

**Energieforschungsprojekt**

# **Luftbewegungen in frei durchströmten Wohnräumen**

**Schlussbericht**

Verfasser	Stefan Barp, Air Flow Consulting AG, Zürich	Simulationen, Messungen
	Rudolf Fraefel, dipl. Architekt ETH SIA, Zürich	Text, Energiebilanz, Kosten
	Heinrich Huber, Minergie-Agentur Bau, Muttenz	Projektbegleitung

Die Untersuchung wurde ermöglicht dank finanzieller Unterstützung durch

Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abt. Energie  
Amt für Hochbau der Stadt Zürich, Fachstelle Energie und Gebäudetechnik

Zürich, September 2009

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Die Frage lautete: Braucht es in einer Wohnung, welche nach dem Kaskadenprinzip belüftet wird, eine eigene direkte Zuluftversorgung des Wohn-Esszimmers? Die Untersuchung weist nach, dass die freie Durchlüftung des offenen Wohn-Esszimmers auch bei ungünstiger Raumform gut funktioniert. Auf eigene Zuluftauslässe im Wohnzimmer kann verzichtet werden. Daraus ergeben sich namhafte Vorteile bezüglich Komfort, Energieverbrauch, Erstellungs- und Betriebskosten.

## **INHALT**

1.	<b>Thematik</b>	3
2.	<b>Methodik</b>	3
2.1	Numerische Simulation	4
2.2	CO <sub>2</sub> -Messung	4
2.3	Nebelversuch	4
3.	<b>Ergänzende Berechnungen</b>	4
4.	<b>Resultate</b>	5
5.	<b>Gültigkeit und Einschränkungen</b>	5

Anhang 1: Wohnungsgrundriss

Anhang 2: Simulationen und Messungen

Anhang 3: Energiebilanz und Kosten

Anhang 4: Matrix Lebenszykluskosten

## 1. Thematik

Das Thema der vorliegenden Untersuchung lässt sich wie folgt eingrenzen und einordnen:

Wohnungslüftung → Komfortlüftung → Kaskadensystem → Wohn-Esszimmer.

Bei Wohnungslüftungen hat sich das Prinzip der Kaskadenlüftung weitgehend durchgesetzt, welches darin besteht, dass nicht jeder Raum einzeln be- und entlüftet wird, sondern dass die Luft nacheinander mehrere Räume durchströmt: Zuluftauslässe in den Schlafzimmern, freie Durchlüftung des Gang- und Wohnbereichs, Abluftfassung in der Küche und in den Nassräumen. Dank dieser "Mehrfachnutzung" derselben Luft benötigt dieses System viel kleinere Gesamtluftmengen, was aus mehreren Gründen erwünscht ist:

- Weniger Stromverbrauch der Ventilatoren
- Kleinere Energieverluste über die Abluft
- Kleinere Leitungsquerschnitte
- Geringere Ventilatoren- und Strömungsgeräusche
- Weniger trockene Raumluft im Winter

Über die Luftbewegungen innerhalb der einzelnen Räume bestehen auch unter Fachleuten oft unklare oder gar falsche Vorstellungen. So ist die Meinung weit verbreitet, dass die Zu- und Abluftdurchlässe im Raumgrundriss zwingend gegenüberliegend anzuordnen seien, damit der Raum gleichmässig durchströmt wird. In verschiedenen Forschungsprojekten konnte jedoch nachgewiesen werden, dass Wärme- oder Kältequellen (Personen, Fenster, Heizkörper, Beleuchtung, Apparate) und Personenbewegungen im ganzen Raum zu einer gleichmässigen Durchmischung führen, unabhängig von der Lage der Durchlässe. Einzig deren Höhenlage ist von Bedeutung, indem die Abluft in Deckennähe gefasst werden sollte.

Während diese Erkenntnisse auf Räume mit Zu- und/oder Abluftöffnung unmittelbar anwendbar sind, stellt sich die Frage, ob der frei durchströmte Wohn-Ess-Bereich, der ja innerhalb der Kaskadenlüftung keine eigenen Ein- und Auslässe aufweist, auf die gleiche Weise durchströmt wird. Diese Frage liess sich bisher nicht stichhaltig beantworten. Aus dieser Unsicherheit heraus wird häufig das Wohnzimmer vorsichtshalber ebenfalls mit eigenen Zuluftauslässen ausgestattet. Dies hat jedoch zur Folge, dass der Gesamtluftstrom praktisch verdoppelt werden muss, womit die Vorteile des Kaskadensystems verloren gehen.

Konkreter Auslöser der vorliegenden Studie war eine Wohnüberbauung, bei welcher der Grundriss des Wohn-Esszimmers diesbezüglich besonders ungünstig disponiert ist (siehe Grundrissplan im Anhang 1): Der Gang und die Küche befinden sich direkt nebeneinander an der Schmalseite eines langen, schmalen Wohnzimmers. Der Ablufteinlass befindet sich an der Küchendecke. Die Bewohner befürchteten, dass die Luft, welche aus dem Gang zuströmt, kurzschlussartig direkt in die Küche fliesst, ohne den Raum zu durchlüften. Dieser ungünstige Grundriss macht das Beispiel für eine Untersuchung besonders interessant, da er bezüglich Luftströmung den schlimmstmöglichen Fall darstellt.

## 2. Methodik

Um die Luftbewegungen im untersuchten Wohn-Esszimmer beurteilen zu können, mussten sie zuerst einmal sichtbar gemacht werden. Hierfür boten sich drei verschiedene Visualisierungsverfahren an: Die numerische Simulation, die Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration und der Nebelversuch. Um methodische Fehler auszuschliessen, wurden alle drei Methoden eingesetzt und die Resultate miteinander verglichen.

## **2.1 Numerische Simulation**

Mit Hilfe des Programms Ansys CFX wurde ein dreidimensionales Modell der untersuchten Wohnung mit den tatsächlich vorhandenen Luft-Ein- und Auslässen erstellt. Sodann wurden die interessierenden Parameter definiert: 3 klimatische Situationen (Winter, Übergangszeit, Sommer) mit den dazugehörigen Energiebilanzen und 2 interne Situationen (mit und ohne Personenbelegung). Unter diesen Vorgaben wurden die Luftbewegungen in allen Räumen berechnet und visualisiert.

Folgende Werte wurden für jede Situation errechnet und deren dynamische Verteilung dreidimensional dargestellt:

- Temperaturverteilung der Raumluft
- Lokales Alter der Raumluft
- CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft
- Luftgeschwindigkeit

Das Programm erlaubte es zudem, die Luftbewegungen in einer dreidimensionalen Animation zu veranschaulichen.

## **2.2 CO<sub>2</sub>-Messung**

An insgesamt 6 in der Wohnung verteilten Messstellen wurde der zeitliche und räumliche Verlauf des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Raumluft gemessen. Messstellen mit erhöhtem CO<sub>2</sub>-Gehalt wären ein Hinweis auf ungenügende Durchlüftung der betreffenden Raumzonen. Abweichendes zeitliches Verhalten der verschiedenen Messstellen wären ein Hinweis auf unvollständige Durchmischung.

## **2.3 Nebelversuch**

In einem Schlafzimmer wurde Nebel freigesetzt und dessen Verteilung in der Wohnung und insbesondere im Wohn-Ess-Zimmer beobachtet und mit Foto- und Videoaufnahmen dokumentiert.

## **3. Ergänzende Berechnungen**

Die Lüftungstechnischen Untersuchungen erbrachten den Nachweis, dass der Verzicht auf eigene Zuluftauslässe im Wohn-Esszimmer keine nennenswerten lufthygienischen Nachteile zur Folge hat. Noch unbewiesen waren aber die eingangs behaupteten Vorteile dieses Verzichts bezüglich Energieverbrauch, Erstellungs- und Betriebskosten. Diese wurden durch zusätzliche Berechnungen verifiziert (Anhang 3).

Die Berechnungen ergaben für eine durchschnittliche 4 1/2-Zimmerwohnung folgende Resultate:

- Der Energiebedarf für die Wohnungslüftung mit Zuluftauslass im Wohnzimmer ist rund 55% höher als bei einer reinen Kaskadenlüftung.
- Die Erstellungskosten für die Wohnungslüftung mit Zuluftauslass im Wohnzimmer sind rund 30% höher als bei einer reinen Kaskadenlüftung.
- Die Lebenszykluskosten für die Wohnungslüftung mit Zuluftauslass im Wohnzimmer sind rund 25% höher als bei einer reinen Kaskadenlüftung.

## **4. Resultate**

Die detaillierten Untersuchungsergebnisse sind in den Anhängen dargestellt. Nachstehend eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse, welche aus den Resultaten gewonnen werden können.

- Die Resultate der drei Untersuchungsmethoden stimmen gut überein.
- Es gibt keine „Anhäufung“ von CO<sub>2</sub> im Bereich Essen/Wohnen. D.h. es gibt im Bereich Essen/Wohnen keine Bereiche mit hohen CO<sub>2</sub> Konzentrationen.
- Die Luft ist gut gemischt in der ganzen Wohnung.
- Es gibt keine Kurzschlussströmung aus dem Durchgang zur Küchenabluft.
- Sind Personen anwesend, so funktioniert das System sehr gut.
- Im ungünstigsten Fall (Übergangszeit, wenig Wärmequellen, keine Personen) funktioniert das System nicht mehr perfekt, aber immer noch gut.
- Der Verzicht auf eigene Zuluftauslässe im Wohn-Esszimmer ergibt bedeutende Vorteile bezüglich Komfort, Energieverbrauch, Erstellungs- und Betriebskosten.

