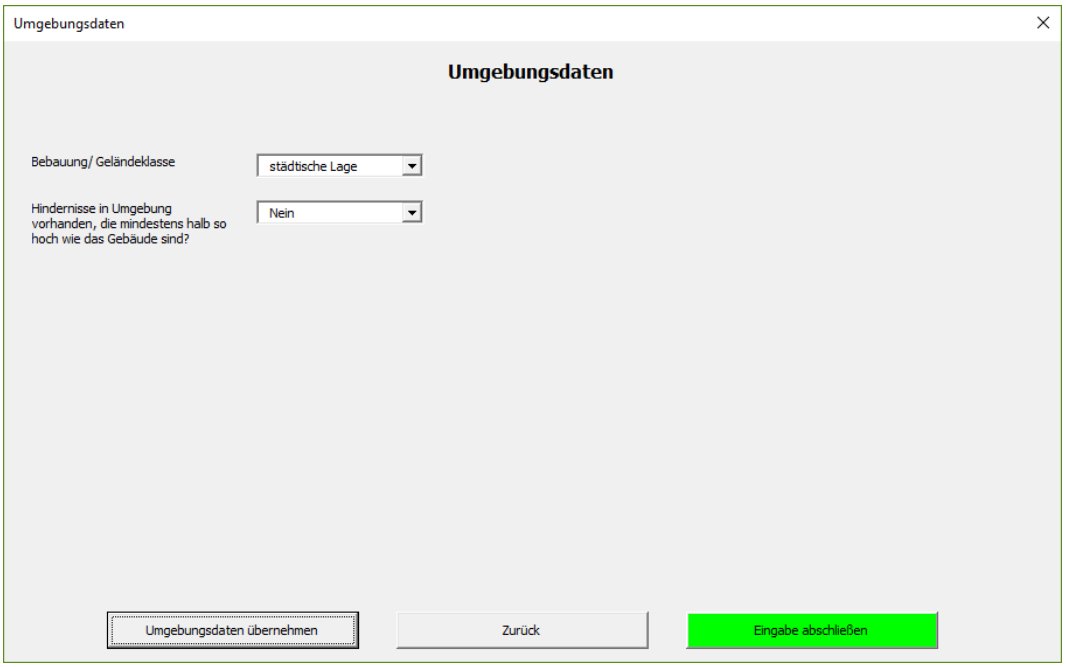


Abbildung 35: Umgebungsdaten zur betrachteten Wohnung

In Abbildung 36 bis Abbildung 38 sind die Angaben zum Raum und zu den Verbindungen beispielhaft für die Küche dargestellt.

