



Systeme de climatisation Kegel

Kegel Klimasysteme
Dr. Beat Kegel
Spyrstrasse 7
8044 Zurich
M +41 79 409 71 89

Grüniger PLUS GmbH
Prof. Dr. Beat Wellig
Dr. Andrea Grüniger
Flurweg 2A
5034 Suhr
M +41 79 653 89 02

ActivTec GmbH
Markus Bertschinger
In der Fadmatt29
8902 Urdorf
M +41 79 565 63 71

einfach gut bauen GmbH
Martin Meier
Rietweg9
8606 Nänikon
M +41 76 557 16 51

Genève, 4 Décembre 2024

Brève présentation

Systeme de climatisation «Kegel»

Objectifs du concept de climat intérieur

Utilisateur

- Très bon confort
- Grande fiabilité
- Possibilité d'influence directe
- Facile à comprendre et à utiliser
- Silencieux, esthétique, ...

Acheteur/exploitant

- Grande fiabilité
- Grande flexibilité
- Maintenance simple et peu coûteuse
- Une efficacité énergétique exceptionnelle
- Excellent rapport coût-efficacité

Watt d'Or Projet gagnant 2021, HSG, Rosenbergstrasse, Saint-Gall



Net-zero?
→ possible sans problème

«Everything should be made as simple as possible, but not simpler»

(Albert Einstein)

Objectif du concept intégré:

- confort optimal pour l'utilisateur
- construction/exploitation/démontage facile
- efficacité énergétique et financière élevée

Bases du concept:

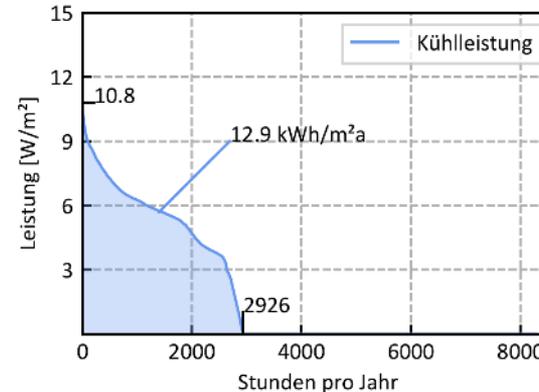
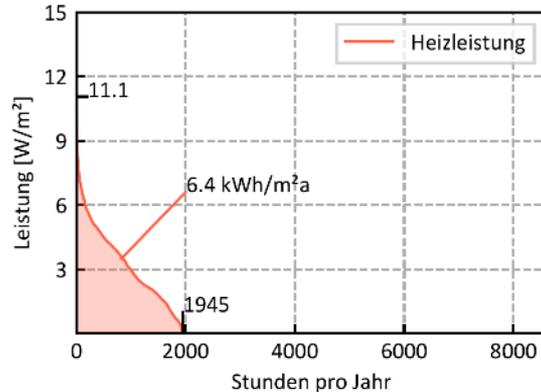
- 1) Construction / architecture
- 2) Technique chauffage / refroidissement / ventilation

Bases du concept

1) Construction / architecture

- Le bâtiment et la technique interagissent en maximisant la performance.
- L'objectif est de construire un bâtiment qui fonctionne avec une technique simple mais adéquate.
- Conditions : enveloppe du bâtiment suffisante (valeurs U, pourcentage de verre, etc.) et masse thermique exploitable à l'intérieur (capacité d'accumulation 150 Wh/m² K).

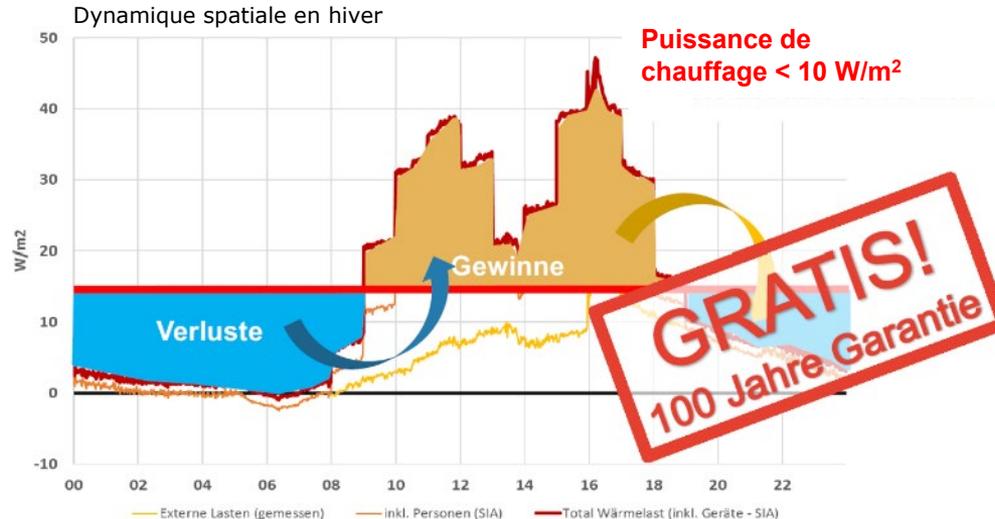
Monitoring Watt d'Or Projet gagnant 2021, Université de St-Gall (année de construction 1969, rénové en 2020) **2'000 h/a chauffage**, **3'000 h/a refroidissement**, **3'700 h/a "la technique ne fait rien"**.



