



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

Zwischenbericht 4. Juli 2011

---

# **Optimierte automatische Fensterlüftung in Wohnbauten**

## Regelungskonzept

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

Window Master AG, CH-4632 Trimbach  
4B Fenster AG, CH-6281 Hochdorf  
Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, CH-8021 Zürich  
Basel-Stadt, Amt für Umwelt und Energie, CH-4019 Basel

**Auftragnehmer:**

Fachhochschule Nordwestschweiz  
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik  
Institut Energie am Bau  
St. Jakobs-Strasse 84  
CH-4132 Muttenz  
[www.fhnw.ch/habq/iebau](http://www.fhnw.ch/habq/iebau)

**Autoren:**

Heinrich Huber, Fachhochschule Nordwestschweiz, [heinrich.huber@fhnw.ch](mailto:heinrich.huber@fhnw.ch)  
Martin Pfirter, Fachhochschule Nordwestschweiz, [martin.pfirter@fhnw.ch](mailto:martin.pfirter@fhnw.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Andreas Eckmanns

**BFE-Programmleiter:** Charles Filleux

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 154380 / 103321

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

1. Ziele und Anforderungen an die Regelungsstrategie .....	4
1.1. Allgemeines .....	4
1.2. Prioritäten .....	4
1.3. Störfall .....	4
1.4. Sicherheit.....	4
1.4.1. Verletzungsschutz .....	4
1.4.2. Einbruchschutz .....	4
1.5. Witterungsschutz .....	5
1.6. Thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität .....	5
1.7. Schall.....	5
1.7.1. Aussenlärm.....	5
1.7.2. Störung durch Funktionsgeräusche .....	5
1.8. Fenster als Aussenluft-Durchlässe für Abluftanlagen .....	5
1.9. Feuchteschutz (bauphysikalisch) .....	6
1.10. Sommerlicher Wärmeschutz .....	6
2. Umsetzung der Regelung .....	6
2.1. Störfall .....	6
2.2. Sicherheit.....	7
2.2.1. Verletzungsschutz .....	7
2.2.2. Einbruchschutz .....	8
2.3. Witterungsschutz .....	9
2.4. Komfortbetrieb .....	9
2.4.1. Komfortbetrieb Sommer .....	11
2.4.2. Komfortbetrieb Winter / Übergangszeit .....	11
2.4.3. Berücksichtigung von Luftbefeuchtern .....	12
2.5. Schall.....	12
2.5.1. Aussenlärm.....	12
2.6. Aussenluft-Durchlässe.....	12
2.7. Feuchteschutz .....	13
2.8. Sommerlicher Wärmeschutz (freie Kühlung) .....	14
2.9. Justierung .....	15
2.10. Betrieb bei belegten Räumen.....	15
2.11. Betrieb bei nicht belegten Räumen .....	15
2.12. Betrieb bei tiefen Aussentemperaturen.....	16
3. Vergleich der WindowMaster-Systeme .....	16
4. Wahl der Systeme .....	18

# Regelungskonzept

## 1. Ziele und Anforderungen an die Regelungsstrategie

### 1.1. Allgemeines

Mit dem Einsatz einer geeigneten Regelungsstrategie soll primär ein angenehmes Wohnklima erreicht werden. Zudem soll die Wohnung möglichst Energieeffizient belüftet sein. Um maximale Ergebnisse zu erzielen soll die Regelung der Fensterlüftung kombiniert über den CO<sub>2</sub>-Gehalt, die Raumluftfeuchte und die Raumtemperatur erfolgen.

Die Bewohnerinnen und Bewohner sollen nicht durch häufiges Öffnen und Schliessen der Fenster irritiert werden. In belegten Räumen wird daher eine kontinuierliche Lüftung mit wenigen Fensterbewegungen angestrebt.

### 1.2. Prioritäten

Die Funktionsprioritäten sind wie folgt definiert:

Prioritätsstufe	Funktion
1	Störfall
2	Sicherheit
3	Witterungsschutz
4	Thermische Behaglichkeit & Raumluftqualität (Komfortbetrieb)
5	Schall
6	Fenster als Aussenluftdurchlässe
7	Feuchteschutz (bauphysikalisch)
8	Sommerlicher Wärmeschutz

Tabelle 1: Prioritäten der Funktionsstufen

Diese Prioritäten sind stets einzuhalten.

### 1.3. Störfall

Bei Störfällen (z.B. Chemiealarm) müssen alle Fenster geschlossen werden können. Dies erfolgt über einen Sicherheitsschalter, der von Hand betätigt werden kann. Die Fenster dürfen sich so lange nicht mehr öffnen, bis die Störfall-Funktion deaktiviert wurde.

### 1.4. Sicherheit

#### 1.4.1. Verletzungsschutz

Die Anforderungen an den Verletzungsschutz sind gemäss Norm EN 60335-2-103 einzuhalten.

#### 1.4.2. Einbruchschutz

Die Steuerung muss über eine Funktion verfügen, bei der der Nutzer beim Verlassen des Hauses in den Modus "Einbruchschutz" wechseln kann. Diese Funktion bewirkt eine Begrenzung des Öffnungsspalts.

## 1.5. Witterungsschutz

Bei Regen müssen die Fenster auf der Wetterseite (Fassaden mit Regenbeaufschlagung) schliessen.

Bei Sturm müssen alle Fenster schliessen.

## 1.6. Thermische Behaglichkeit und Raumlufqualität

Die Anforderungen an die Thermische Behaglichkeit und Raumlufqualität werden anhand der Norm SIA 381/1 und der Merkblätter SIA 2023 und SIA 2024 festgelegt:

Schlafzimmer	Winter	Sommer
Raumlufqualität	18°C - 20°C	20 - 26°C
Raumlufteuchte	30% r.F. - 50% r.F.	40% r.F. - 70% r.F.
CO <sub>2</sub> -Gehalt:	400 ppm - 1500 ppm	400 ppm - 1500 ppm

Tabelle 2: Behaglichkeitsbereiche eines Schlafzimmers

Wohn- und Arbeitszimmer	Winter	Sommer
Raumlufqualität	20 - 22°C	22 - 26°C
Raumlufteuchte	30% r.F. - 50% r.F.	40% r.F. - 70% r.F.
CO <sub>2</sub> -Gehalt:	400 ppm - 1500 ppm	400 ppm - 1500 ppm

Tabelle 3: Behaglichkeitsbereiche eines Wohn- und Arbeitszimmers

Bei tiefen Aussentemperaturen muss damit gerechnet werden, dass die Raumlufteuchte unter 30% sinkt. In dieser Zeit wird ein CO<sub>2</sub>-Gehalt von 1000 bis 1800 ppm angestrebt.