## **5. Gültigkeit und Einschränkungen**

**Eine eigene Zuluftzufuhr in das Wohn-Esszimmer ist in folgenden Fällen nutzlos:**

- Das Wohn-Esszimmer ist zum Gang hin offen, was auf die meisten modernen Wohnungen zutrifft.
- Das Wohn-Esszimmer ist zwar vom Gang mit einer Türe abgetrennt, aber die Küche ist von diesem Zimmer her erschlossen. D.h. die Luft muss auf dem Weg zur Küche den Wohn-Essbereich durchqueren. Dabei ist auf genügende Überströmdurchlässe zu achten.

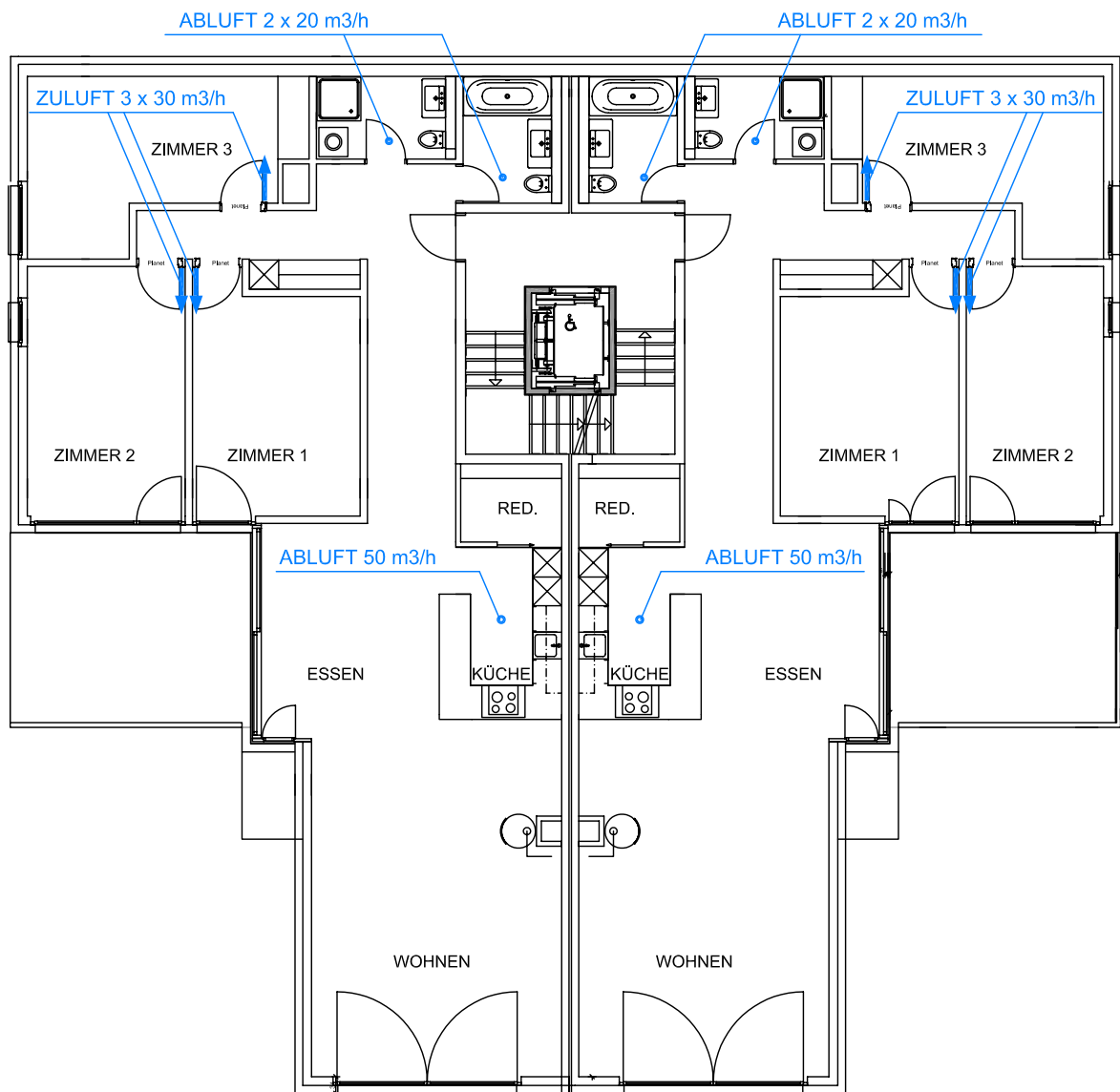
**Eine zusätzliche Zuluftzufuhr in das Wohn-Esszimmer ist in folgenden Fällen notwendig:**

- Bei geschlossenem Wohn- oder Esszimmer, wenn die Küche vom Gang her erschlossen ist. Dieser Fall ist vor allem bei der Nachrüstung älterer Gebäude anzutreffen.
- In 2-Zimmerwohnungen. Damit für die ausreichende Entlüftung sowohl der Küche als auch der Nasszelle(n) genügend Abluft zur Verfügung steht, müsste die Zuluftmenge im einzigen Schlafzimmer übermässig erhöht werden, wobei mit Strömungsgeräuschen und Zugluft zu rechnen wäre. Deshalb ist es in diesem Fall zweckmässig, einen Teil der benötigten Luftmenge dem Wohnzimmer zuzuführen.

# ANHANG 1: WOHNUNGSGRUNDRISS

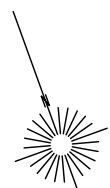
## WOHNUNG C4

## WOHNUNG B3



Mst. 1:150

Hinweis: Für die numerische Simulation wurde die Wohnung C4 modelliert  
Die CO<sub>2</sub>-Messung und der Nebelversuch wurden in der Wohnung B3 durchgeführt.





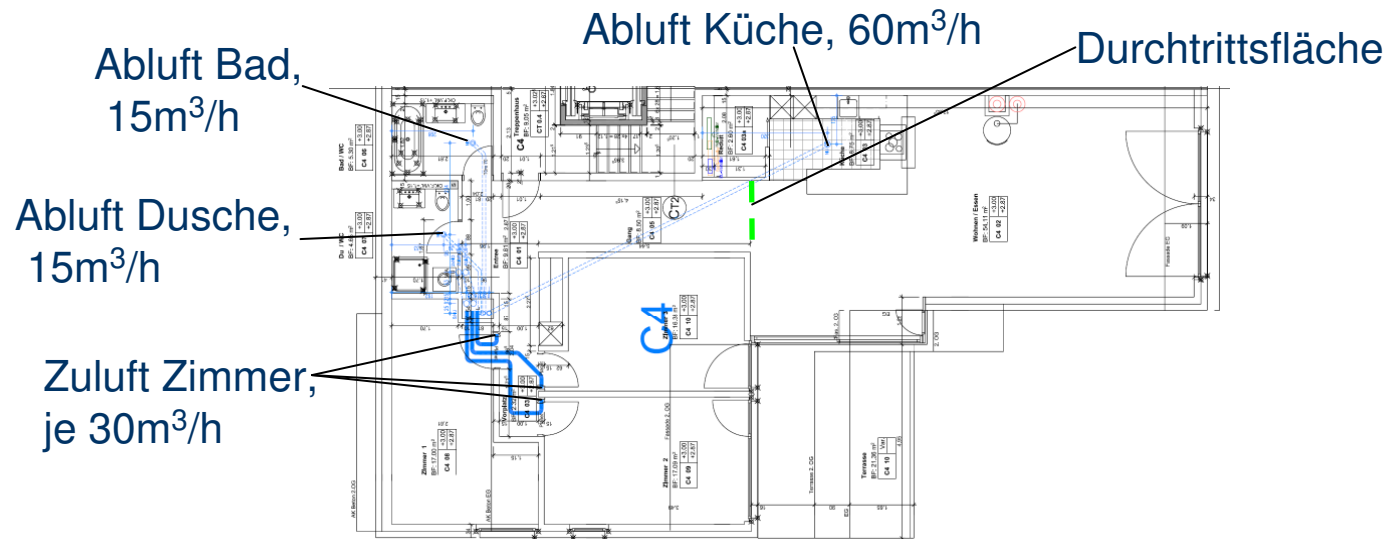
# Wohnungslüftung ohne separate Zuluft im Bereich Essen/Wohnen