Bases du concept

2) Technique: chauffage / refroidissement

- Le bâtiment chauffe/refroidit en grande partie de lui-même, les installations techniques ne servent qu'à équilibrer le bilan.
- La masse thermique est un élément fixe et important du concept de climat intérieur.
- Les pièces sont climatisées directement et en douceur par l'air (puissance de chauffage/refroidissement d'environ 10 W/m²).

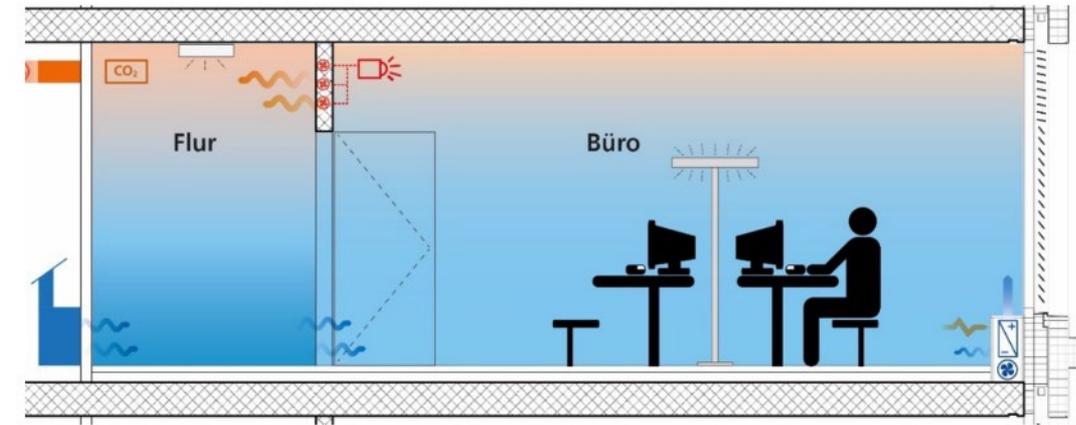


Bases du concept

2) Technique : Aération

- La ventilation de toutes les zones d'utilisation se fait selon le principe de déplacement.
- Ventilation vers l'intérieur, le couloir sert de conduit d'air, évitant l'ajout de systèmes de ventilation supplémentaires.
- Les différentes pièces sont alimentées en air par des ventilateurs intégrés.
(1.5 m³ /h m² par rapport à la surface, y compris les couloirs, les WC, etc.)

Principe de la ventilation composée



Exemple Rosenbergstrasse,
St. Gall (Watt d'Or 2021)

Changement de paradigme

Jusqu'à présent

Réduire la consommation d'énergie



Mesures énergétiques individuelles, selon le cycle de vie des composants, priorisé par Low-Hanging-Fruits

- Remplacement des fenêtres
- Isolation extérieure
- Construction d'installations PV
- Remplacement des ampoules
- Remplacement du générateur de chaleur



Nouveau

Zéro net (inscrit au bilan)

Assainissement de l'ensemble de l'immeuble, systématiquement cohérent, en valorisant la structure du bâtiment

- Renforcement de l'enveloppe du bâtiment
- Démolition des plafonds suspendus
- Chauffage et refroidissement par air pulsé
- Intégration de la chaleur fatale Informatique
- Moins d'installations techniques du bâtiment

Immeuble de bureaux Rosenbergstrasse, Saint-Gall

Avant



- Ossature en béton
- 3'300 m² de surface de référence énergétique
- façade en pierre artificielle collée
- 4 cm d'isolation en liège

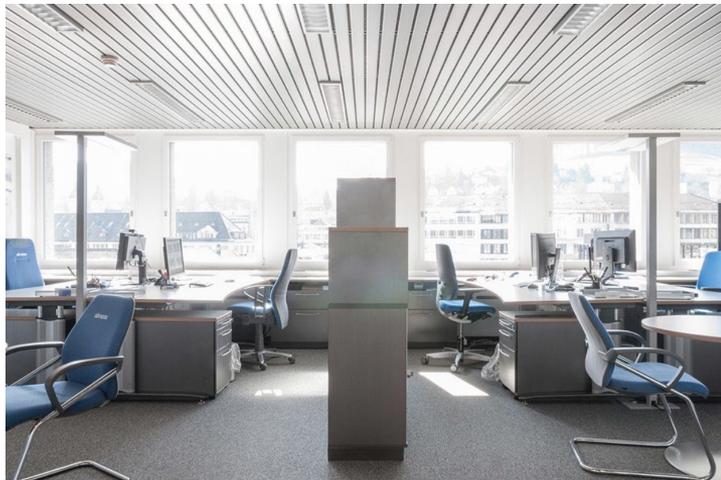
Après



- inchangé de l'extérieur

Mesures d'assainissement

Avant



- Plafonds suspendus
- Isolation en liège 4 cm
- Double vitrage
- Radiateurs
- Ventilation mécanique conventionnelle