In Anlehnung an SIA 2023 wird bei nicht oder schwach belegten Wohnungen ein minimaler Luftwechsel von ca. 0,2 h<sup>-1</sup> angestrebt.

## 1.7. Schall

### 1.7.1. Aussenlärm

In Zeiten mit hoher Aussenlärmbelastung (Strassenverkehr, Fluglärm) sollen die Fenster für beschränkte Zeiten (z.B. 1 Stunde) geschlossen bleiben. Diese Zeiten müssen individuell vom Nutzer programmierbar sein.

Beispiel: Beginn der Anflugzeit Flughafen Zürich 06:00 bis 07:00

### 1.7.2. Störung durch Funktionsgeräusche

Während der Nacht sollen Personen nicht durch Funktionsgeräusche (Knacken, Motorgeräusch) gestört werden.

Ein erstes Entriegeln und Öffnen nach Belegung des Raumes wird aber akzeptiert.

## 1.8. Fenster als Aussenluft-Durchlässe für Abluftanlagen

Bei Abluftanlagen (Bad, WC, Küche) sollen einzelne Fenster soweit geöffnet werden, dass kein unzulässiger oder unerwünschter Unterdruck in der Wohnung entsteht (vgl. SIA 384/1 und SIA 2023).

Der Öffnungsspalt soll so gross sein, dass der Unterdruck in der Wohnung max. 4 Pa beträgt.

## 1.9. Feuchteschutz (bauphysikalisch)

Bei tiefen Aussentemperaturen soll die maximale relative Raumlufffeuchte den Anforderungen die SIA 180 erfüllen. Der Feuchteschutz hat die Aufgabe Oberflächenkondensat und Schimmelpilzbefall an Oberflächen zu verhindern. Gemäss SIA 180, 6.2.1.3 verlangt das Kriterium Schimmelpilzfreiheit, dass die Oberflächenfeuchte (relative Feuchte der oberflächennahen Luftschicht) den Wert von 80% nicht langfristig übersteigt. Damit die Anforderungen erfüllt sind dürfen gemäss SIA 180, Tabelle 5 die folgenden relativen Raumlufffeuchten nicht überschritten werden:

Aussenlufttemperatur $\theta_e$ in °C	+20	+15	+10	+5	0	-5	-10	-15	-20
$V_{i,max}$ in g/m <sup>3</sup>	13.5	11.9	10.5	9.3	8.2	7.3	6.5	5.8	5.2
$p_{i,max}$ in Pa	1823	1605	1418	1255	1114	988	880	786	703
$\phi_{i,max}$ in % bei $\theta_i = 20^\circ\text{C}$	78	69	61	54	48	42	38	34	30
Taupunkttemperatur $\theta_{i,D}$ in °C	16.0	14.1	12.2	10.3	8.6	6.8	5.1	3.5	1.9

Tabelle 4: Maximal zulässige Raumlufffeuchte in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur

## 1.10. Sommerlicher Wärmeschutz

Im Sommer werden die automatisierten Fenster für die freie Kühlung eingesetzt. Die Öffnung erfolgt dabei unabhängig von der Personenbelegung.

In Wohnungen ist es meistens nicht notwendig Wärmegewinne zeitgleich abzuführen. In der Regel genügt es, wenn die am Tag anfallende Wärme über die folgende Nacht wieder abgegeben wird. Der Temperatúrausgleich am Tag erfolgt durch die Speichermasse des Gebäudes. Um ein komfortables Klima erreichen zu können, muss die Speichermasse während den Nacht- und Morgenstunden mit kühler Luft intensiv belüftet und damit ausgekühlt werden. Da der grösste Teil der in der Schweiz bestehenden Mehrfamilienhäuser in Massivbauweise erstellt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass in der Regel genügend Masse vorhanden ist.

Mit der freien Kühlung kann ein grosser Beitrag zum Vorbeugen von Überhitzung geleistet werden. Damit dies funktioniert wird jedoch vorausgesetzt, dass eine genügend grosse Speichermasse und ein aussenliegender beweglicher Sonnenschutz mit Roll-Läden oder Rafflamellenstoren vorhanden ist.

# Regelungsstrategie

## 2. Umsetzung der Regelung

### 2.1. Störfall

Die Störfall-Funktion gibt den Gebäudebewohnern jederzeit die Möglichkeit manuell in die Steuerung einzugreifen. Diese Funktion hat oberste Priorität, das heisst unmittelbar nach der Aktivierung werden die Fenster geschlossen, egal in welchem Betriebszustand sich das System momentan befindet. Die Fenster müssen anschliessend so lange geschlossen bleiben, bis die Störfall-Funktion wieder deaktiviert wurde. Ab diesem Zeitpunkt darf das System wieder seinen normalen Betrieb aufnehmen.

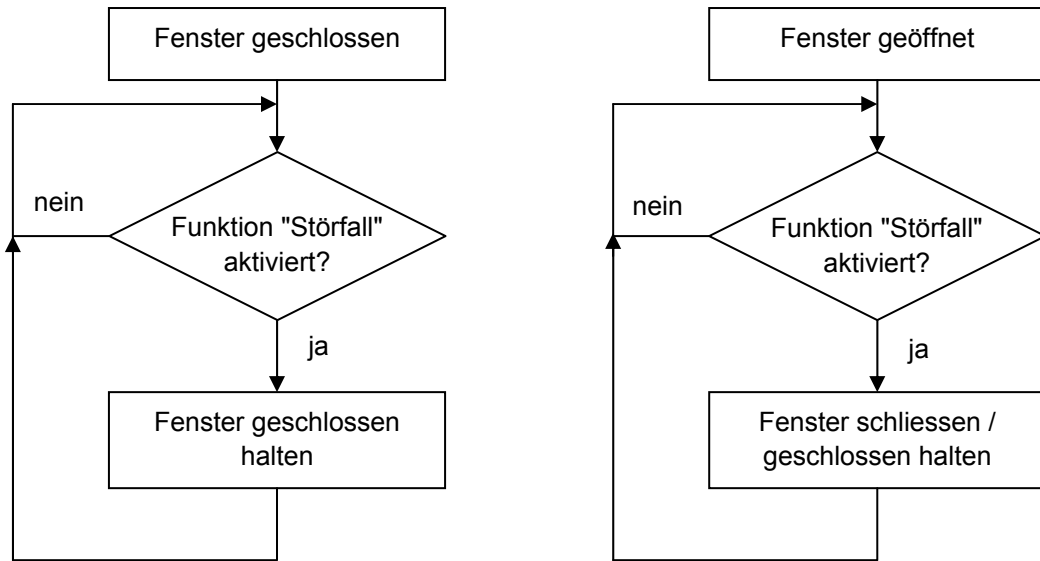


Abbildung 1: Regelungsschema "Störfall"

## 2.2. Sicherheit

### 2.2.1. Verletzungsschutz

Der Verletzungsschutz garantiert, dass nichts zwischen dem Fenster eingeklemmt werden kann. Befindet sich im schliessenden Zustand ein Gegenstand in der Öffnung, so wird dies vom System erkannt, die Fenster öffnen sich mit maximaler Umdrehungszahl des Motors auf den maximalen Winkel.