## Strömungssimulation

Stefan Barp, 1.7.09

# Fragestellung

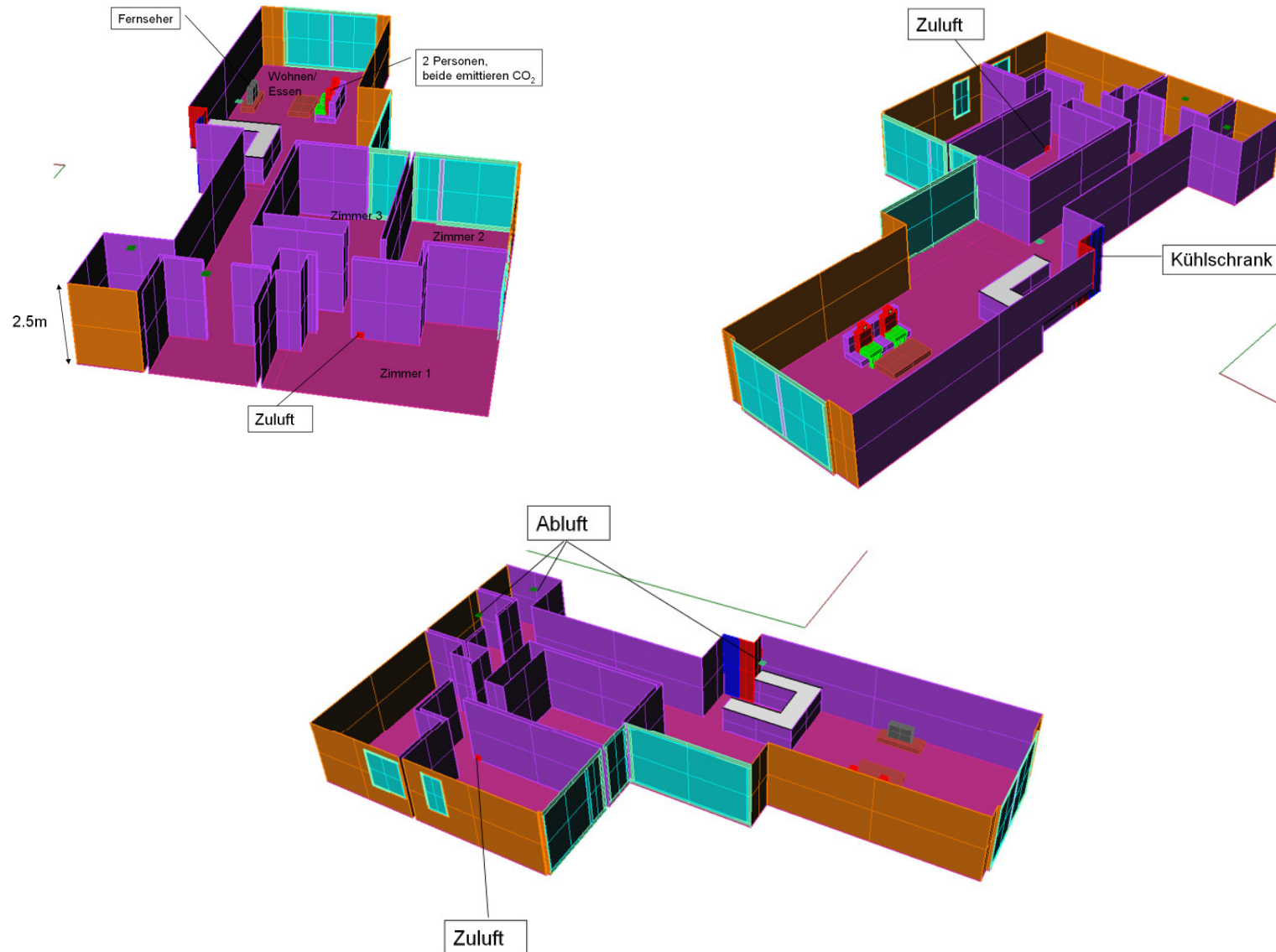
- Für kontrollierte Wohnungslüftungen besteht die Frage, ob die Lüftung im Bereich Wohnen/Essen wie in der folgenden Darstellung gelöst werden kann. D.h., im Bereich Wohnen/Essen gibt es keine separate Zuluft, sondern nur Abluft in der offenen Küche.



- Beurteilt man die Situation basierend auf dem Prinzip Kaskadenlüftung (siehe SIA Merkblatt 2023, Lüftung in Wohnbauten), so ist die Situation nicht optimal, da der Bereich Wohnen/Essen nicht zwischen einer Zu- und einer Abluftposition liegt. D.h., der Bereich wird nicht zwingend durchströmt.
- Mittels numerischer Strömungsberechnung soll die resultierende  $\text{CO}_2$  Verteilung simuliert werden. Die Verteilung der lokalen Konzentration zeigt, ob die Anordnung der Lüftung funktioniert. D.h., sie zeigt, ob sich im Bereich Essen/Wohnen hohe lokale  $\text{CO}_2$  Konzentrationen ergeben, wenn sich Personen nur in diesem Bereich aufhalten.
- Dasselbe soll messtechnisch untersucht werden.



# Simulation: Modellgeometrie



# Simulation: Energiebilanz, Winterfall V01

## Energiebilanz Wohnung Eglisau, Winter

Taussen	4 °C
Tsoll	22 °C
TnachErdregister	8 °C
Fläche Boden	138.25 m <sup>2</sup>
Höhe	2.50 m
Volumen	345.6 m <sup>3</sup>

(8°C bis 12°C gem. Angabe Hr. Fraefel)

Transmission					
Boden/Wände/Decke	U [W/m <sup>2</sup> K]	Gegentemp [°C]	Tgegen - Tsoll [°K]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Wärmeleistung [W]
Aussenwand	0.2	4	-18.0	69.76	-251
<b>Fenster</b>					
Glas	1.1	4	-18.0	28.12	-557
Rahmen	1.50	4	-18.0	7.02	-190
<b>Total</b>					<b>-997</b>

Innere Lasten			
	Leistung pro Einheit [W]	Anzahl [-]	Total [W]
Personen	70	2	140
Licht	0	0	0
Kühlschrank	19	1	19.4
<b>Total</b>			<b>159.4</b>

Heizung			
	Leistung pro m <sup>2</sup> [W/m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Total [W]
Heizung	6.37	138.25	880.3396073

Lüftung					
	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Tzuluft [°C]	Tmittel [°C]	Tmittel-Tzuluft [°K]	Wärme [W]
Zuluft	90.00	20.6	22.0	1.40	-42

Wirkungsgrad

$$90\% \text{ Tzu} = T_a + (T_{ab} - T_a) \times \eta$$

Energiebilanzen		[W]
Transmission		-997.5
Innere Lasten		159.4
Heizung		880.3
Lüftung		-42.3
<b>Total [W]</b>	(muss Null werden durch Anpassung von Heizleistung)	<b>0.00</b>

# Simulation: Energiebilanz, Übergangszeit V02

## Energiebilanz Wohnung Eglisau, Übergang

Taussen	15 °C
Tsoll	22 °C
TnachErdregister	10 °C
Fläche Boden	138.25 m <sup>2</sup>
Höhe	2.50 m
Volumen	345.6 m <sup>3</sup>

(8°C bis 12°C gem. Angabe Hr. Fraefel)

### Transmission

Boden/Wände/Decke	U [W/m <sup>2</sup> K]	Gegentemp [°C]	Tgegen - Tsoll [°K]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Wärmeleistung [W]
Aussenwand	0.2	15	-7.0	69.76	-98
<b>Fenster</b>					
Glas	1.1	15	-7.0	28.12	-217
Rahmen	1.50	15	-7.0	7.02	-74
<b>Total</b>					<b>-388</b>

### Innere Lasten

	Leistung pro Einheit [W]	Anzahl [-]	Total [W]
Personen	70	2	140
Licht	0	0	0
Kühschrank	19	1	19.4
<b>Total</b>			<b>159.4</b>

### Heizung

	Leistung pro m <sup>2</sup> [W/m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Total [W]
Heizung	1.91	138.25	264.7

### Lüftung

	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Tzuluft [°C]	Tmittel [°C]	Tmittel-Tzuluft [°K]	Wärme [W]
Zuluft	90.00	20.8	22.0	1.20	<b>-36</b>

(Achtung mit WRG von 90% Wirkungsgrad)

Wirkungsgrad

$$90\% \text{ Tzu} = T_a + (T_{ab} - T_a) \times \eta$$

### Energiebilanzen

	[W]
Transmission	-387.9
Innere Lasten	159.4
Heizung	264.7
Lüftung	-36.3
<b>Total [W]</b>	<b>0.00</b>

(muss Null werden durch Anpassung von Heizleistung)

# Simulation: Energiebilanz, Sommerfall V03

## Energiebilanz Wohnung Eglisau, Sommerfall

Taussen	26 °C
Tsoll	24 °C
TnachErdregister	12 °C
Fläche Boden	138.25 m <sup>2</sup>
Höhe	2.50 m
Volumen	345.6 m <sup>3</sup>

(8°C bis 12°C gem. Angabe Hr. Fraefel)

Transmission					
Boden/Wände/Decke	U [W/m <sup>2</sup> K]	Gegentemp [°C]	Tgegen - Tsoll [°K]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Wärmeleistung [W]
Aussenwand	0.2	26	2.0	69.76	28
<b>Fenster</b>					
Glas	1.1	26	2.0	28.12	62
Rahmen	1.50	26	2.0	7.02	21
<b>Total</b>					<b>111</b>

Innere Lasten			
	Leistung pro Einheit [W]	Anzahl [-]	Total [W]
Personen	70	2	140
Licht	0	0	0
Kühlschrank	19	1	19.4
<b>Total</b>			<b>159.4</b>