Après



- Plafond libre
- Isolation de l'allège, 16 cm de flocons de cellulose
- Triple vitrage
- Ventilo-convecteurs
- Ventilation intégré

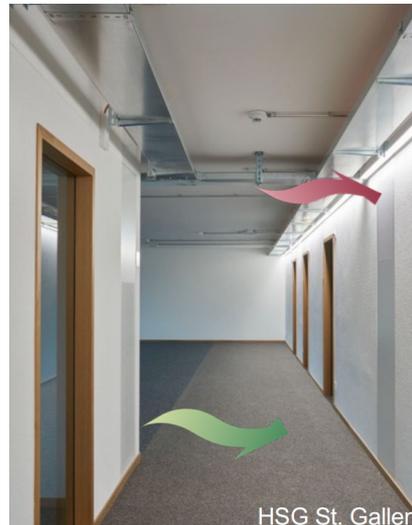
Mesures d'assainissement

Chauffer et refroidir



- Bandes de rive pour l'isolation et l'acoustique
- Ventilateurs en allège
- Allège utilisable comme rangement
- Préfabrication, montage rapide

Aérer



HSG St. Gallen



HSG, St. Gallen

- Seulement deux entrées et sorties d'air par étage
- Pas de conduits d'air horizontaux
- Cascade via des ventilateurs intégrés dans les vantaux de porte
- Plafond activé, gain de 30 cm de hauteur de pièce

Résultat de la rénovation

avant



- Besoin en chaleur de chauffage **100-120 kWh/m²a**
- Puissance de refroidissement **90 kW**
- Débit d'air ventilation **12'000 m³/h**
- Besoin en électricité de la ventilation env. **8 kW**, en permanence

Après



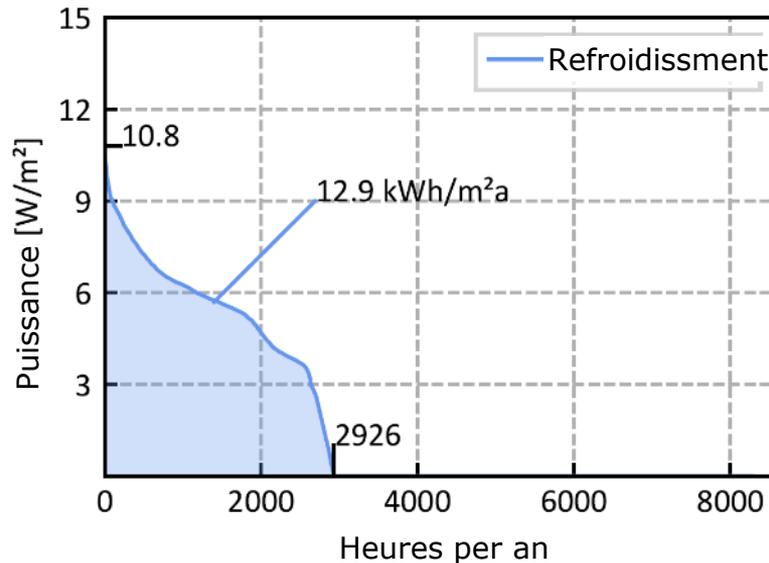
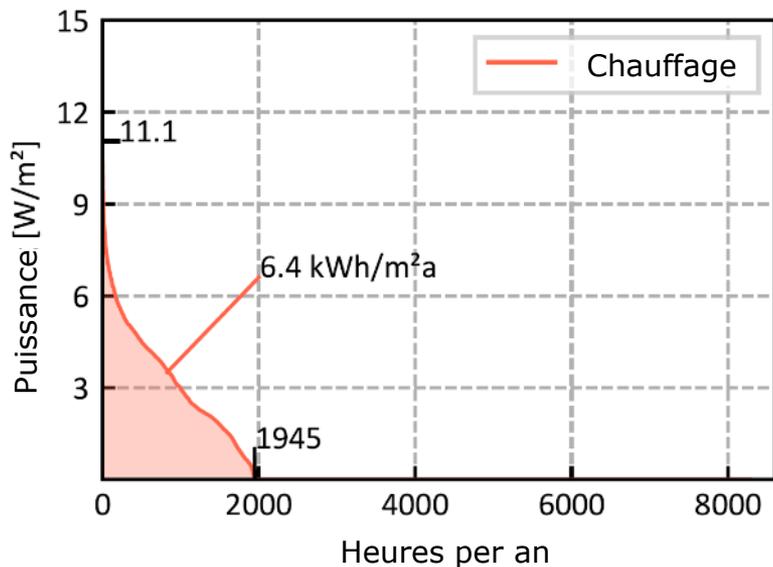
- Besoin en chaleur de chauffage **6-8 kWh/m²a** *
- Puissance de refroidissement **30 kW**
- Débit d'air ventilation **1'500-3'000 m³/h**
- Besoin en électricité de la ventilation **0.5-1.5 kW**, en fonction du niveau de CO₂

* Comparaison : immeubles de bureaux nouvellement construits 35 kWh/m²a (Sasso et al., 2023)

Résultat de la rénovation

Lignes de durée annuelle du chauffage et de la refroidissement pour l'année 2022 :