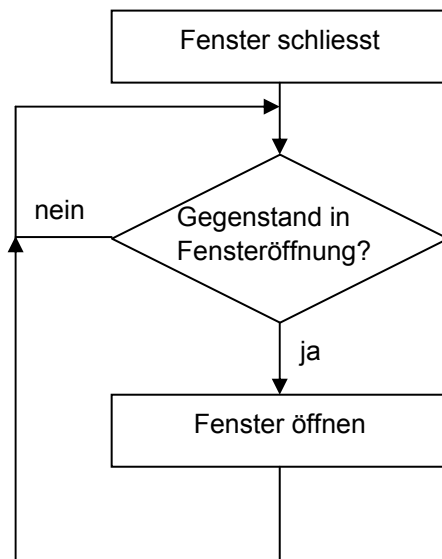


Abbildung 2: Regelungsschema "Verletzungsschutz"

### 2.2.2. Einbruchschutz

Die Funktion Einbruchschutz erhöht die Sicherheit gegenüber Betreten der Wohnung von Unbekannten. Beim Verlassen der Wohnung kann der Bewohner den Einbruchschutz aktivieren. Dadurch wird dem System ein maximaler Öffnungswinkel vorgegeben. Fenster die sich in geöffnetem Zustand befinden und deren Öffnungswinkel grösser ist als der zulässige Winkel, werden unmittelbar nach Aktivierung der Funktion zurückreguliert. Der maximal zulässige Öffnungswinkel bleibt so lange bestehend, bis die Funktion deaktiviert wird.

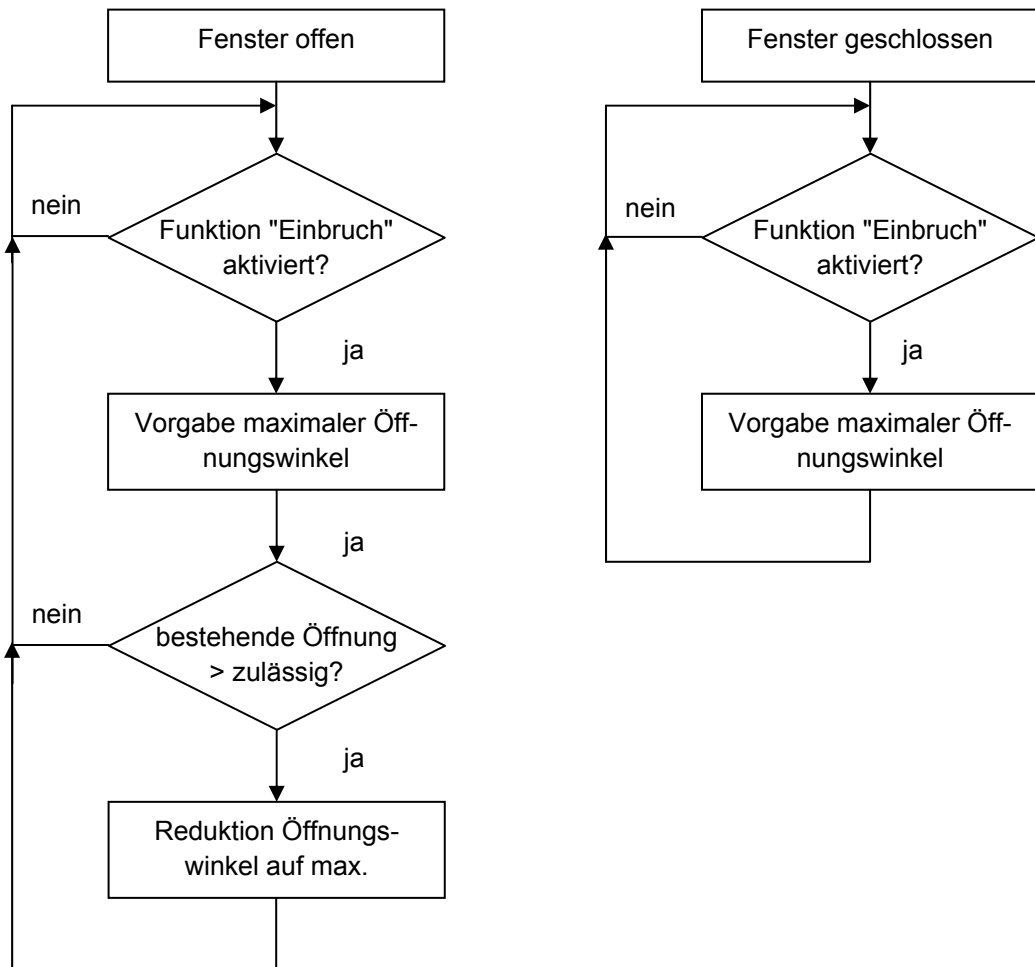


Abbildung 3: Regelungsschema "Einbruchschutz"

### 2.3. Witterungsschutz

Der Witterungsschutz sorgt dafür, dass sich geöffnete Fenster während eines Niederschlags schliessen. Damit wird verhindert, dass ungewollt Flüssigkeit, Hagel oder Schnee in die Wohnung gelangt. Meldet der Regensensor, dass ein Fenster von Niederschlag betroffen ist, so wird dieses Fenster unmittelbar mit maximaler Drehzahl des Motors geschlossen. Bekommt ein Fenster den Befehl sich zu öffnen, wird überprüft, ob der Regensensor angibt, ist dies der Fall, muss das Fenster geschlossen gehalten werden. Das System wird wieder in seinen Betriebszustand zurückgesetzt, sobald der Regensensor keinen Niederschlag mehr meldet.