Dynamische Einspeicherung			
	Leistung pro m <sup>2</sup> [W/m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Total [W]
Einspeicherung Boden	-1.08	138.25	-149.4

Lüftung (Achtung mit WRG von 90% Wirkungsgrad)					
	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Tzuluft [°C]	Tmittel [°C]	Tmittel-Tzuluft [°K]	Wärme [W]
Zuluft	90.00	20.0	24.0	4.00	<b>-121</b>

Energiebilanzen		[W]
Transmission		110.8
Innere Lasten		159.4
Heizung		-149.4
Lüftung		-120.8
<b>Total [W]</b>	(muss Null werden durch Anpassung von Dyn. Speicherung Boden)	<b>0.00</b>

# Simulation: Energiebilanz, Übergang ohne Personen V04

## Energiebilanz Wohnung Eglisau, Übergang ohne Personen

Taussen	15 °C
Tsoll	22 °C
TnachErdregister	10 °C
Fläche Boden	138.25 m2
Höhe	2.50 m
Volumen	345.6 m3

(8°C bis 12°C gem. Angabe Hr. Fraefel)

### Transmission

Boden/Wände/Decke	U [W/m2K]	Gegentemp [°C]	Tgegen - Tsoll [°K]	Fläche [m2]	Wärmeleistung [W]
Aussenwand	0.2	15	-7.0	69.76	-98
<b>Fenster</b>					
Glas	1.1	15	-7.0	28.12	-217
Rahmen	1.50	15	-7.0	7.02	-74
<b>Total</b>					<b>-388</b>

### Innere Lasten

	Leistung pro Einheit [W]	Anzahl [-]	Total [W]
Personen	70	0	0
Licht	0	0	0
Kühlschrank	19	1	19.4
<b>Total</b>			<b>19.4</b>

### Heizung

	Leistung pro m2 [W/m2]	Fläche [m2]	Total [W]
Heizung	2.93	138.25	404.7

### Lüftung

	Volumenstrom [m3/h]	Tzuluft [°C]	Tmittel [°C]	Tmittel-Tzuluft [°K]	Wärme [W]
Zuluft	90.00	20.8	22.0	1.20	-36

(Achtung mit WRG von 90% Wirkungsgrad)

Wirkungsgrad

$$90\% T_{zu} = T_a + (T_{ab} - T_a) \times \eta$$

### Energiebilanzen

	[W]
Transmission	-387.9
Innere Lasten	19.4
Heizung	404.7
Lüftung	-36.3
<b>Total [W]</b>	<b>0.00</b>

(muss Null werden durch Anpassung von Heizleistung)

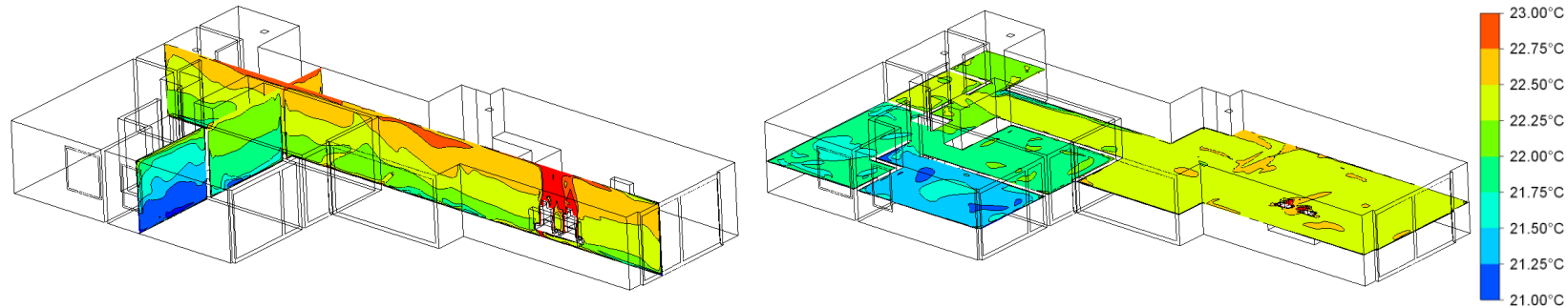
- Mit diesem Fall wird untersucht, ob das System ohne den thermischen Antrieb der Personen funktioniert oder ob es im Bereich Essen/Wohnen „abgestandene“ Luft gibt.
- Als strengster Testfall wird die Übergangszeit mit kleine Temperaturdifferenzen zwischen innen und aussen betrachtet. In Realität könnte in diesem Fall auch kurz ein Fenster geöffnet werden.

- Bei Anwesenheit von Personen ist die lokale CO<sub>2</sub> Konzentration ein sehr guter Indikator für die Untersuchung der lokalen Raumlufthqualität, resp. der lokalen Lüftungseffizienz:
  - Jede Person emittiert 21.6 l CO<sub>2</sub> / h. Dieser Wert wird in SIA 382/1 verwendet zur Definition verschiedener Raumlufthqualitäten (RAL).
  - Es wird eine Aussenkonzentration von 400ppm angenommen.
  - Mit einem Aussenluftvolumenstrom von 45m<sup>3</sup>/h/Person resultiert im Fall perfekter Mischung ein Wert von 880ppm.
  - Zur Beurteilung der lokalen Raumlufthqualität, d.h. der Lüftungseffizienz, ist die lokale Konzentration mit diesem Wert zu vergleichen.

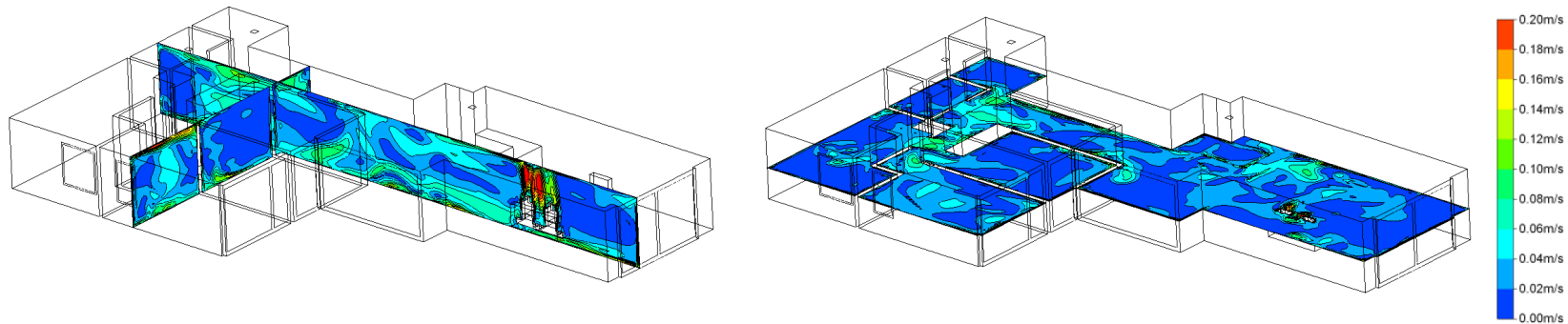
- Im Fall V04 ohne Personen ist das lokale Alter der Luft eine geeignete Grösse zur Untersuchung der lokalen Lüftungseffizienz:
  - Bei einem Gesamtvolumen der Wohnung von  $346\text{m}^3$ , resultiert bei einem totalen Zuluftvolumenstrom von  $90\text{m}^3/\text{h}$  ein mittlerer Luftwechsel von  $0.26\text{h}^{-1}$ , d.h. ein mittleres Alter der Luft von 3.8 Stunden.