- Besoin en énergie de chauffage : 6.4 kWh/m²a * (avant 100-120 kWh/m²a)
- Besoin en énergie de refroidissement : 12.9 kWh/m²a

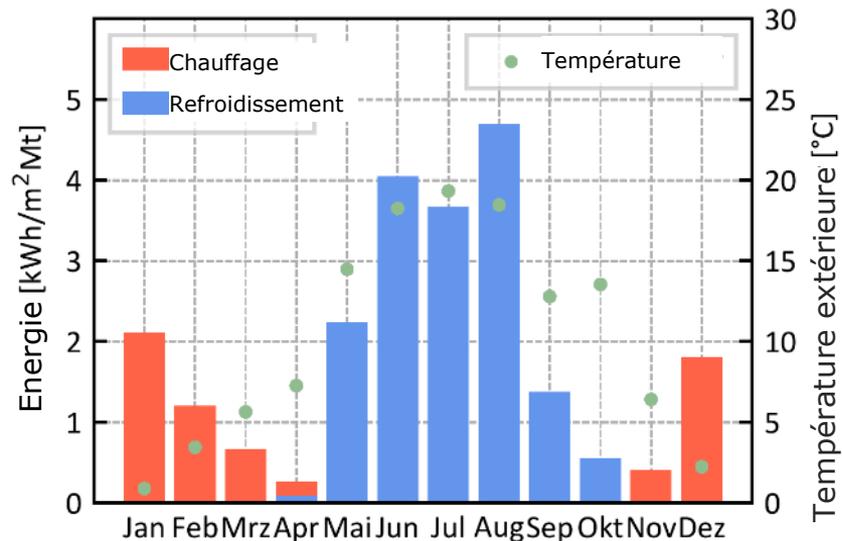
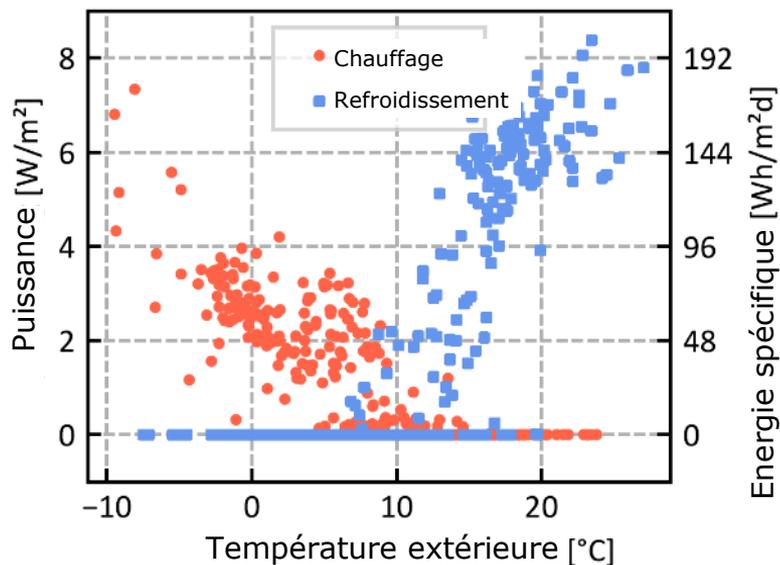


* Comparaison : immeubles de bureaux nouvellement construits
35 kWh/m²a (Sasso et al., Energy & Buildings 295, 2023, 113264)

Résultat de la rénovation

Données de mesure pour l'année 2022 :