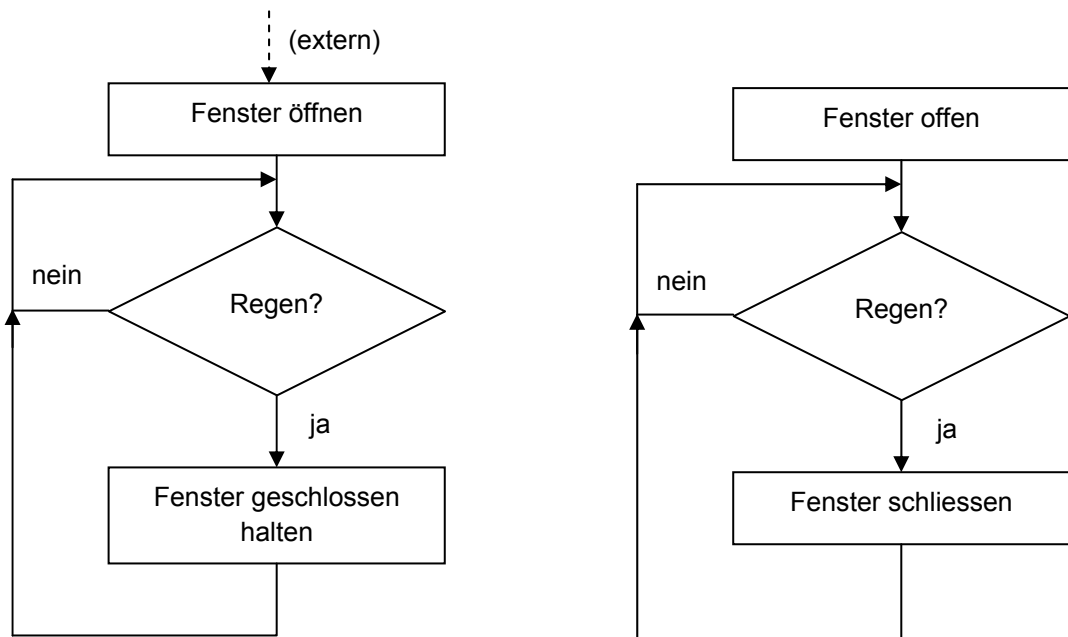


Abbildung 4: Regelungsschema "Witterungsschutz"

### 2.4. Komfortbetrieb

Der Komfortbetrieb verlangt, dass die unter den Tabellen 3 & 4 aufgeführten Grenzwerte eingehalten werden. Grundsätzlich erfolgt im Regelbetrieb ein stetiger Vergleich zwischen den Ist- und Grenz-Werten für Temperatur, Feuchte und CO<sub>2</sub>. Es werden stetig alle drei Größen aufgenommen und verglichen. Öffnet sich ein Fenster aufgrund einer zu hohen CO<sub>2</sub>-Belastung, so wird auch die Innenraumtemperatur und die Raumlufffeuchtigkeit sinken, vorausgesetzt, die Aussenlufttemperatur ist niedriger als die Innenraumtemperatur. Erreicht nun entweder die Raumtemperatur oder die Raumlufffeuchtigkeit ihren unteren Grenzwert, so wird das Fenster geschlossen, unabhängig davon, ob der CO<sub>2</sub>-Pegel immer noch zu hoch ist.

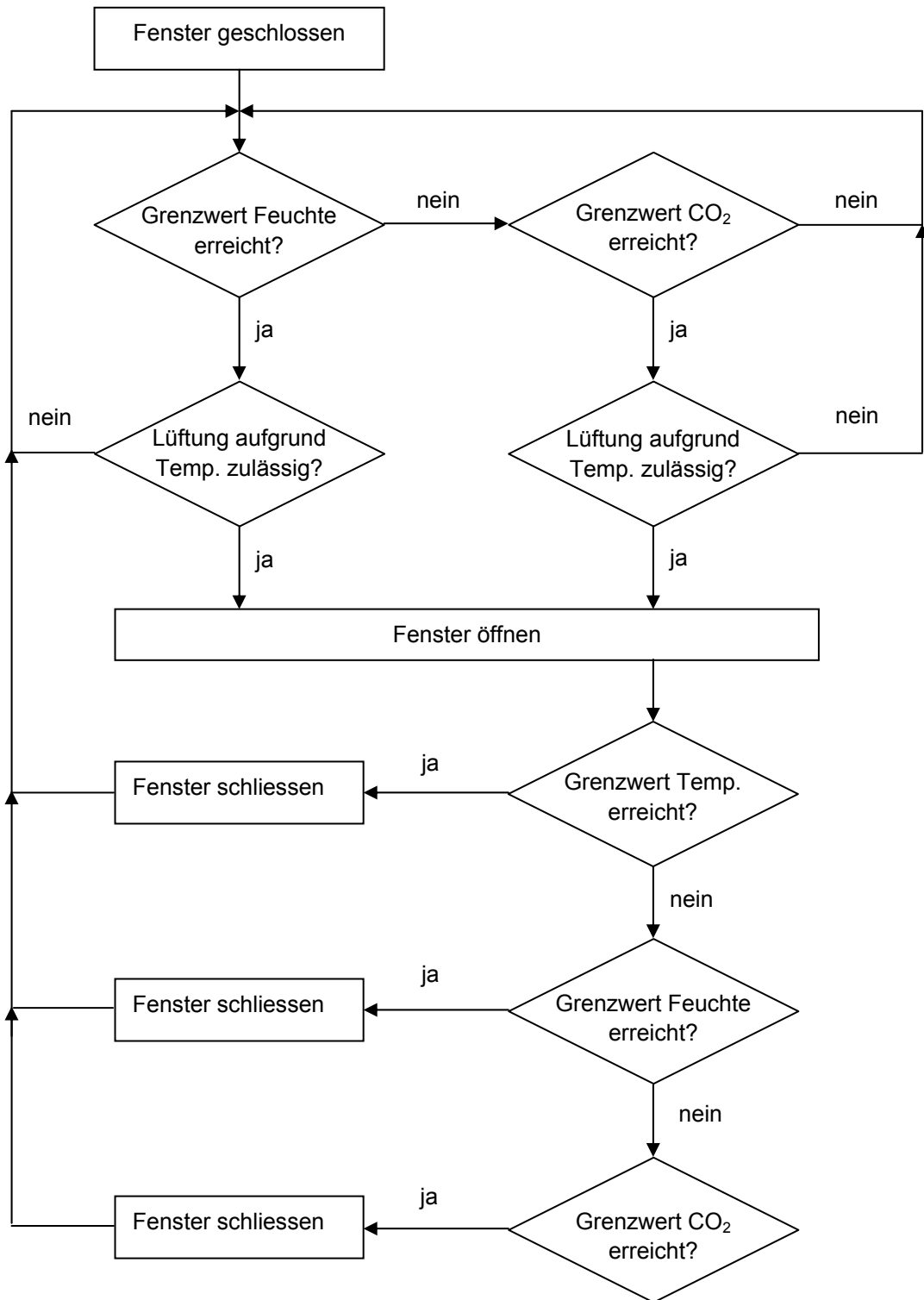


Abbildung 5: Regelungsschema "Komfortbetrieb"