# Simulation: Resultate, Winterfall V01

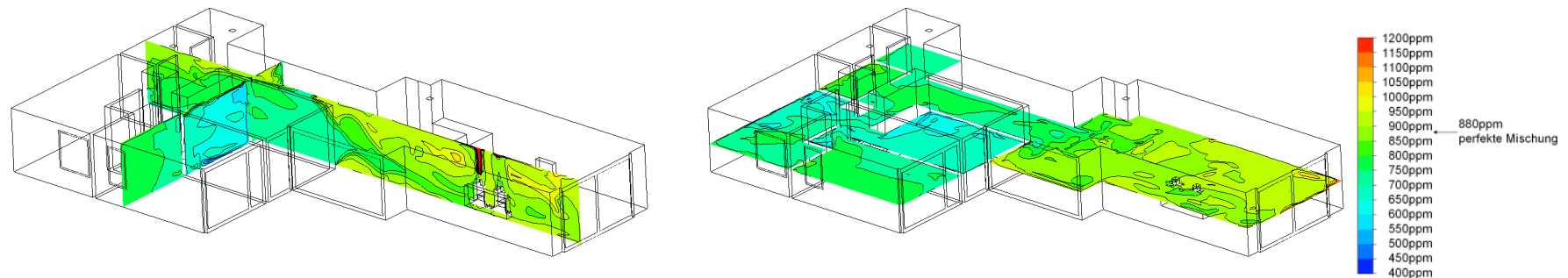
## Temperatur



## Geschwindigkeiten



## CO<sub>2</sub> Verteilung

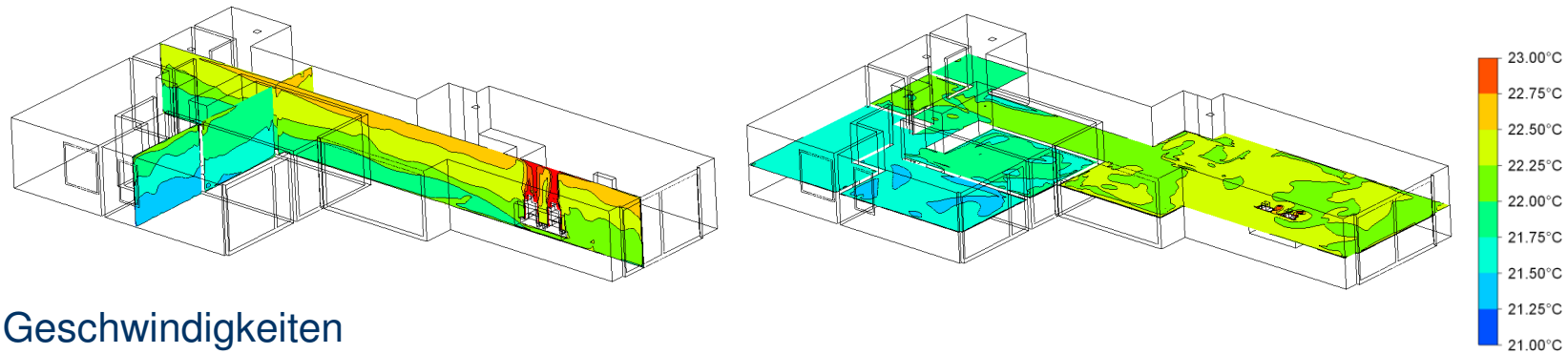


→ Die lokale CO<sub>2</sub> Konzentration zeigt, dass sich die Luft im Aufenthaltsbereich fast überall perfekt mischt.

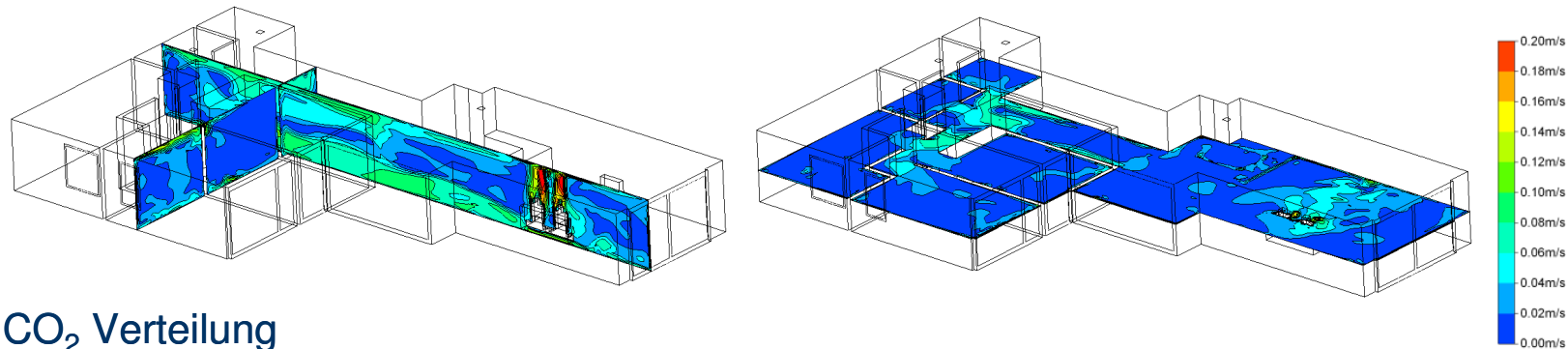


# Simulation: Resultate, Übergangszeit V02

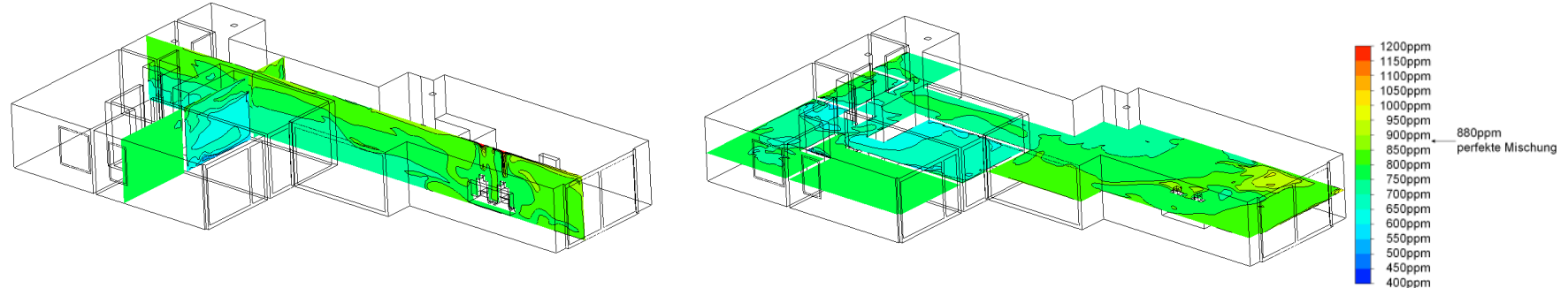
## Temperatur



## Geschwindigkeiten



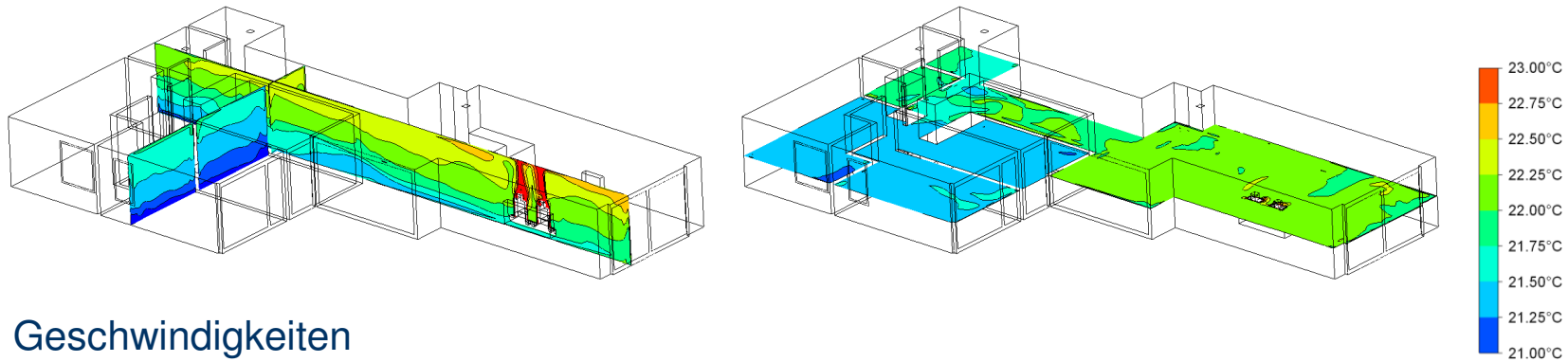
## CO<sub>2</sub> Verteilung



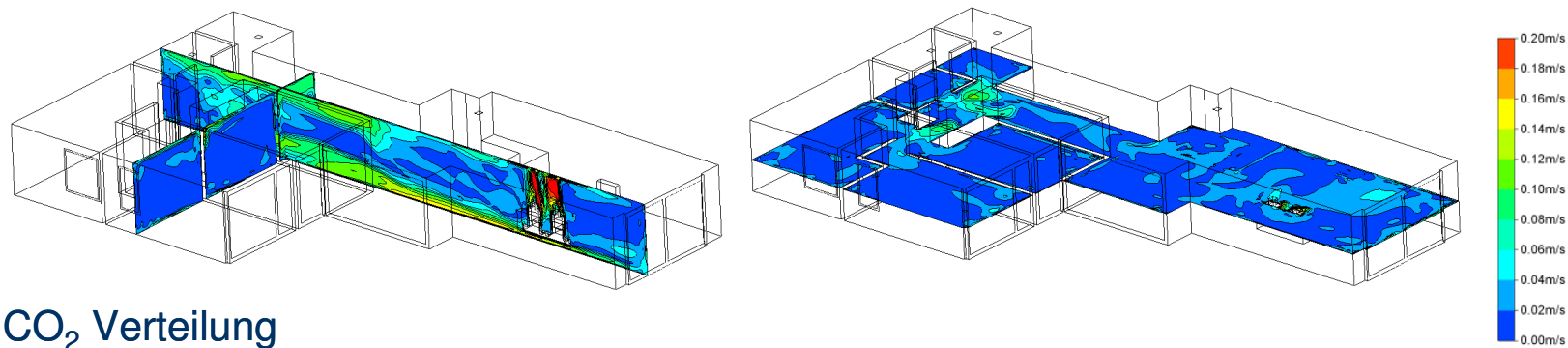
→ Die lokale CO<sub>2</sub> Konzentration zeigt, dass sich die Luft im Aufenthaltsbereich fast überall perfekt mischt.