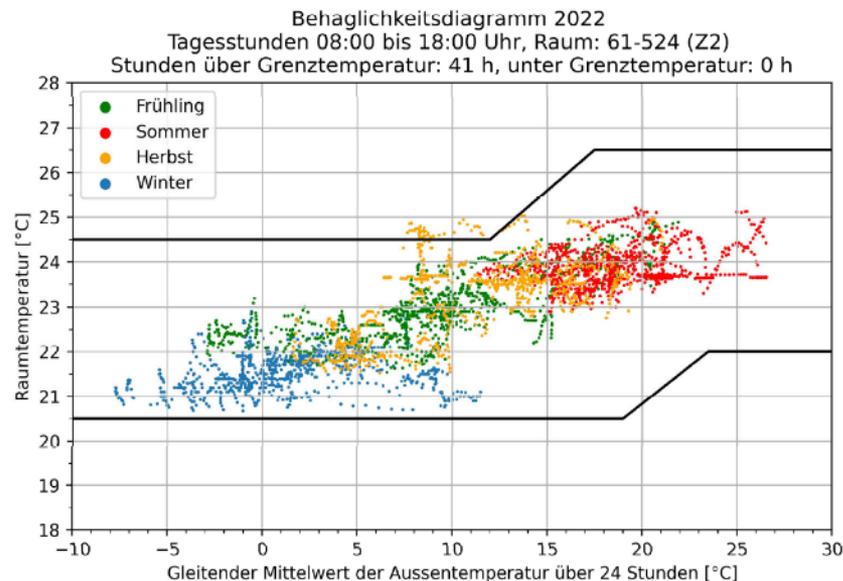
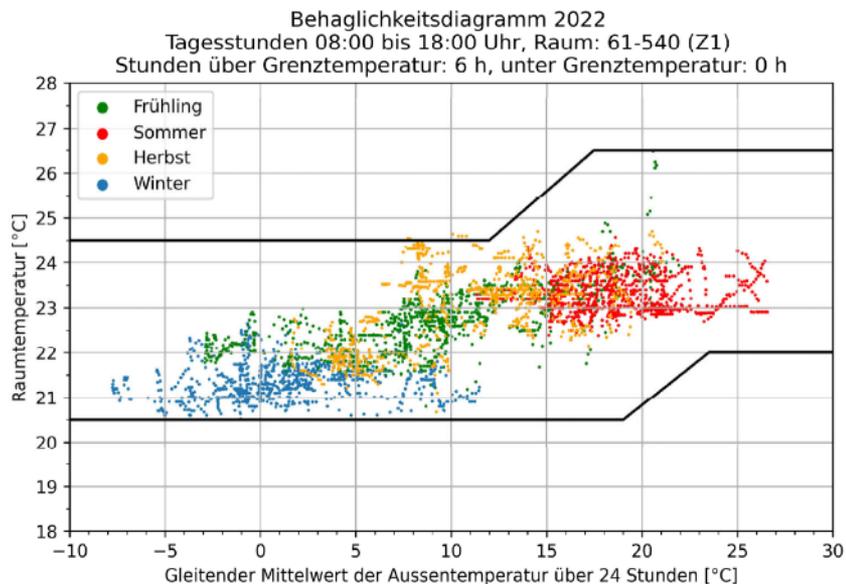
- Besoin en énergie de chauffage : 6.4 kWh/m² a * (avant 100-120 kWh/m² a)
- Besoin en énergie de refroidissement : 12.9 kWh/m² a



* Comparaison : immeubles de bureaux nouvellement construits
35 kWh/m²a (Sasso et al., Energy & Buildings 295, 2023, 113264)

Résultat de la rénovation

Diagrammes de confort pour l'année 2022 : très faibles amplitudes de température (réalisables uniquement avec un système convectif)



Considération des coûts

Valeur cible des coûts d'investissement pour la rénovation complète d'un immeuble de bureaux: **1'500 CHF/m²**
 (Rénovation complète signifiant "**un bâtiment comme neuf et prêt pour les 30 prochaines années**")

Coûts d'investissement chauffage/refroidissement/ventilation :

	Système Kegel	conventionnel
Ventilo-convecteurs, chauffage <u>et</u> refroidissement	120-150 CHF/m ²	300-350 CHF/m ²
Viabilisation (si nouvelles conduites nécessaires)	30 CHF/m ²	inclus ci-dessus
Production de chaleur et de froid: PAC, sondes géoth. (PAC air/eau nettement moins chère)	70-100 CHF/m ²	beaucoup plus cher (puissance plus élevée, 30 W/m ² au lieu de 10 W/m ²)
Ventilation	100-120 CHF/m ²	200-300 CHF/m ² (souvent 3-4 m ³ /h m ² au lieu de 1.5 m ³ /h m ²)
Système de gestion du bâtiment	30 CHF/m ²	60 CHF/m ²
Total	env. 400 CHF/m²*	> 600 CHF/m²

* Dans de nombreux cas, les coûts d'investissement sont nettement inférieurs à 400 CHF/m².

Valeur cible pour les coûts d'électricité: 5 kWh/m² a pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation, env. 1-1.5 CHF/m a² → Des valeurs à revoir à la baisse en cas d'autoconsommation d'électricité photovoltaïque.

Chauffage et refroidissement par convection avec ventilo-convecteurs

Chauffage et refroidissement par convection avec des ventilo-convecteurs

- Chauffage avec une température de départ de 26°C
- Refroidissement avec une température de départ de 20°C
- Débit d'eau typique 3-4 L/h m²
- Pompe à chaleur à faible élévation de température avec un COP > 10
- Pas de système de refroidissement
→ 100% Free Cooling
- Intégration du refroidissement IT en retour, c.-à-d. utilisation possible de 100% de la chaleur fatale
- Faibles émissions de CO₂ lors de la construction

Projet lauréat du Watt d'Or 2021, Université de St-Gall



Projet lauréat du Watt d'Or 2016, Swisscom Business Park, Ittigen



Chauffage et refroidissement par convection avec des ventilo-convecteurs

- Distribution d'eau horizontale intégrée :
 - toutes les conduites sont non isolées
 - pas de vannes
 - pas d'équilibrage hydraulique nécessaire
- Distribution électrique/IT intégrée
- Thermostat par ventilo-convecteur
- Sonde de température par zone ou étage (régulation)