### 2.4.1. Komfortbetrieb Sommer

Im Sommer werden die Grenzwerte für Feuchte und Temperatur selten überschritten, aus diesem Grund ist der CO<sub>2</sub>-Pegel massgebend. Aufgrund der Nachtauskühlung das das CO<sub>2</sub> kontinuierlich abtransportiert. Für ein Schlafzimmer mit einer Nettogeschossfläche von 20 m<sup>2</sup>, belegt mit 2 Personen mit einem mittleren Luftwechsel von 0.9 ergibt sich bei einer CO<sub>2</sub>-Konzentration der Aussenluft von 400 ppm folgende Kurve:

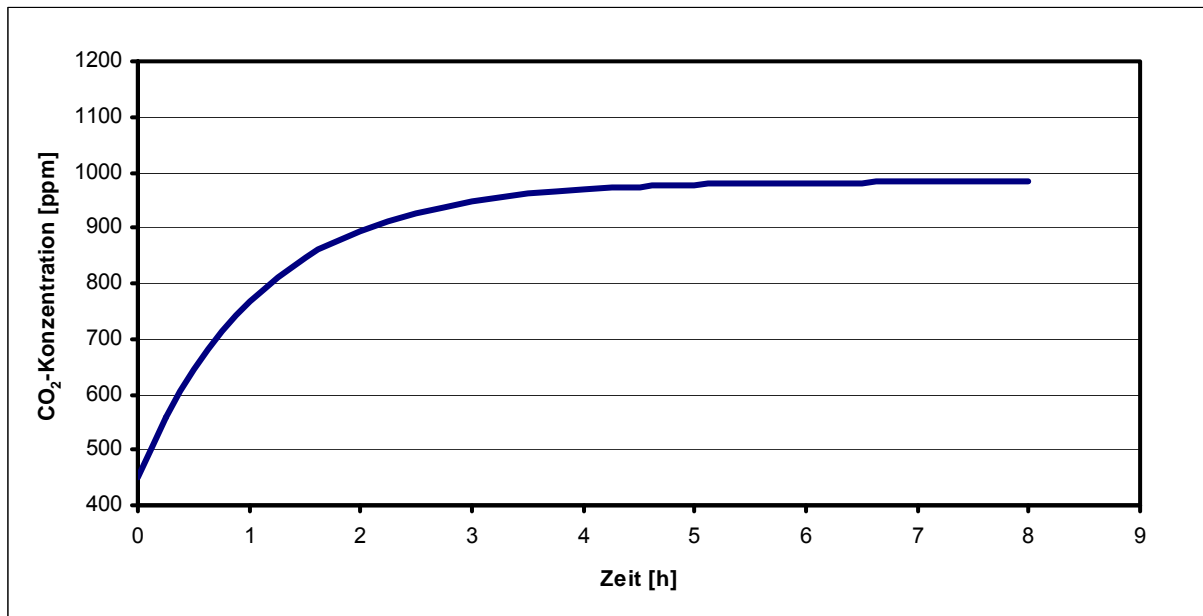


Abbildung 6: Verlauf des CO<sub>2</sub>-Pegels bei Dauerlüftung

Bei einem Startwert von 450 ppm nähert sich die Kurve einem Grenzwert von 1000 ppm an. Aufgrund der Nachtauskühlung sind die Anforderungen an den Komfort also stets eingehalten.

### 2.4.2. Komfortbetrieb Winter / Übergangszeit

Im Winter und in der Übergangszeit wird es selten möglich sein, die ganze Nacht zu lüften. Die Raumtemperatur würde zu tief absinken. Es werden jeweils kurze Lüftungsintervalle möglich sein (z.B. 15 min) bevor die Temperatur oder Feuchte zu tief absinkt und das Fenster wieder geschlossen werden muss. Aus diesem Grund wird sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration aufschaukeln, wodurch höhere CO<sub>2</sub>-Pegel in Kauf genommen werden müssen.

→ Lüftungszeit ergibt sich anhand unterer Temperatur- oder Feuchtegrenze.

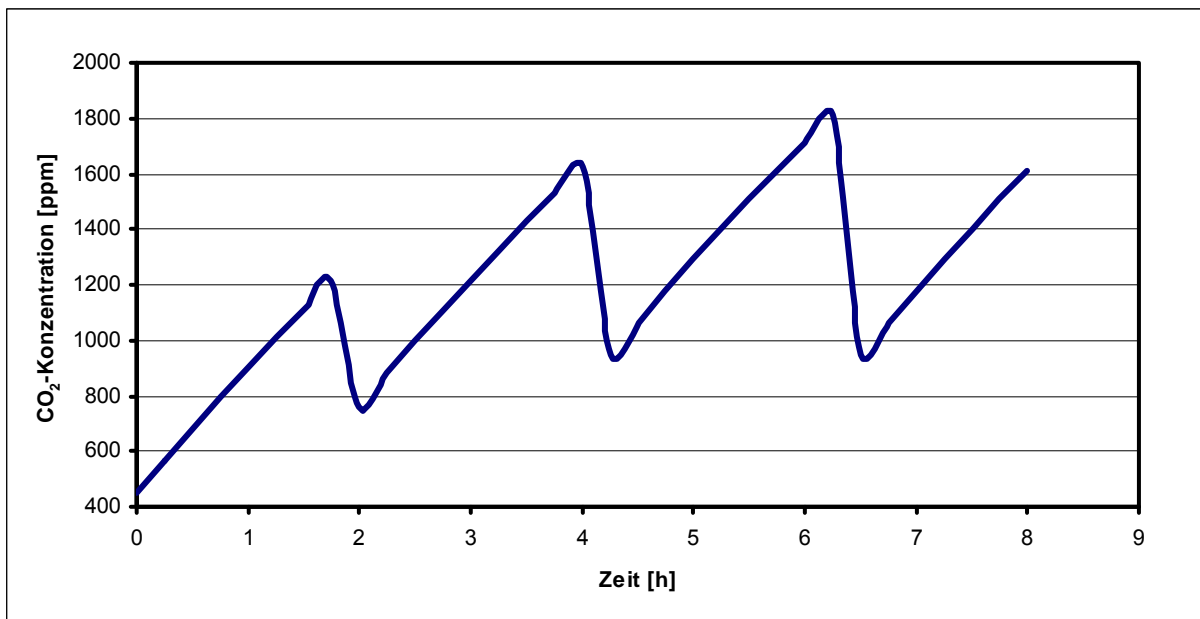


Abbildung 7: Verlauf des CO<sub>2</sub>-Pegels bei Intervalllüftung

### 2.4.3. Berücksichtigung von Luftbefeuchtern

Im Winter besteht aufgrund niedriger Oberflächentemperaturen die Gefahr von Schimmelpilzbildung. Diese Gefahr wird durch hohe Raumluftfeuchtigkeiten verstärkt, egal ob diese Feuchtigkeit "natürlich" oder "künstlich" entsteht. Aus diesem Grund: Keine Rücksichtnahme auf Raumluftbefeuchtern. → Bewohner sind zu instruieren.