# Simulation: Resultate, Sommer V03

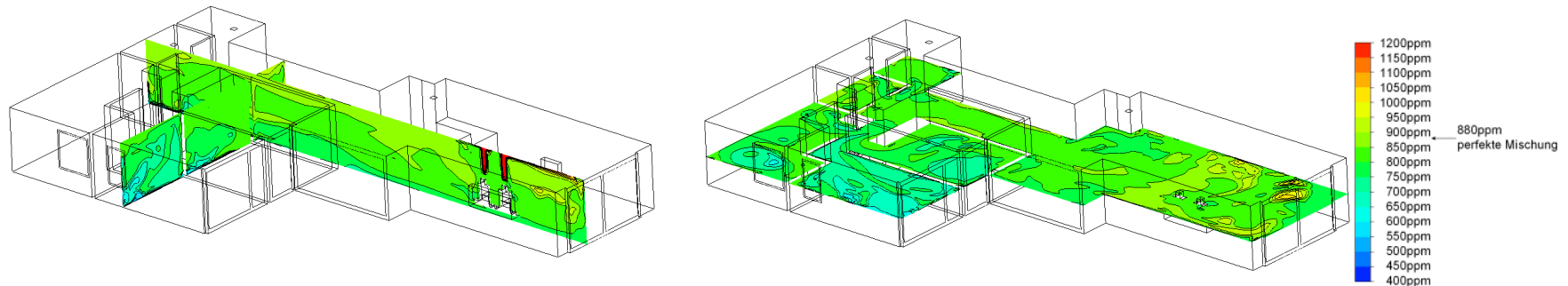
## Temperatur



## Geschwindigkeiten



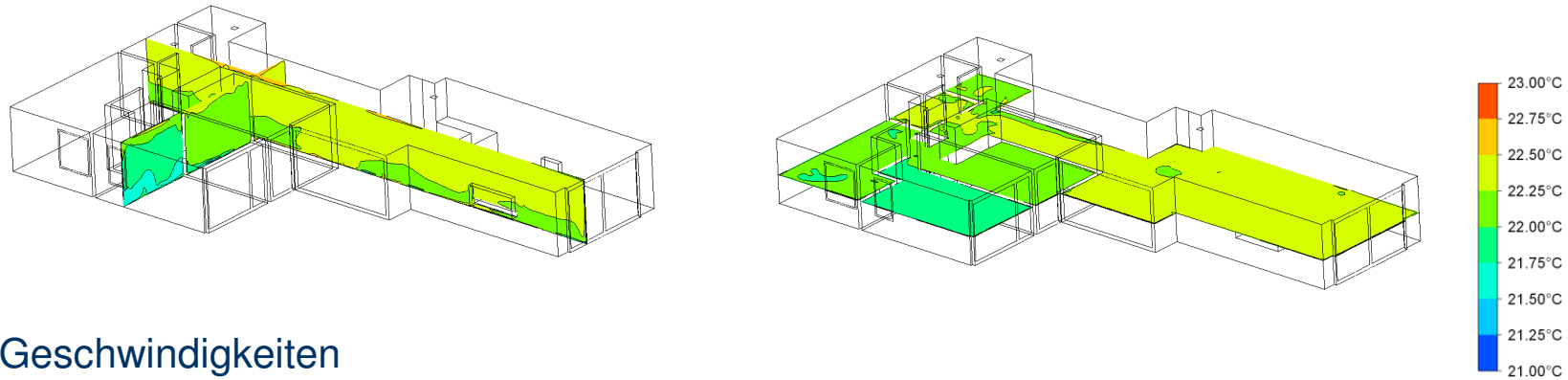
## CO<sub>2</sub> Verteilung



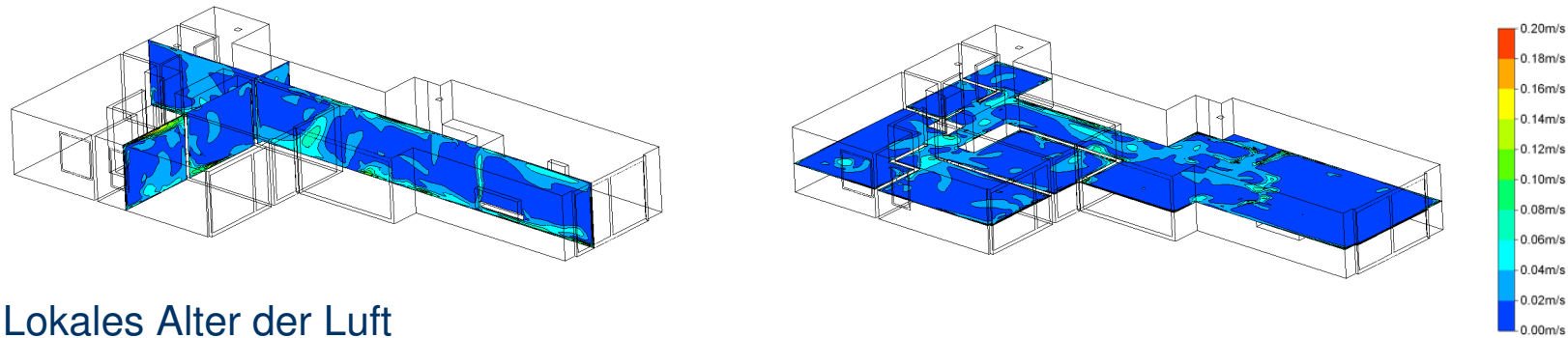
→ Die lokale CO<sub>2</sub> Konzentration zeigt, dass sich die Luft im Aufenthaltsbereich fast überall perfekt mischt.

# Simulation: Resultate, Übergangszeit V04

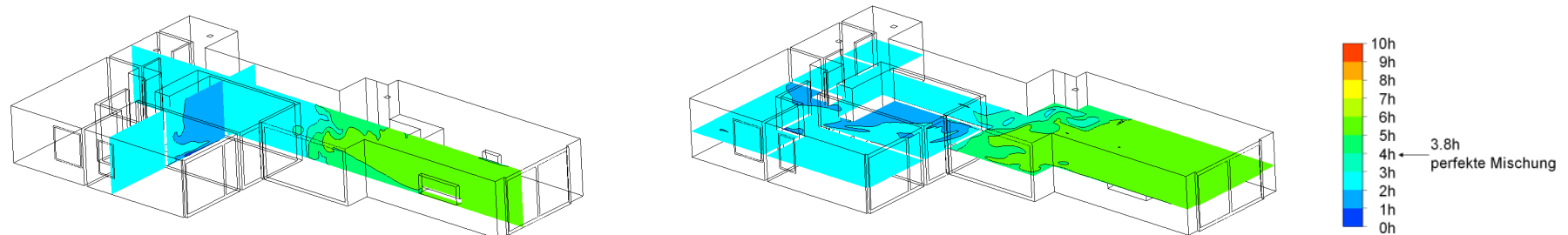
## Temperatur



## Geschwindigkeiten



## Lokales Alter der Luft



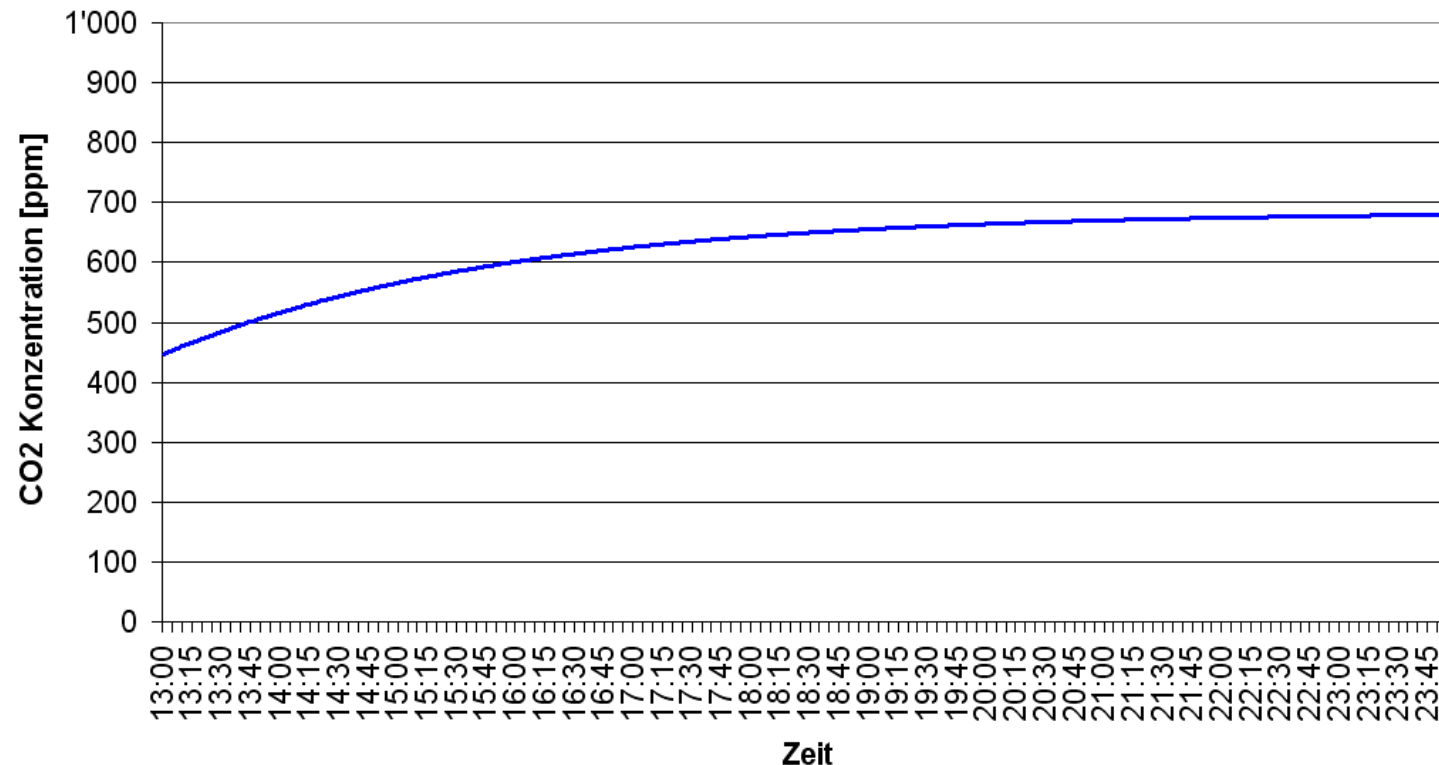
→ Die lokale alter der Luft zeigt, dass die Luft im Aufenthaltsbereich etwas über dem Wert der perfekten Mischung liegt.