Syndicat UNIA, Strassburgstrasse, Zurich



Chauffer et refroidir avec des ventilo-convecteurs

Exemples

École



Immeuble de bureaux



Chauffer et refroidir avec des ventilo-convecteurs

Exemples

Immeubles de bureaux rénovés



Chauffer et refroidir avec des ventilo-convecteurs

Exemples

Immeuble commercial et de bureaux, Saint-Gall

Remplacement des radiateurs



Magasin de vente



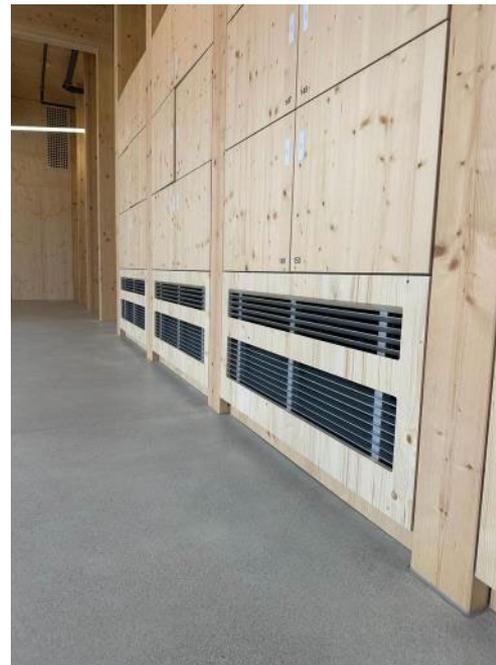
Salle de réunion (à l'intérieur)



Chauffer et refroidir avec des ventilo-convecteurs

Exemples

École : International School Rheintal, Buchs



Exemple de rénovation d'un immeuble de bureaux

Améliorations de la construction :

- Démolition de faux-plafonds
- Remplacement des fenêtres
- Isolation intérieure (parapet, flancs)
- Protection solaire automatique



Améliorations techniques :

- Ventilateurs-convecteurs sur les allèges
- Système Change-Over, colonnes montantes existantes
- Distribution d'eau/électricité intégrée
- Ventilation composite



Exemple d'un bâtiment d'habitation (construction en bois)

neuRaum Horw (projet gagnant du **Watt d'Or 2022**)

Les appartements n'ont pas de radiateurs, mais seulement un ventilateur-convecteur au-dessus de la salle d'eau.



Exemple d'un bâtiment d'habitation (construction en bois)

Dreijohann Basel (70 appartements, CFF)

Les appartements n'ont pas de radiateurs, mais seulement un ventilateur-convecteur au-dessus de la salle d'eau.



Exemple d'un bâtiment d'habitation (rénovation d'une maison de la vieille ville)

Suhregasse Sursee, année de construction 1738

L'appartement dispose d'un ventilateur-convecteur par étage (intégré dans la bibliothèque).

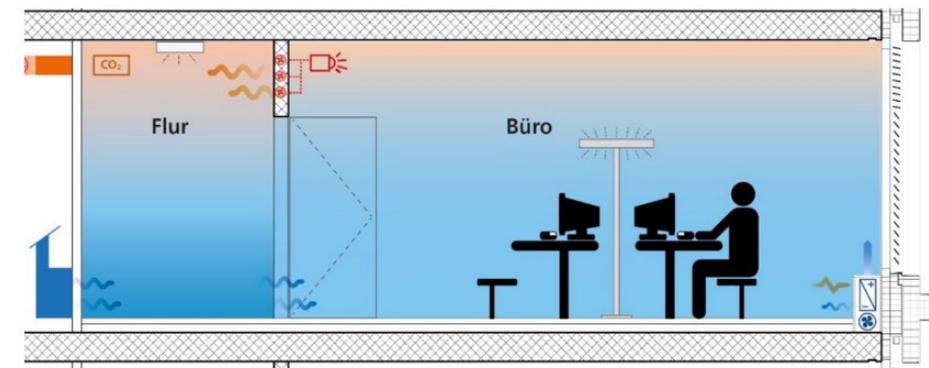


Aérer avec une ventilation composite

Ventilation composite

"Ventilation vers l'intérieur"

- Ventilation par les couloirs (en fonction du CO_2) - ventilateurs intégrés dans les portes et/ou les murs
- Débit d'air **1.5 m³/h m²** (surface incluant les couloirs, WC, etc.)
- Extraction de l'air vicié dans les zones communes (salles de pause ou autres, salles de photocopie, WC)
- Faible encombrement : $\frac{1}{3}$ air*, pas de conduits horizontaux, pas de perte de hauteur de la pièce
- Une flexibilité optimale
- Grande sécurité de fonctionnement
- Excellent rapport coût-efficacité ($\frac{1}{2}$ coûts*), efficacité énergétique extrêmement élevée (env. $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$ de l'énergie initiale*)
- Faibles émissions de CO_2 lors de la construction*



* par rapport à une ventilation mécanique conventionnelle canalisée

Ventilation composite

Exemple d'un immeuble de bureaux



Ventilation composite

Exemples



Ventilation composite

Exemples de bâtiments d'habitation (Dreijohann Basel)



Ventilation composite

Exemple d'un bâtiment scolaire



SH Brünnen, Bern

Ventilateurs intégrés dans les portes et dans les murs



Pompe à chaleur à faible élévation de temperature

Quel est le rapport entre la vieille ampoule de 40 watts et ce bâtiment ?



(Photo : Mettiss AG)

La puissance de l'ampoule permet de chauffer **100 m²** de surface de bâtiment (tous les consommateurs inclus).