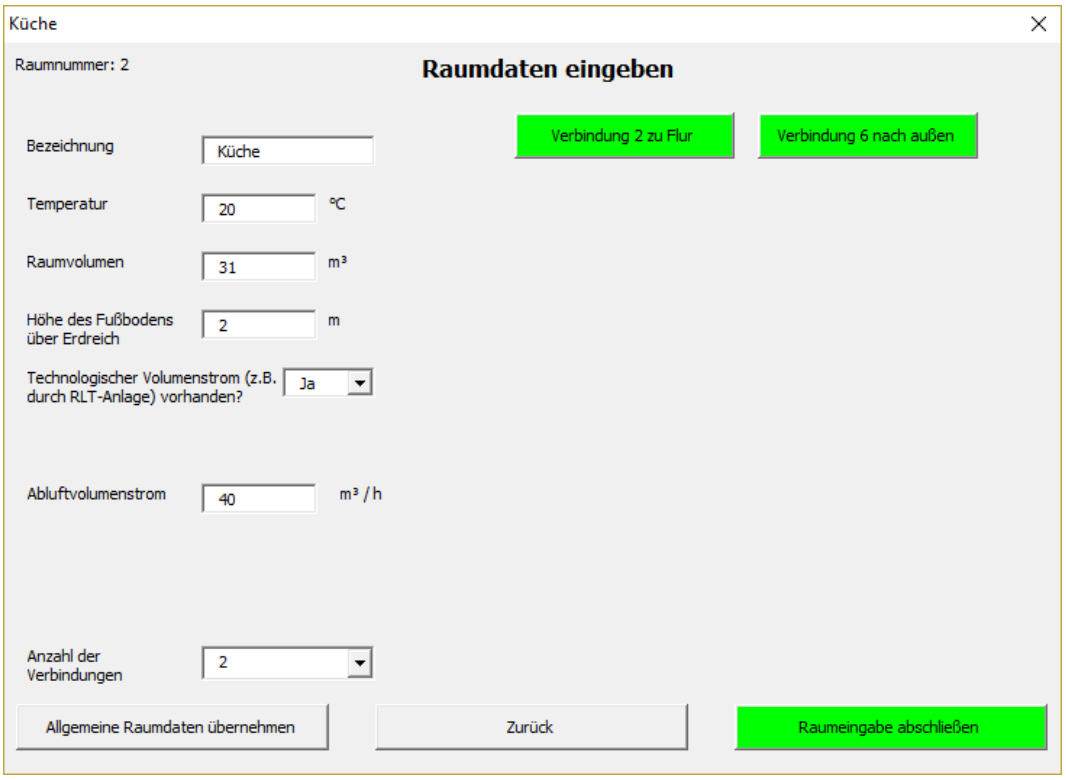


Abbildung 36: Eingabemaske "Raumdaten eingeben" für die Küche

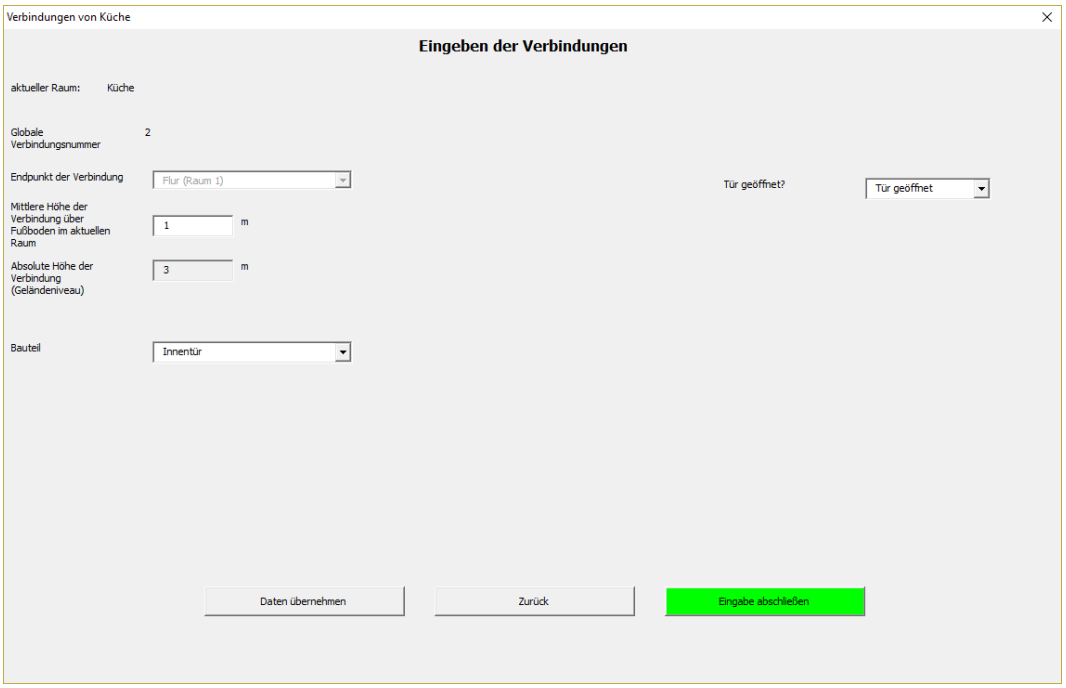


Abbildung 37: Eingabemaske "Eingeben der Verbindungen" für die Küche - Verbindung zum Flur

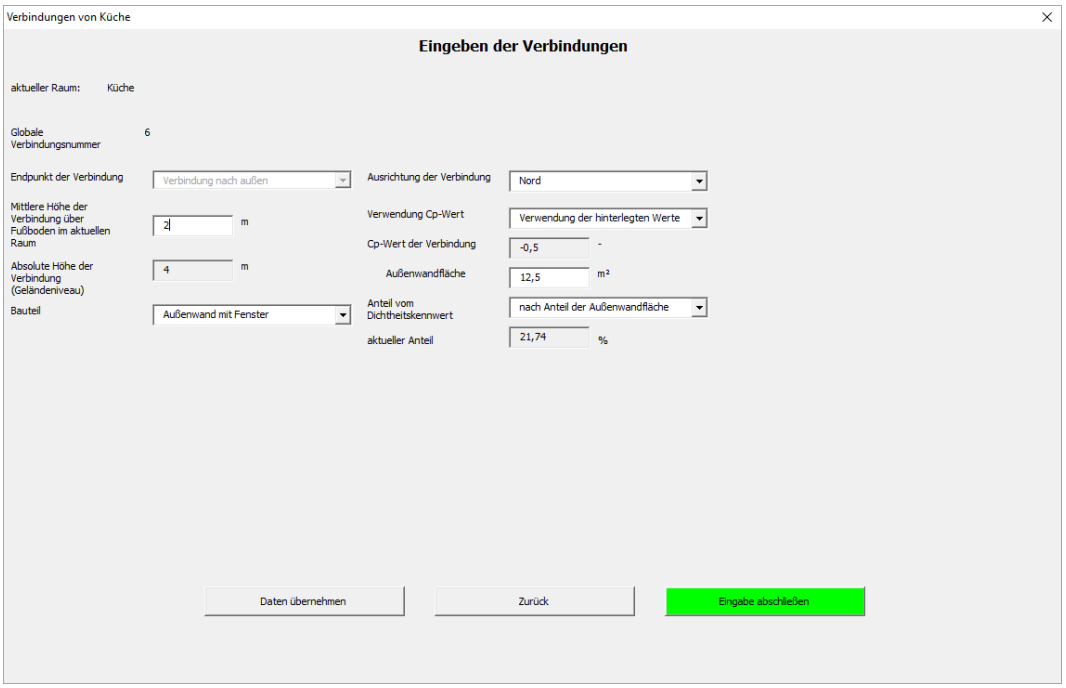


Abbildung 38: Eingabemaske "Eingeben von Verbindungen" für die Küche - Verbindung nach außen

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Berechnung der Volumenströme für die Wohnung.