- Die lokale CO<sub>2</sub> Konzentration zeigt in den Fällen mit Personenbelegung, dass sich die Luft im Aufenthaltsbereich fast überall perfekt mischt. D.h., es gibt im Bereich Essen/Wohnen keine Bereiche mit hohen CO<sub>2</sub> Konzentrationen.
- Folglich steht die erforderliche Aussenluft in diesen Bereichen zur Verfügung und das System funktioniert.
- Das lokale Alter der Luft zeigt im Fall ohne Personen und nur kleinen Temperaturdifferenzen zwischen innen und aussen, dass das Alter der Luft etwas über dem Wert der perfekten Mischung der gesamten Wohnung liegt.
- Dies zeigt, dass für das System thermische Quellen wichtig sind und dass sogar im strengsten Fall ohne thermische Quellen keine abgestandene Luft, d.h. Luft mit lokalem Alter viel grösser als der Wert der perfekten Mischung, auftritt.

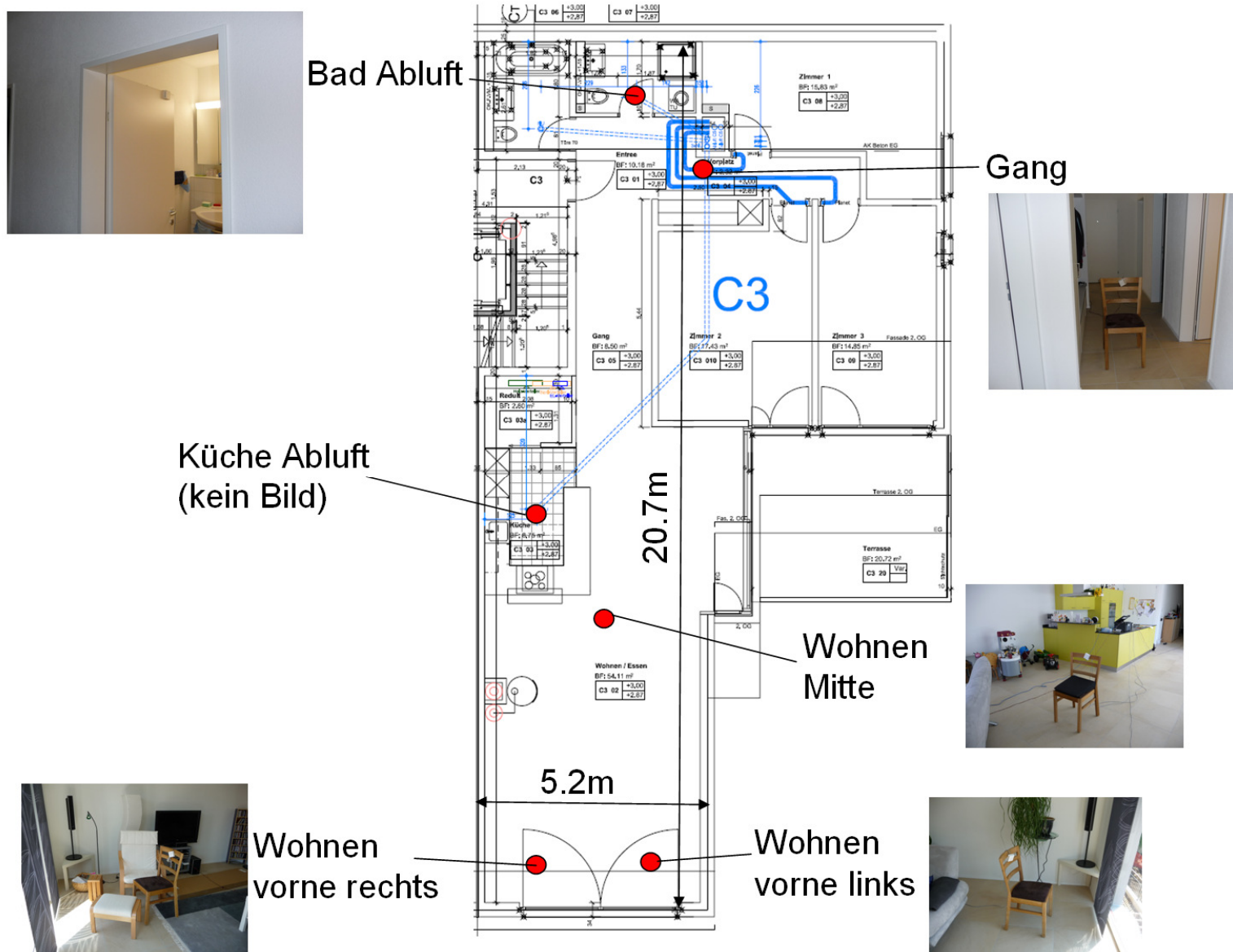
- Am 19.5.09 wurden in der Wohnung der Familie Imfeld an der Stadtbergstrasse 26 in Eglisau Messungen von CO<sub>2</sub> und Rauchvisualisierungen durchgeführt.
- Die Wohnung unterscheidet sich wie folgt von der Simulation:
  - Geometrie im Bereich der Zimmer ist etwas anders.
  - In der gemessenen Wohnung gibt es 4 anstatt 3 Zuluftöffnungen, d.h. der Zuluftvolumenstrom beträgt 120m<sup>3</sup>/h anstatt 90m<sup>3</sup>/h.
- Beide Unterschiede haben keinen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Aussagen der Simulationen und der Messungen.
- CO<sub>2</sub> Messung:
  - 2 Personen am Tisch im Bereich Essen/Wohnen, analog zur Simulation
  - Start Messung: 12:53
  - Ende Messung: 14:31
  - Aussentemperatur: ca. 25°C
  - Innentemperatur: ca. 24.5°C
- Rauchvisualisierung:
  - Rauchfreisetzung in einem Zimmer.
  - Rauch zeigt die Verteilung der Frischluft

# CO<sub>2</sub> Messungen: Berechneter Anstieg

- Im Folgenden ist der berechnete CO<sub>2</sub> Anstieg über die Zeit dargestellt. Der Vergleich mit der Messung zeigt (später im Bericht), dass die CO<sub>2</sub> Emission der beiden sitzenden Personen im Bereich von 15.0 l CO<sub>2</sub> / h (Grundlage für diese Kurve) und nicht bei 21.6 l CO<sub>2</sub> / h (Wert aus SIA 382/1 für Personen mit gewisser Aktivität) liegt.
- Die Kurve zeigt auch, dass der Anstieg von der Startkonzentration von 435ppm langsam ist und erst nach ca. 11 Stunden der stationäre Wert von 685 ppm erreicht würde. Dies ist wichtig für die Interpretation der Messkurve.