Utilisation dans des bureaux et des bâtiments commerciaux à Saint-Gall

- Construit en 1981, sur un terrain en pente
- Quatre étages chauffés/refroidis
- Surface de référence énergétique 5'700 m²
- Rénovation de l'enveloppe du bâtiment en 2013
- Installation PV 96 kWp

2023 :

- Remplacement d'une chaudière à mazout par une pompe à chaleur à faible course avec sondes géothermiques
- Remplacement des radiateurs par des ventilo-convecteurs



(Photo : Mettiss AG)

Chauffer et refroidir avec des ventilo-convecteurs

- Régulation thermique des locaux avec une utilisation optimale de la masse du bâtiment
- Chauffage typique avec **26°C de départ**, refroidissement avec **20°C de départ**
- Refroidissement par Geo Cooling, sondes géothermiques alimentées en eau
- Intégration au circuit du système de refroidissement des infrastructures informatiques → utilisation à 100% de la chaleur fatale.
- Système Change-Over, pas d'équilibrage hydraulique nécessaire



Remplacement du radiateur

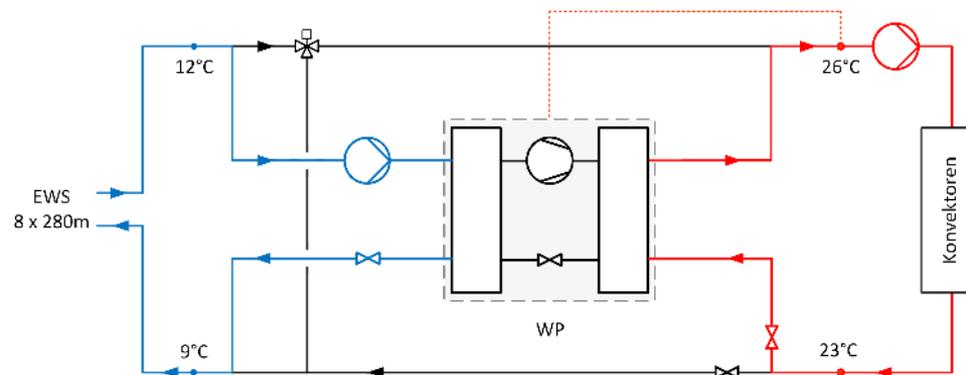


Ventilo-convecteur dans un magasin

Schéma de principe de chauffage et de refroidissement

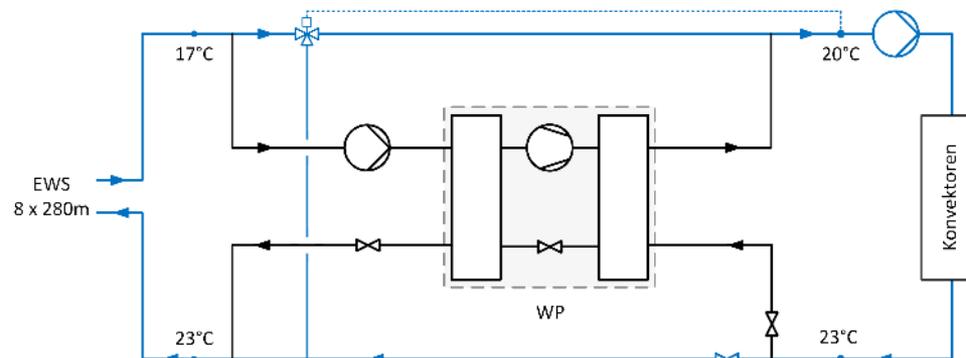
Mode chauffage : régulation de la pompe à chaleur selon la température de départ, pas de réservoir

Carte analogique, 0-10 V, "Full Speed Range Mode", surveillance de l'enveloppe du compresseur, "Oil Boost" par régulation supérieure