Berechnungstool Berechnungsprogramm zur Abschätzung von Luftvolumenströmen in Gebäuden

Mustermann		**Objektdetails**	
Datum	14.01.2019	**Bezeichnung**	Max Mustermann
Bemerkungen		**Straße**	Musterweg 1
		Postleitzahl	12345
		Ort	Musterhausen
		Land	Deutschland
Berechnungseinheit	m³ / h		

Berechnungsergebnisse

Raum	Temperatur [°C]	Raumvolumen [m³]	Höhe des Fußbodens [m]	Zuluftvolumenstrom [m³ / h]	Abluftvolumenstrom [m³ / h]	Zulufttemperatur [°C]	Außenluftwechsel -inkl. Zuluft- [1/h]	Raumluftwechsel [1/h]	Endpunkt Verbindung	Verbindungsnummer	Volumenstrom [m³ / h]	Druckverlust Δp [Pa]
Flur	20	31	2	0	0	10	0,05	2,28	außen	1	-1,68	0,42
									Küche	2	33,75	0
									Schlafzimmer	3	-34,34	0,51
									Wohnzimmer	4	-34,63	0
									Bad	5	36,96	0,57
Küche	20	31	2	0	40	10	0,19	1,28	Flur	2	-33,75	0
									außen	6	-6,04	1,06
Schlafzimmer	18	50	2	0	0	10	0,67	0,67	Flur	3	34,34	0,51
									außen	7	-2,39	0,27
									außen	8	-8,98	2,63
									außen	9	-22,02	2,08

Musterwohnung												
Raum	Temperatur [°C]	Raumvolumen [m³]	Höhe des Fußbodens [m]	Zuluftvolumenstrom [m³ / h]	Abluftvolumenstrom [m³ / h]	Zuluft-temperatur [°C]	Außenluftwechsel -inkl. Zuluft- [1/h]	Raumluftwechsel [1/h]	Endpunkt Verbindung	Verbindungsnummer	Volumenstrom [m³ / h]	Druckverlust Δp [Pa]
Wohnzimmer	22	50	2	0	0	10	0,66	0,66	Flur	4	34,63	0
									außen	10	-9,53	2,87
									außen	11	-23,68	2,41
Bad	24	31	2	0	40	10	0,08	1,27	Flur	5	-36,96	0,57
									außen	12	-2,42	0,77

Allgemeine Daten		
Gebäudeangaben		
Anzahl der Räume	5	-
Gebäudehöhe	10	m
Seitenverhältnis	2:1	-
Dachneigung	10 ° - 30 °	-
Dichtheitskennwert	n (bezogen auf das beheizte Nettovolumen)	-
Differenzdruck	50	Pa
Wert der Gebäudedichtheit	2	1/h
Exponent n	0,67	-
Wohnungsangaben		
Innenraumvolumen	193	m³
Hüllfläche	0	m²
Grundfläche	0	m²

Raumlufttechnische Anlagen		
Anlage vorhanden?	Ja	-
Anordnung System	Zentrales Gerät (feste Volumenströme)	
System	Abluftsystem	-
Ermittlung Zulufttemp.	-	-
Zulufttemperatur	-	°C
Temperaturänderungsgrad	-	%
Genauigkeitsangaben		
Maximale Anzahl an Iterationsschritten	/	-
Genauigkeitsgrenze (Σdm)	/	-
Automatische Optimierung der Genauigkeitsangaben?	Ja	-
Maximale Abweichung / Ungenauigkeit bezogen auf den minimalen Volumenstrom im System	5,05	%
Benötigte Anzahl an Iterationsschritten	70	-
Rechenzeit	00:00:00	-

Klima- und Umgebungsdaten		
Außenlufttemperatur	10	°C
Referenzwindgeschwindigkeit	2	m/s
Referenzhöhe	10	m
Windrichtung	West	-
Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	2,0	m/s

Verbindungsdaten										
Von	nach	Verbindungs - nummer	Bauteil	Ausrichtung	Cp-Wert	Fläche [m²]	Anteil an der Gebäude-dichtheit [%]	Absolute Höhe [m]	Durchfluss-koeffizient [m³/(s*Pa^n)]	Exponent [-]
Flur	außen	1	Außenwand mit Außentür	Ost	-0,7	6,25	10,87	3	-	0,67
Küche	Flur	2	Innentür	-	-	-	-	3	2,78E+02	0,67
Schlafzimmer	Flur	3	Innentür	-	-	-	-	3	1,50E-02	0,67
Wohnzimmer	Flur	4	Innentür	-	-	-	-	3	2,78E+02	0,67
Bad	Flur	5	Innentür	-	-	-	-	3	1,50E-02	0,67
Küche	außen	6	Außenwand mit Fenster	Nord	-0,5	12,5	21,74	4	-	0,67
Schlafzimmer	außen	7	Außenwand mit Fenster	Nord	-0,5	12,5	21,74	4	-	0,67
Schlafzimmer	außen	8	Außenwand mit Fenster	West	0,5	10	17,39	4	-	0,67
Schlafzimmer	außen	9	Außenluftdurchlass (ALD)	West	0,5		0	4,25	4,39E-03	0,50
Wohnzimmer	außen	10	Außenwand mit Fenster	West	0,5	10	17,39	4	-	0,67
Wohnzimmer	außen	11	Außenluftdurchlass (ALD)	West	0,5		0	4,25	4,39E-03	0,50
Bad	außen	12	Außenwand mit Fenster	Ost	-0,7	6,25	10,87	4	-	0,67

Beispiel 2: Kleines Reihenhaus

Im Beispiel 2 wird die Berechnung der Luftvolumenströme durch In- und Exfiltration an einem kleinen Reihenhaus durchgeführt. Abbildung 39 zeigt den Grundriss des Hauses für das Erdgeschoss und das Obergeschoss. Die Ziffern in den Kästchen (grün) verdeutlichen die Verbindungen.