## 2.5. Schall

### 2.5.1. Aussenlärm

Ist für bestimmte Zeitpunkte bekannt, dass sich grosser Aussenlärm entwickelt, kann programmiert werden, dass in dieser Zeit die Fenster geschlossen werden.

### 2.6. Aussenluft-Durchlässe

Um einem Unterdruck im Gebäude vorzubeugen, kann ein (Küchen-)Fenster so mit der Dunstabzugshaube verbunden werden, dass sich das Fenster öffnet, sobald die Dunstabzugshaube eingeschaltet wird. Der Öffnungswinkel ist dabei fest.

Der Zustand wird wieder freigegeben, sobald die Dunstabzugshaube ausgeschaltet wird. Ist eine Fensteröffnung zu diesem Zeitpunkt nicht aus anderen Gründen erwünscht, werden die Fenster geschlossen.

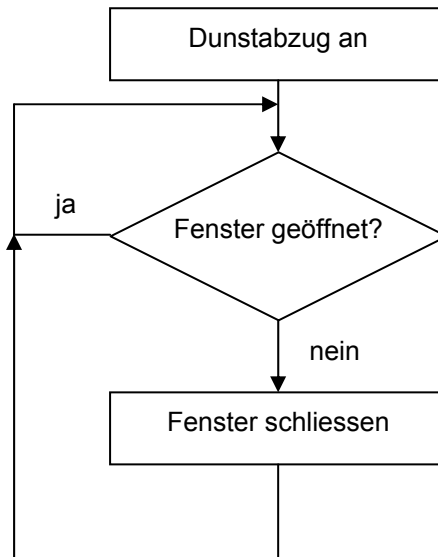


Abbildung 8: Regelungsschema "Aussenluft-Durchlässe"

## 2.7. Feuchteschutz

Um den Feuchteschutz gemäss SIA 180 zu garantieren, müssen unter Berücksichtigung der Aussentemperaturen folgende Raumlufffeuchtigkeiten eingehalten werden:

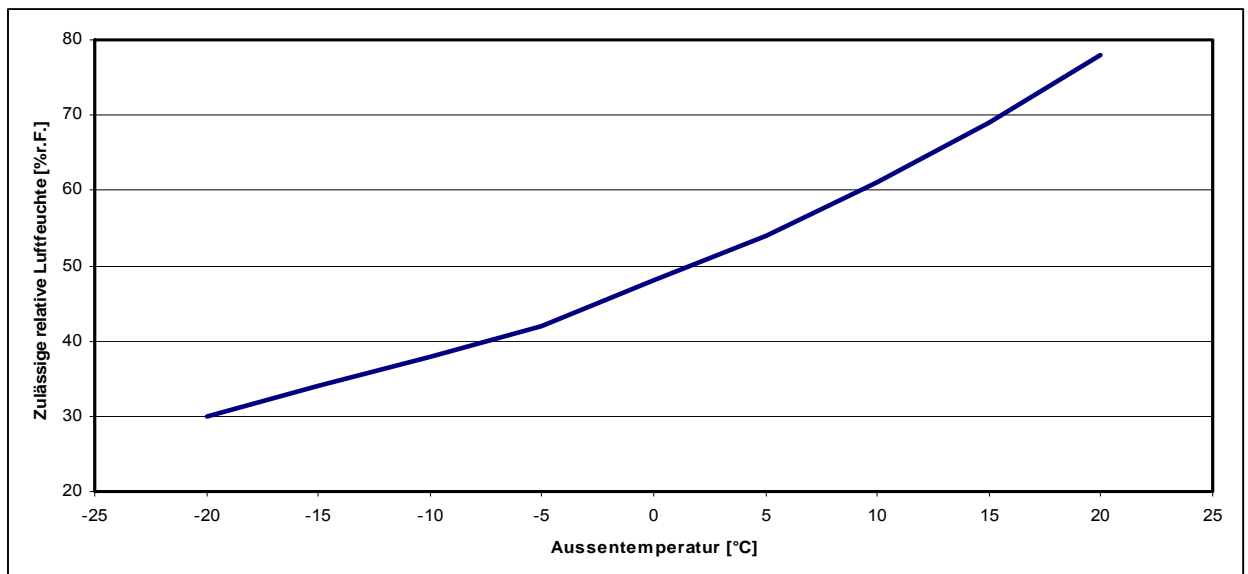


Abbildung 9: Zulässige relative Raumlufffeuchte in Abhängigkeit der Aussentemperatur

Anmerkung: Auch im Sommer können nachts kalte Temperaturen auftreten. Die Gefahr der Schimmelpilzbildung ergibt sich jedoch nicht, weil Gebäudemasse nicht konstant kalt ist.

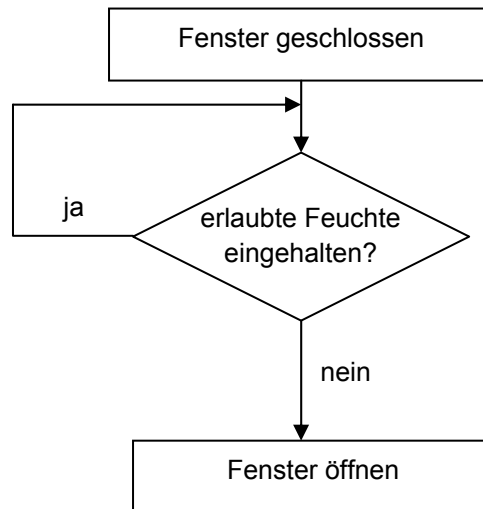


Abbildung 10: Regelungsschema "Feuchteschutz"

## 2.8. Sommerlicher Wärmeschutz (freie Kühlung)

Da vor allem in Schlafzimmern Regulierungsbewegungen störend wirken können, soll das Fenster zu einer bestimmten Zeit öffnen und die ganze Nacht mit dem selben Öffnungswinkel anstehen, ausser wenn das Fenster aufgrund eine Benutzereingriffes, Regen oder Unterkühlung des Raumes geschlossen wird.

Um die Auswirkungen der freien Kühlung abschätzen zu können, wurde durch ein iteratives Verfahren abgeschätzt, wie sich ein kritischer Raum (Schlafzimmer) verhält.