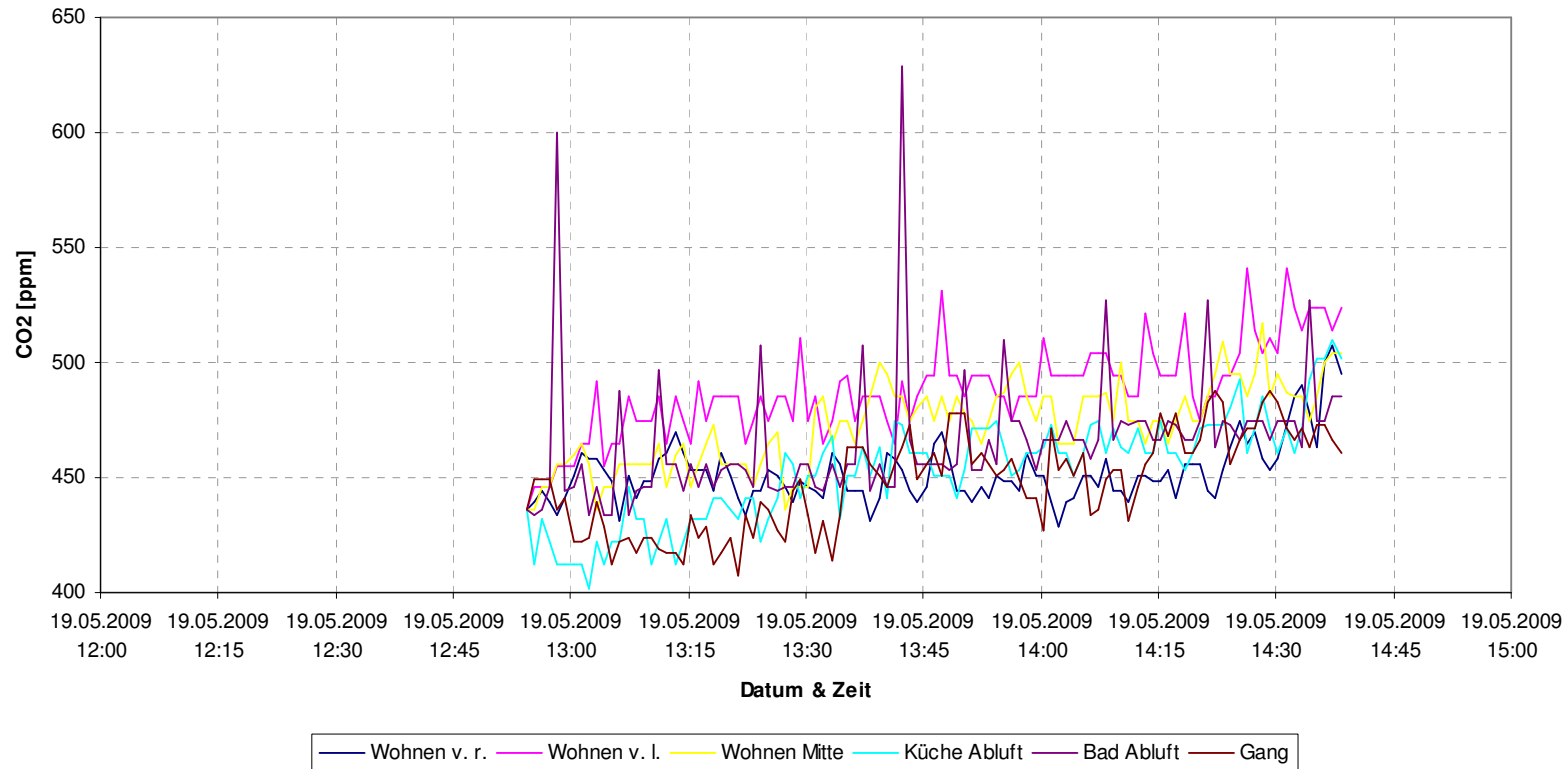


# CO<sub>2</sub> Messungen: Übersicht Positionen Sensoren





CO<sub>2</sub>-Messung Eglisau, 19.05.2009

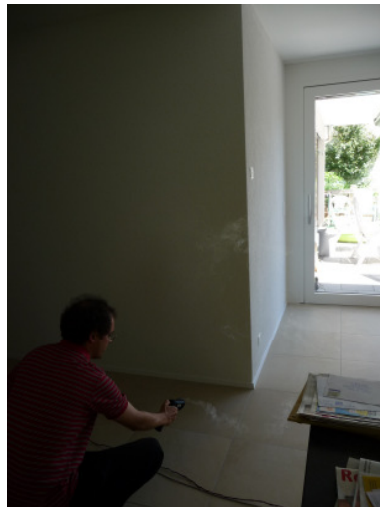
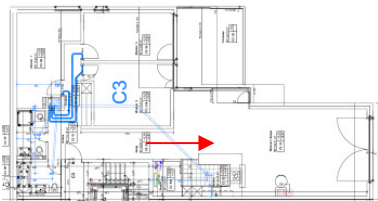


- Der Anstieg der CO<sub>2</sub> Konzentration bei allen Sensoren verläuft in etwa parallel.
- D.h. es gibt keine „Anhäufung“ von CO<sub>2</sub> im Bereich Essen/Wohnen und die Luft ist gut gemischt in der ganzen Wohnung.
- Folglich steht die erforderliche Aussenluft in diesen Bereichen zur Verfügung und das System funktioniert.



# Rauchvisualisierung: Strömung im Durchgang

Strömung aus  
Zimmerbereich in  
Bereich  
Essen/Wohnen  
in unterer Hälfte



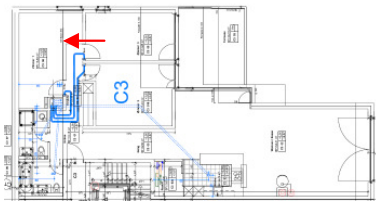
Strömung aus  
Bereich  
Essen/Wohnen in  
Zimmerbereich in  
oberer Hälfte



➔ Strömung im Durchgang führt zu einer guten Mischung in der ganzen Wohnung

# Rauchvisualisierung: Nebel (=Frischlucht) aus Zimmer

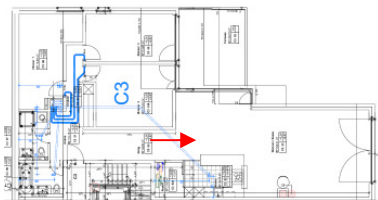
Nebel (Frischlucht)  
strömt aus  
Zimmer in Gang



Nebel strömt im  
Gang um die  
Ecke

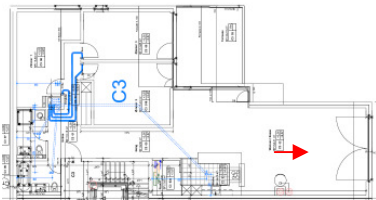


Nebel strömt  
dem Boden  
entlang in  
Bereich  
Essen/Wohnen



# Rauchvisualisierung: Strömung an Fassade

Nebel  
(=Frischluft)  
verteilt sich im  
Bereich  
Essen/Wohnen



Bereich bei Küchenabluft  
ist am längsten nebelfrei!  
D.h., es gibt sicher keine  
„Kurzschlussströmung aus  
dem Durchgang zur Abluft!



➔ Strömung im Durchgang führt zu einer guten Mischung in der ganzen Wohnung

- Strömungssimulationen, CO<sub>2</sub> Messungen und Rauchvisualisierungen zeigen Folgendes:
  - Es gibt keine „Anhäufung“ von CO<sub>2</sub> im Bereich Essen/Wohnen. D.h. es gibt im Bereich Essen/Wohnen keine Bereiche mit hohen CO<sub>2</sub> Konzentrationen.
  - Die Luft ist gut gemischt in der ganzen Wohnung.
  - Es gibt keine Kurzschlussströmung aus dem Durchgang zur Küchenabluft.
  - Voraussetzung des Systems ist das Vorhandensein von Wärmequellen.
  - Sind Personen anwesend, so funktioniert das System sehr gut.
  - Bei sehr wenig Wärmequellen und ohne Personen, funktioniert das System nicht mehr perfekt, aber immer noch gut.

## ANHANG 3: ENERGIEBILANZ UND KOSTEN

### 3.1 Energiebilanz

#### Annahmen:

- 4 1/2-Zimmerwohnung
- Wohnfläche 150 m<sup>2</sup>
- WRG-Wirkungsgrad 80%
- 3400 Heizgradtage

#### Vergleich der Energiebilanzen

	ohne Wohnzimmerzuluft	mit Wohnzimmerzuluft
Zuluft = Abluft (total Wohnung)	90 m <sup>3</sup> /h	140 m <sup>3</sup> /h
Heizwärmebedarf rund	2000 kWh/a	3100 kWh/a
Stromverbrauch des Abluftventilators*	450 kWh/a	690 kWh/a
<b>Energieverbrauch total</b>	<b>2450 kWh/a</b>	<b>3790 kWh/a</b>
	<b>100 %</b>	<b>155 %</b>

\* Die Abwärme des Zuluftventilators wird für die Zulufterwärmung genutzt.

### 3.2 Erstellungskosten

#### Annahmen

- 4 1/2-Zimmerwohnung
- Wohnfläche: 150 m<sup>2</sup>

Auf der Basis von ausgeführten Anlagen wurden die Erstellungskosten wie folgt geschätzt:

- Erstellungskosten für 1 Wohnung ohne Wohnzimmerzuluft: 10'000 CHF
- Mehrkosten für zusätzlichen Auslass im Wohnzimmer: Zuleitung, grösseres Gerät, grössere Leitungsquerschnitte: 3'000 CHF/Wohnung

#### Kostenvergleich

	ohne Wohnzimmerzuluft	mit Wohnzimmerzuluft
Erstellungskosten pro Wohnung	<b>CHF 10'000</b>	<b>CHF 13'000</b>
	<b>100 %</b>	<b>130 %</b>

### 3.3 Lebenszykluskosten

Im Rahmen des Legislatorschwerpunkts "2000-Watt-Gesellschaft" wurde eine Matrix entwickelt, um die Lebenszykluskosten von energierelevanten Massnahmen zu ermitteln (Details siehe nächste Seiten). In diesen Zahlen ist die Energieeinsparung durch verminderte Fensterlüftung nicht berücksichtigt. Sie beträgt ca. 100 bis 200 CHF pro Jahr je nach Bewohnerverhalten.

	ohne Wohnzimmerzuluft	mit Wohnzimmerzuluft
<b>Mittlere Jahreskosten</b>	<b>859 CHF/a</b>	<b>1074 CHF/a</b>
	<b>100 %</b>	<b>125 %</b>