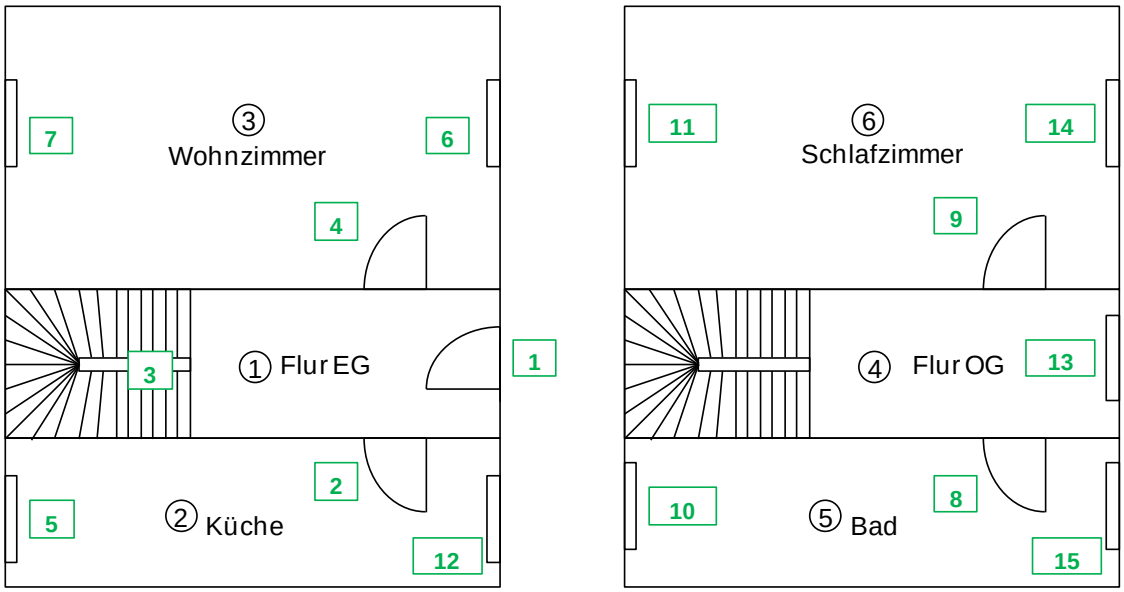


Abbildung 39: Grundriss des betrachteten Beispielhauses (links: Erdgeschoss, rechts: Obergeschoss)

Abbildung 40 bis Abbildung 42 zeigen die Randbedingungen des Hauses bezüglich allgemeiner Gebäudedaten (Schritt 3: Allgemeine Angaben zum Gebäude), Klimadaten (Schritt 4: Klimadaten) und Umgebungsdaten (Schritt 5: Angaben zur Gebäudeumgebung).