Randbedingungen:

Fenstergrösse:  $h \times b = 1.3 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$

Kippwinkel:  $10^\circ$

Nettogeschossfläche:  $20 \text{ m}^2$

Raumvolumen:  $50 \text{ m}^3$

Ausrichtung: Süden

g-Wert Fenster: 0.56

g x z-Wert: 0.10

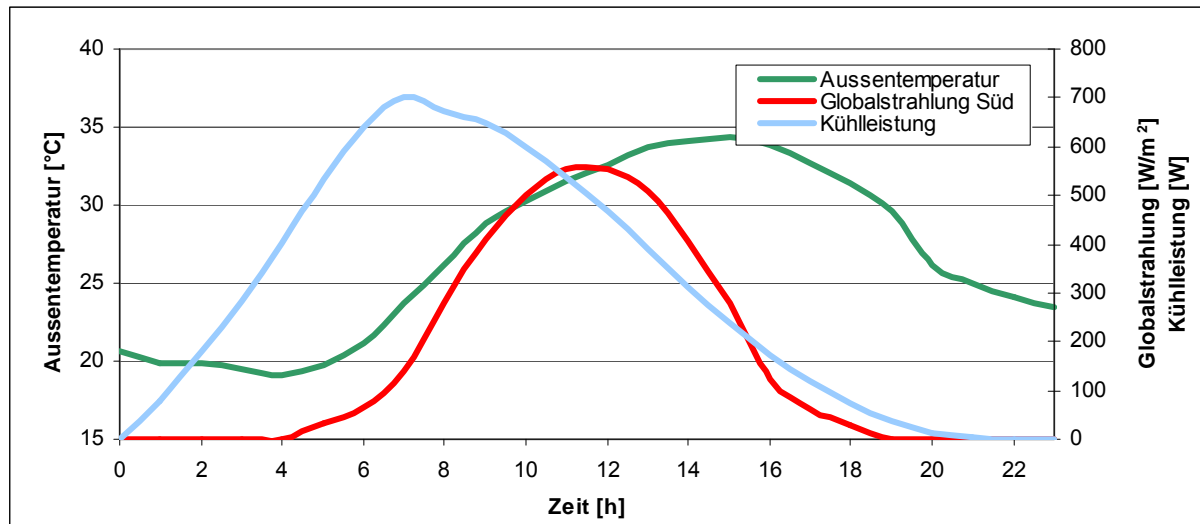


Abbildung 11: Globalstrahlung, Aussentemperatur & Kumulative Kühlleistung

Für die Klimadaten wurde der 03.08.2003 für die Klimastation Basel gewählt. Die mittlere Tagestemperatur beträgt 26.7 °C.

Da es sich um einen kleinen Raum handelt der frontal nach Süden ausgerichtet ist, wird angenommen, dass der aussenliegende Sonnenschutz von 06.00 Uhr bis 18.00 Uhr betätigt ist.

Betrachtet man den Verlauf der Kühlleistung so ist zu erkennen, dass die Aussentemperatur ab ca. 06.00 Uhr über die Innenraumtemperatur steigt und die Speicher somit wieder mit Wärme gefüllt werden. → Kühlleistung nimmt ab. (Kumulative Kühlleistung!!!) Es ergibt sich eine durchschnittliche Innenraumtemperatur von 24°C. In der Nacht stellen sich also behagliche Temperaturen ein. Es ergibt sich über die Nacht ein durchschnittlicher Luftwechsel  $n$  von 0.9, dies entspricht einem Luftvolumenstrom von rund 47 m<sup>3</sup>/h → Betrachtung nur thermisch, also ohne Luftaustausch durch Winddruck.

## 2.9. Justierung

Zweimal täglich werden die Fenster geschlossen, auch wenn angenommen wird, dass der Raum belegt ist. Dieses Schliessen hat den Zweck einer Justierung. Es soll ermittelt werden ob der Raum tatsächlich belegt ist und ob ein Raumluftbefeuchter in Betrieb ist.

Die Justierung soll zu Zeiten erfolgen, an denen ein Schliessen oder Öffnen wenig stört.

Standardwerte: 09:00 und 18:00

Die Zeiten sollen pro Wohnung einstellbar sein.

## 2.10. Betrieb bei belegten Räumen

Möglichst kontinuierliches Nachstellen des Öffnungsspaltes nach einer bestimmten Änderung der Raumluftfeuchte.

## 2.11. Betrieb bei nicht belegten Räumen

Intervallbetrieb, Luftwechsel ca. 0,2 h<sup>-1</sup>,

## 2.12. Betrieb bei tiefen Aussentemperaturen

Reduzierter Luftaustausch wegen tiefen Raumlufffeuchten.

# Wahl der Systeme

## 3. Vergleich der WindowMaster-Systeme

Im Folgenden werden Stichwortartig Eigenschaften der verschiedenen Systeme aufgezeigt:

### **Basissystem:**

- Jede Zone wird mit einem Antrieb, einem Sensor und einer Taste ausgestattet. Somit führt eine Verkabelung nicht durch die gesamte Wohnung, sondern nur durch das Zimmer.
- Es gibt nur die Zustände "Fenster offen" und "Fenster geschlossen". Eine individuelle Einstellung der Öffnungsweite ist somit nicht möglich.
- Die Steuerung des Systems erfolgt entweder über die Temperatur oder die Raumlufffeuchte. Eine Kombination ist nicht möglich.
- Eine Übersteuerung ist zwar möglich, jedoch ist die letzte Eingabe gültig bis ein gewisser Schwellenwert unterschritten ist. Beispiel: Der Schwellenwert des Temperatursensors beträgt 23°C. Steigt die Innentemperatur auf 24°C an öffnet sich das Fenster. Wird nun das Fenster, durch manuellen Eingriff, geschlossen so bleibt dieses zu bis die Innentemperatur die Schwelle von 23°C unterschreitet und anschliessend wieder überschreitet.
- Wenn die Steuerung nicht mit einer Wetterstation gekoppelt wird, bleibt das Fenster im Falle von Niederschlag oder starkem Wind geöffnet. Um diesem negativen Effekt zu entgegen, ist der Einsatz einer Wetterstation unabdingbar.

Zusammenfassung: Das Basissystem ist einfach und kostengünstig, jedoch erfüllt die Steuerung nicht die Ansprüche, die in diesem Projekt gestellt werden.