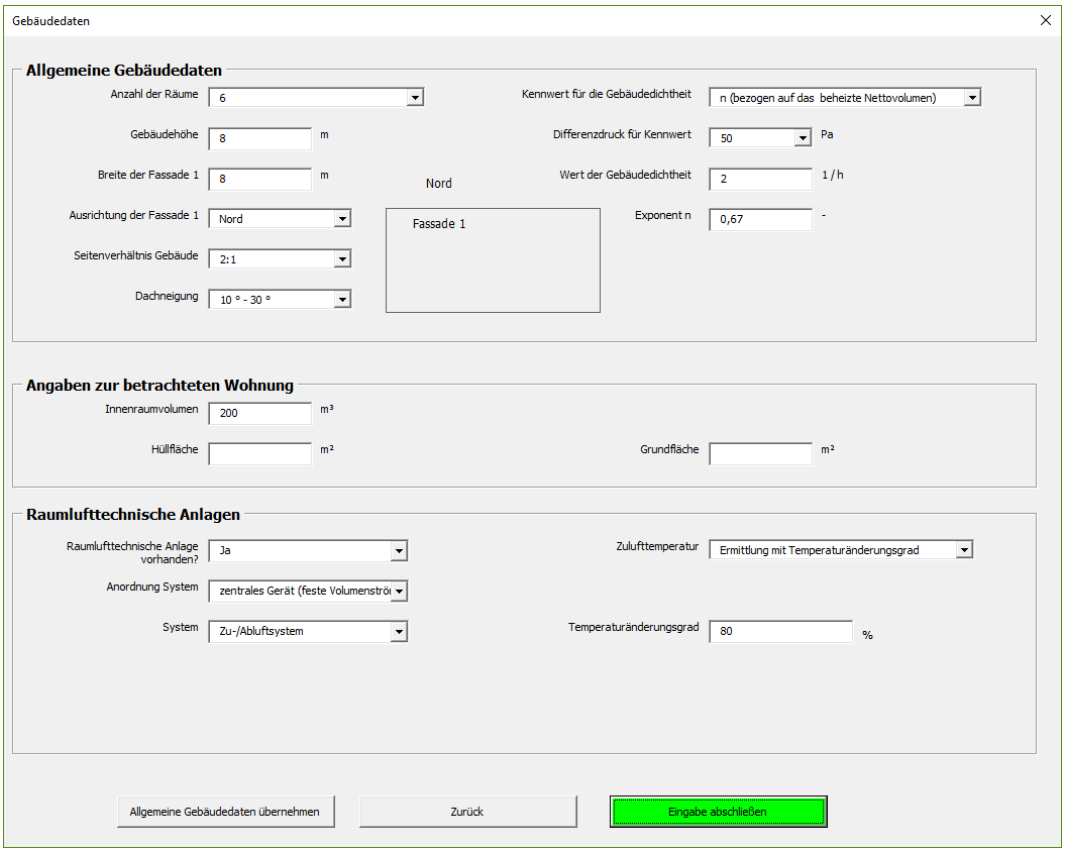


Abbildung 40: Allgemeine Angaben zum betrachteten Haus

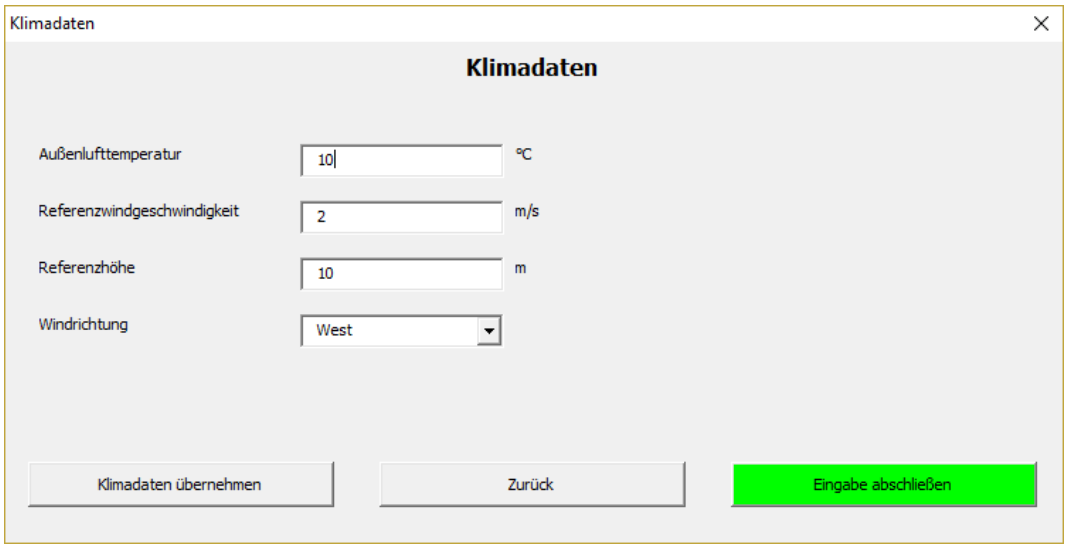


Abbildung 41: Klimadaten zum betrachteten Haus

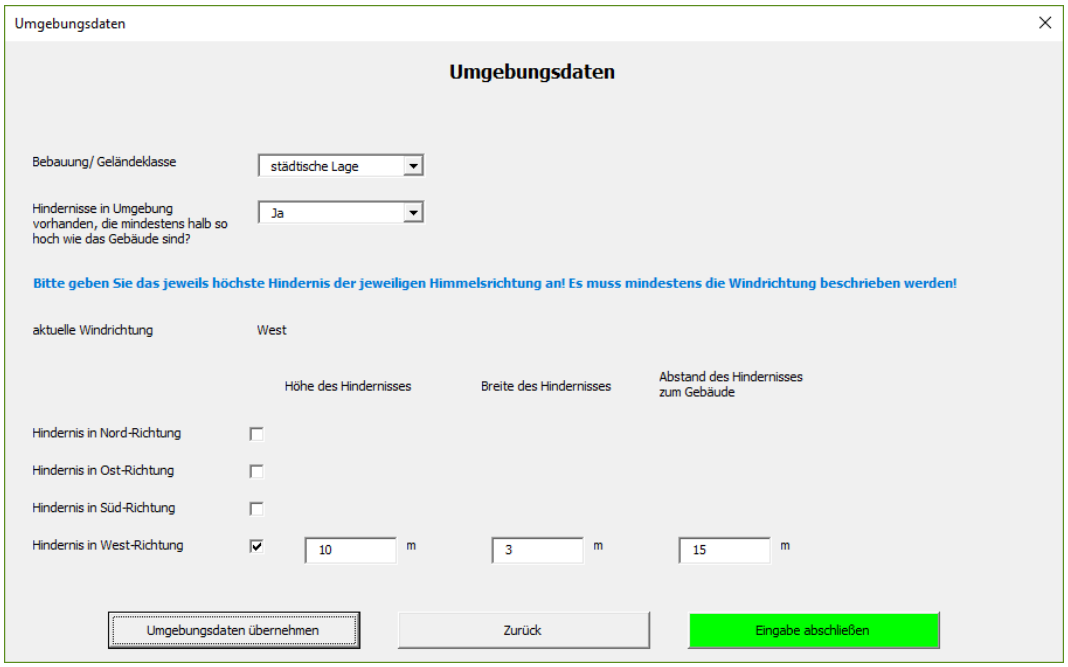


Abbildung 42: Umgebungsdaten zum betrachteten Haus

In Abbildung 43 bis Abbildung 46 sind die Angaben zum Raum und zu den Verbindungen beispielhaft für das Wohnzimmer dargestellt.

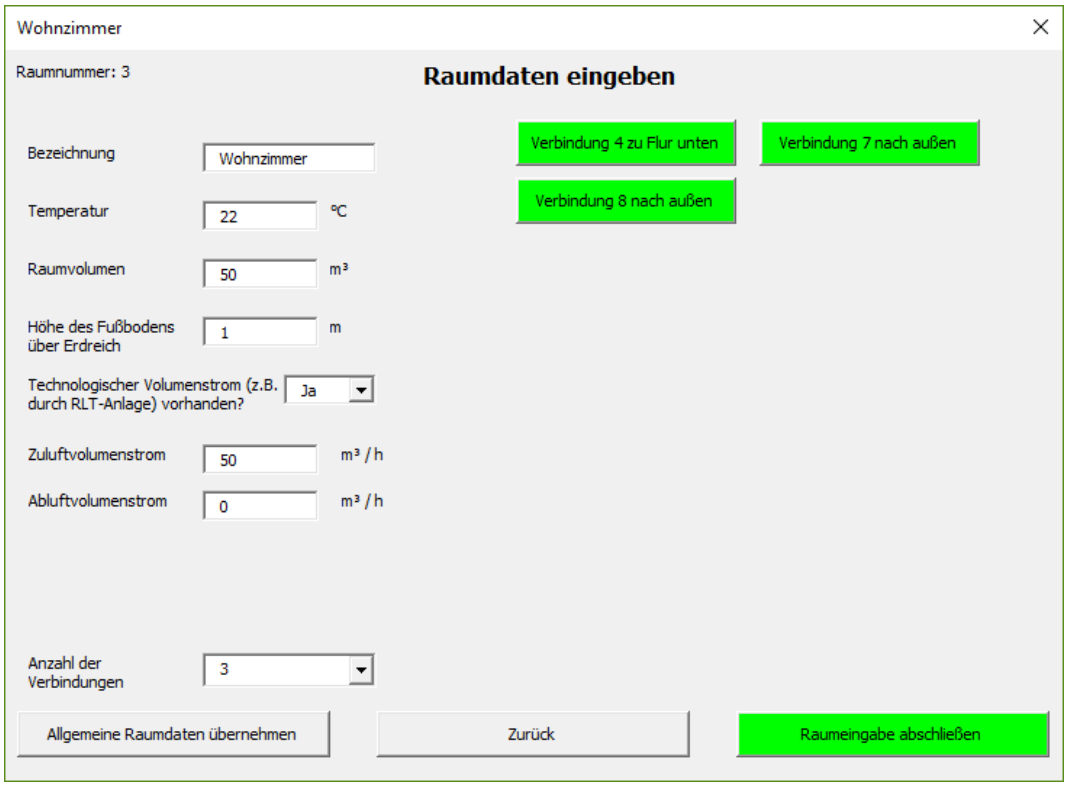


Abbildung 43: Eingabemaske "Raumdaten eingeben" für das Wohnzimmer

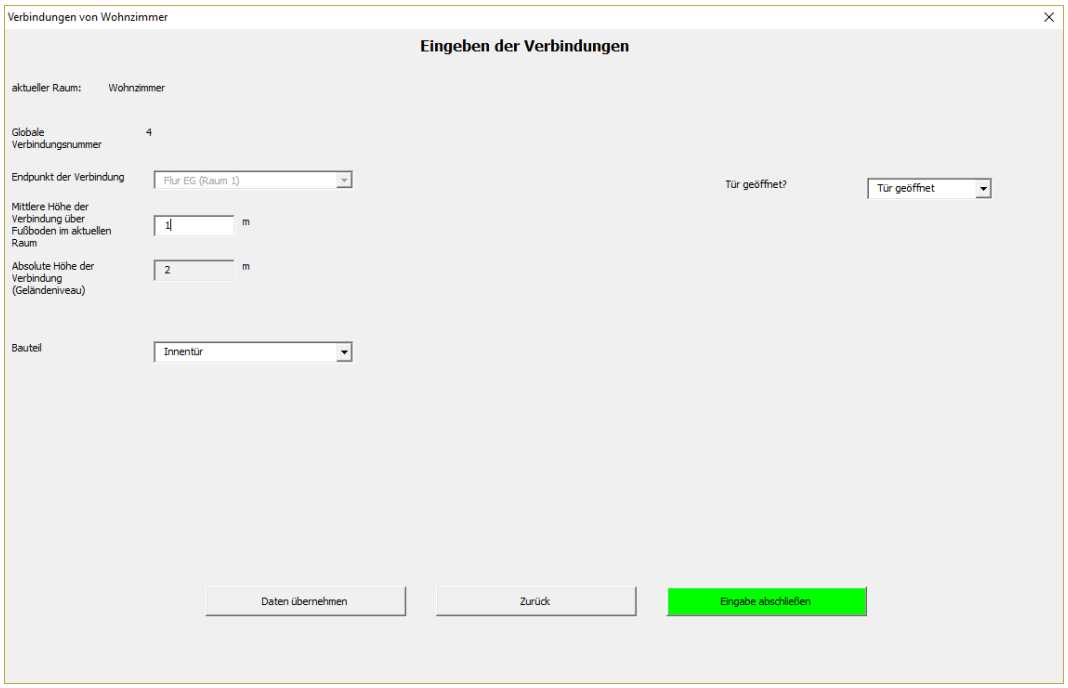


Abbildung 44: Eingabemaske "Eingeben der Verbindungen" für das Wohnzimmer - Verbindung zum Flur EG