### **NV Comfort™:**

- Für jede Wohnung wird ein komplettes Steuerungssystem eingesetzt, welches bis zu 8 Zonen regeln kann. Somit ist eine Verkabelung der gesamten Wohnung notwendig.
- Durch die Anordnung von Raumsensoren und Verbindung mit einer Wetterstation entsteht ein intelligentes Steuerungssystem.
- Keine Berücksichtigung von Windrichtungen, es wird mit Standard-c<sub>p</sub>-Werten gearbeitet.
- Es können mehrere Wohnungen an eine Wetterstation angeschlossen werden.
- Die Sollwerte können, über einen kleinen Touch-Bildschirm in der Wohnung, für jede Zone individuell eingestellt und, falls erwünscht, geändert werden.
- Die Öffnungsweite des Fensters wird stufenlos in Abhängigkeit von Temperatur, Raumlufffeuchte, CO<sub>2</sub>-Pegel und Windgeschwindigkeit, in jeder Zone individuell, geregelt.
- Die Wetterstation sorgt für eine Übersteuerung im Falle von Niederschlag oder starkem Wind.
- Das System ist in der Lage weitere Komponenten wie z.B. einen Ventilator im Bad oder einen Dunstabzug mitzusteuern. Jede Zone hat die Möglichkeit eine Einheit mitzusteuern,

wobei die Richtung des Signals keine Rolle spielt: So ist es auch möglich, dass das Fenster sich öffnet, sobald ein Dunstabzug in der Küche eingeschaltet wird.

- Die Basis für die Regelung des Raumklimas sind individuell festgelegte Werte der Innentemperatur, Raumlufffeuchte und CO<sub>2</sub>-Gehalts.
- Um Unterkühlung zu vermeiden werden Algorithmen eingesetzt, welche z.B. bei sinkender Temperatur eine höhere Raumlufffeuchte erlauben, als ursprünglich eingesetzt wurde. Es ist jedoch möglich z.B. die Schwellenwerte der Raumtemperatur und des CO<sub>2</sub>-Gehalts so hoch einzustellen, dass diese für die Steuerung nicht mehr relevant sind und somit eine reine Steuerung über Feuchte gewährleistet ist.

Zusammenfassung: Das NV Comfort™ ist in Wohnungen geeignet, in denen die Bewohner selber die Kontrolle über die Vorgänge haben möchten. In Mietwohnungen können jedoch die Rechte der Bewohner eingeschränkt werden. Somit hat der Bewohner immer noch einen Bildschirm in der Wohnung und hat Kontrolle über die aktuelle Situation, jedoch hat er keine Berechtigung dazu die Sollwerte abzuändern.

### **NV Advance™:**

- Für jede Wohnung wird ein komplettes Steuerungssystem eingesetzt, welches bis zu 150 Zonen regeln kann. Somit ist eine Verkabelung der gesamten Wohnung notwendig.
- Durch die Anordnung von Raumsensoren und Verbindung mit einer Wetterstation entsteht ein intelligentes Steuerungssystem.
- Berücksichtigung von Windrichtungen.
- Durch den Einsatz von CFD-Simulationen ist das NV Advance™ in der Lage die C<sub>p</sub>-Werte (Durchflusskoeffizienten) für jedes Fenster zu ermitteln. Hierbei werden die Werte laufend, unter Berücksichtigung der Windrichtung und -stärke, neu berechnet. Dies erlaubt eine millimetergenaue Steuerung, welche Zugerscheinungen minimiert.
- Das NV Advance™ kann auch mit standardmässig hinterlegten c<sub>p</sub>-Werten eingebaut werden, wie dies beim NV Comfort™ der Fall ist. Dadurch wird die Regelungsgenauigkeit gleich gross wie diejenige des NV Comfort™.
- Das System hat zusätzliche, teilweise programmierbare, Lüftungsmöglichkeiten wie z.B. Morgenfrischluft, Stosslüftung, Kalenderfunktion.
- Die Sollwerte für das NV Advance™ können durch den Steuerungsrechner und/oder Netzinterface individuell pro Zone eingestellt und geändert werden. Den Bewohnern können auf verschiedenen Stufen Rechte zugesprochen werden.

Zusammenfassung: Das NV Advance™ ist ein sehr genaues Steuerungssystem. Wegen der Komplexität des Systems ist die Lösung teurer, dafür beherrscht das System viele Zonen. Werden für das System Standard c<sub>p</sub>-Werte verwendet, reduzieren sich die Programmierkosten wesentlich, wodurch die Gesamtkosten gesenkt werden.

	<b>Basissystem</b>	<b>NV Comfort™</b>	<b>NV Advance™</b>
	pro Zimmer	pro Wohnung	pro Wohnung
Installationsaufwand	1	8	150
Anzahl steuerbarer Zonen pro System	1	8	150
Erfasste Regelungsgrößen	θ innen rF innen	θ innen rF innen CO <sub>2</sub> innen θ aussen rF aussen Windgeschw.	θ innen rF innen CO <sub>2</sub> innen θ aussen rF aussen Windgeschw. Windrichtung <sup>1</sup>
Stufenlose Regelung	Nein	Ja	Ja
Genauigkeit Steuerung	Mittel	Hoch	Sehr hoch <sup>2</sup>
Übersteuerung durch Benutzer möglich	Ja	Ja	Ja
Automatische Übersteuerung bei Regen/Wind	Nein/Ja <sup>3</sup>	Ja	Ja
Unterkühlungsschutz	Nein	Ja	Ja
Wetterstation obligatorisch	Nein	Ja	Ja
Mitsteuerbare Komponenten	Keine	1 / Zone	keine Begrenz.
Kombinierte Regelung möglich (Temp, rF, CO <sub>2</sub> )	Nein	Ja	Ja
c <sub>p</sub> -Werte	Keine	Standardwerte	CFD <sup>4</sup>
Lüftungsprozesse programmierbar	Nein	Ja <sup>5</sup>	Ja
Zentrale Steuerungseinheit	Nein	Ja	Ja

**Tabelle 5: Vergleich der verschiedenen Window Master AG-Systeme**

<sup>1</sup>: Optional

<sup>2</sup>: Nur unter Berücksichtigung der Windrichtung, ansonsten wie bei NV Comfort™

<sup>3</sup>: Nur wenn Wetterstation eingesetzt

<sup>4</sup>: Nur wenn Windrichtung erfasst wird

<sup>5</sup>: Jedoch keine Kalenderfunktion

#### 4. Wahl der Systeme

Um einen zufriedenstellenden Betrieb der automatischen Fensterlüftung sicherzustellen, müssen die eingesetzten Systeme einigen Anforderungen genügen: Damit die Sicherstellung eines behaglichen Wohnklimas gewährleistet wird, ist es notwendig dass sich sowohl Temperatur als auch Feuchte und CO<sub>2</sub>-Gehalt zwischen gewissen Grenzen bewegen.

Das eingesetzte System muss sowohl in der Lage sein nach Temperatur, Feuchte und CO<sub>2</sub> zu regeln, sowie diese Regelung Stufenlos durchführen zu können. Da die Systeme NV Comfort™ und NV Advance™ beide Faktoren berücksichtigen können, sind sie beide für den Einsatz in Wohngebäuden geeignet. Für die Praxis wird, aus Kostengründen, das NV Comfort™-System wahrscheinlich bevorzugt, aus diesem Grund soll es in diesem Projekt eingesetzt werden.