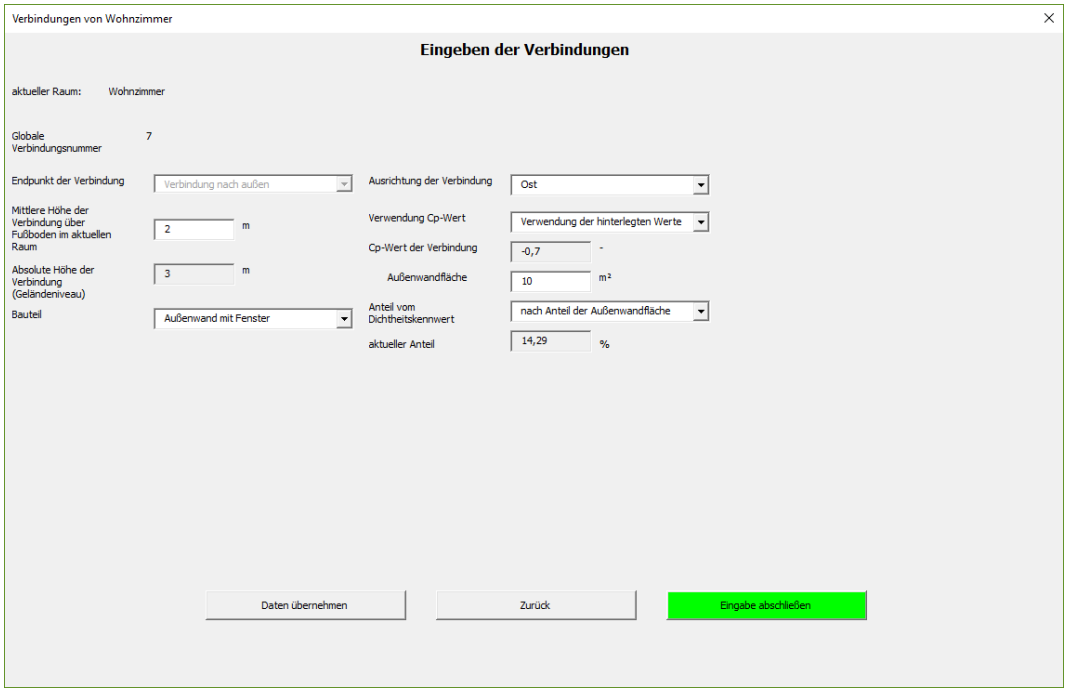


Abbildung 45: Eingabemaske "Eingeben der Verbindungen" für das Wohnzimmer - Verbindung nach außen 1

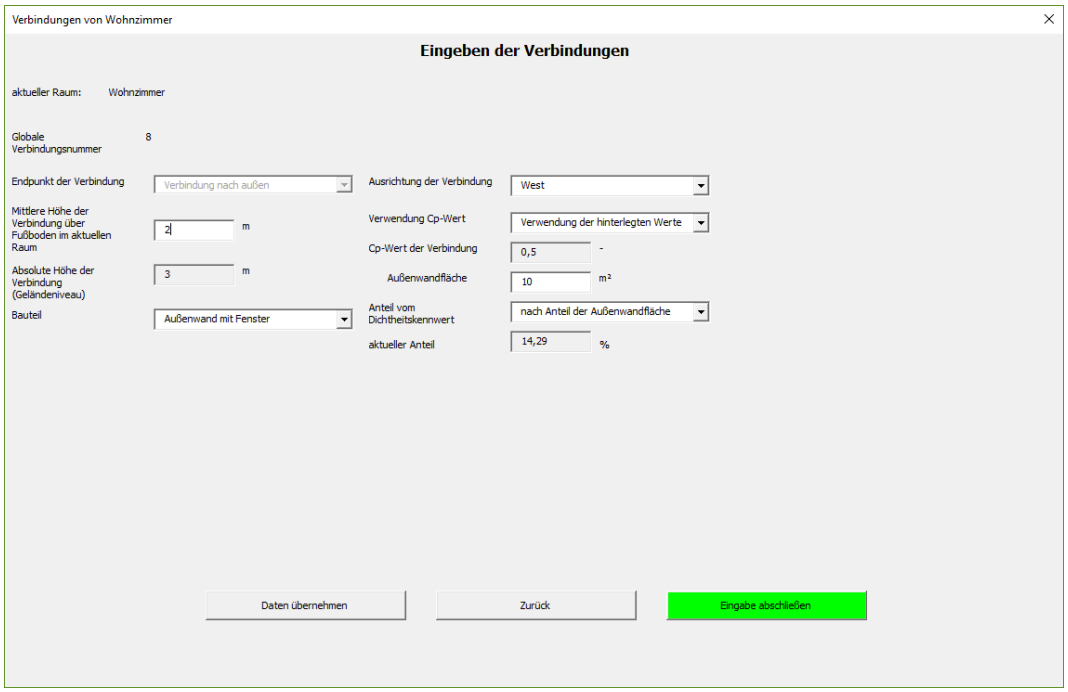


Abbildung 46: Eingabemaske "Eingeben der Verbindungen" für das Wohnzimmer - Verbindung nach außen 2

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Berechnung der Volumenströme des Hauses.

Berechnungstool Berechnungsprogramm zur Abschätzung von Luftvolumenströmen in Gebäuden

Mustermann		**Objektdetails**	
Datum	14.01.2019	**Bezeichnung**	Musterhaus
Bemerkungen		**Straße**	Musterstraße 1
		Postleitzahl	12345
		Ort	Musterhausen
		Land	Deutschland
Berechnungseinheit	m³ / h		

Berechnungsergebnisse

Raum	Temperatur [°C]	Raumvolumen [m³]	Höhe des Fußbodens [m]	Zuluftvolumenstrom [m³ / h]	Abluftvolumenstrom [m³ / h]	Zulufttemperatur [°C]	Außenluftwechsel -inkl. Zuluft- [1/h]	Raumluftwechsel [1/h]	Endpunkt Verbindung	Verbindungsnummer	Volumenstrom [m³ / h]	Druckverlust Δp [Pa]
Flur unten	20	25	1	0	0	19,27	0	2,18	außen	1	0,72	0,23
									Küche	2	53,32	0,99
									Flur oben	3	-1,3	0
									Wohnzimmer	4	-53,1	0
Küche	20	25	1	0	60	19,27	0,26	2,39	Flur unten	2	-53,32	0,99
									außen	5	-5,07	4,06
									außen	6	-1,38	0,58
Wohnzimmer	22	50	1	50	0	19,27	1,14	1,14	Flur unten	4	53,1	0
									außen	7	4,85	1,28
									außen	8	-7,18	2,4

Raum	Temper-atur [°C]	Raum-volumen [m³]	Höhe des Fußbodens [m]	Zuluft-volumen-strom [m³ / h]	Abluft-volumen-strom [m³ / h]	Zuluft-temperatur [°C]	Außenluft-wechsel -inkl. Zuluft- [1/h]	Raumluft-wechsel [1/h]	Endpunkt Verbindung	Verbindungs-nummer	Volumen-strom [m³ / h]	Druckverlust Δp [Pa]
Flur oben	20	25	3,75	0	0	19,27	0	1,68	Flur unten	3	1,3	0
									Bad	9	38,17	0,6
									Schlafzimmer	10	-42	0,7
									außen	11	2,82	1,57
Bad	24	25	3,75	0	40	19,27	0,13	1,66	Flur oben	9	-38,17	0,6
									außen	12	-3,35	2,19
									außen	13	2,2	1,06
Schlafzimmer	18	50	3,75	50	0	19,27	1	1	Flur oben	10	42	0,7
									außen	14	1,19	0,18
									außen	15	6,6	2,01

Allgemeine Daten									
Gebäudeangaben			**Raumlufttechnische Anlagen**			**Klima- und Umgebungsdaten**		
Anzahl der Räume	6	-	Anlage vorhanden?	Ja	-	Außenlufttemperatur	10	°C
Gebäudehöhe	8	m	Anordnung System	Zentrales Gerät (feste Volumenströme)		Referenzwindgeschwindigkeit	2	m/s
Seitenverhältnis	2:1	-	System	Zu-/Abluftsystem	-	Referenzhöhe	10	m
Dachneigung	10 ° - 30 °	-	Ermittlung Zulufttemp.	Ermittlung mit Temperaturänderungs-grad	-	Windrichtung	West	-
Dichtheitskennwert	n (bezogen auf das beheizte Nettovolumen)	-	Zulufttemperatur	-	°C			
Differenzdruck	50	Pa	Temperaturänderungsgrad	80	%	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	2,0	m/s
Wert der Gebäudedichtheit	2	1/h						
Exponent n	0,67	-	**Genauigkeitsangaben**					
			Maximale Anzahl an Iterationsschritten	/	-			
Wohnungsangaben			Genauigkeitsgrenze (Σdm)	/	-			
Innenraumvolumen	200	m³	Automatische Optimierung der Genauigkeitsangaben?	Ja	-			
Hüllfläche	0	m²	Maximale Abweichung / Ungenauigkeit bezogen auf den minimalen Volumenstrom im System	6,06	%			
Grundfläche	0	m²	Benötigte Anzahl an Iterationsschritten	70	-			
			Rechenzeit	00:00:00	-			

Verbindungsdaten										
Von	nach	Verbindungs-nummer	Bauteil	Ausrichtung	Cp-Wert	Fläche [m²]	Anteil an der Gebäude-dichtheit [%]	Absolute Höhe [m]	Durchfluss-koeffizient [m³/(s*Pa^n)]	Exponent [-]
Flur unten	außen	1	Außenwand mit Außentür	Ost	-0,7	5	7,14	2	-	0,67
Küche	Flur unten	2	Innentür	-	-	-	-	2	1,50E-02	0,67
Flur oben	Flur unten	3	offener Durchgang	-	-	-	-	3,625	2,78E+02	0,67
Wohnzimmer	Flur unten	4	Innentür	-	-	-	-	2	2,78E+02	0,67
Küche	außen	5	Außenwand mit Fenster	West	0,5	5	7,14	3	-	0,67
Küche	außen	6	Außenwand mit Fenster	Ost	-0,7	5	7,14	3	-	0,67
Wohnzimmer	außen	7	Außenwand mit Fenster	Ost	-0,7	10	14,29	3	-	0,67
Wohnzimmer	außen	8	Außenwand mit Fenster	West	0,5	10	14,29	3	-	0,67
Bad	Flur oben	9	Innentür	-	-	-	-	4,75	1,50E-02	0,67
Schlafzimmer	Flur oben	10	Innentür	-	-	-	-	4,75	1,50E-02	0,67
Flur oben	außen	11	Außenwand mit Fenster	Ost	-0,7	5	7,14	5,75	-	0,67
Bad	außen	12	Außenwand mit Fenster	West	0,5	5	7,14	5,75	-	0,67
Bad	außen	13	Außenwand mit Fenster	Ost	-0,7	5	7,14	5,75	-	0,67
Schlafzimmer	außen	14	Außenwand mit Fenster	West	0,5	10	14,29	5,75	-	0,67
Schlafzimmer	außen	15	Außenwand mit Fenster	Ost	-0,7	10	14,29	5,75	-	0,67

5 Literaturverzeichnis

[1] F. Eibisch, Luftvolumenströme durch In- und Exfiltration an Gebäuden – Entwicklung eines physikalisch hergeleiteten, analytischen Berechnungsalgortihmus und Umsetzung in einem excelbasierten Planungstool, Bachelorarbeit, 2013

[2] EN 16798-7, Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden – Teil 7: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäude einschließlich Infiltration, 10772 Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2017.

[3] EN 13829, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden: Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden- Differenzdruckverfahren (ISO 9972: 1996, modifiziert), 10772 Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2001.

[4] DIN 1946-6, Raumlufttechnik- Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung, 10772 Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2009.