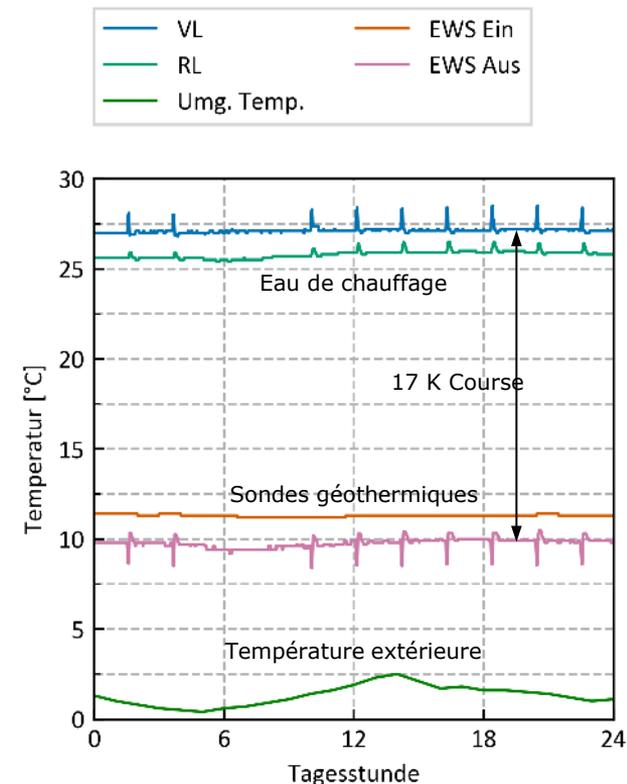
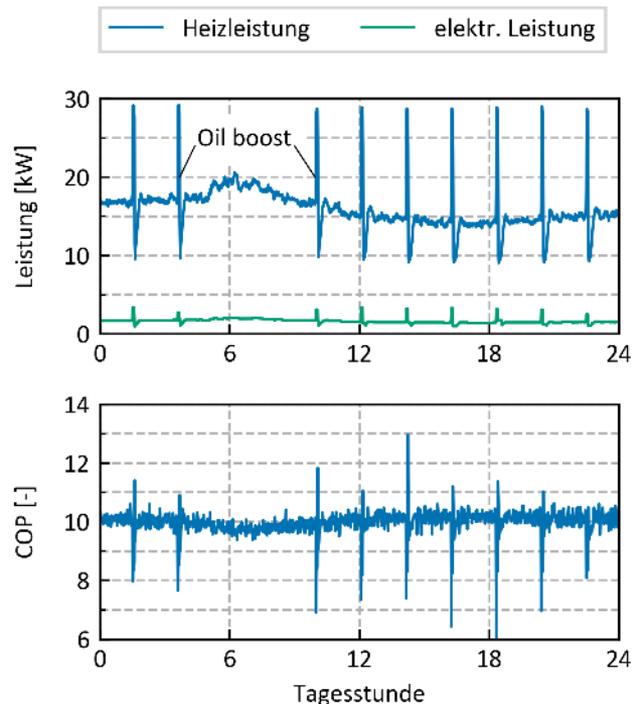
Mode refroidissement : régulation de la température de l'eau de refroidissement à l'aide d'un circuit de mélange

COP refroidissement environ 50 pour des puissances de refroidissement typiques



Journée d'hiver typique

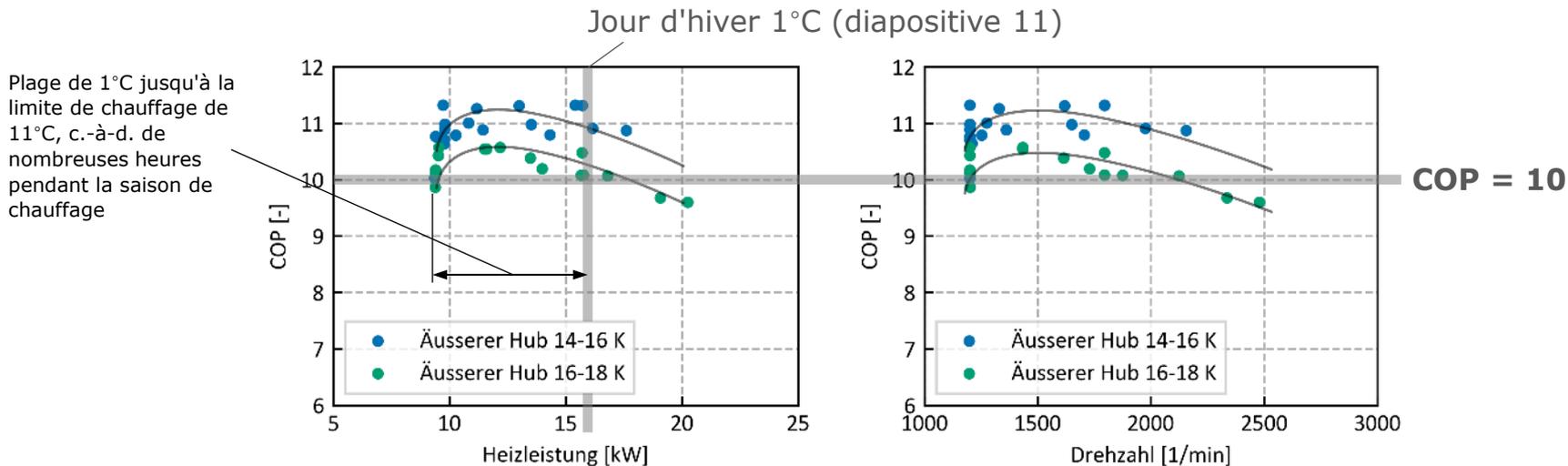
- Température extérieure moyenne de 1.1°C
- Valeurs moyennes sur 24 heures:
Puissance de chauffage 16.04 kW
Puissance du compresseur 1.61 kW
COP = 9.96 ≈ 10.0
- Valeur COP y compris pompe de circulation pour sondes géothermiques env. 9.4
- Réglage optimal du circulateur pour sondes géothermiques, voir [2].



[2] L. Gasser, I. Wyssen, T. Käch, M. Kleingries, B. Wellig : Pompes à chaleur saumure/eau avec régulation continue de la puissance, projet OFEN, 2016

Valeurs COP mesurées

Valeurs COP en fonction de la puissance de chauffage et de la vitesse de rotation du compresseur pour deux delta T différents (différence puits sortie et source entrée):



- Puissance de chauffage 9-17 kW : COP toujours supérieur à 10
- Degré de qualité interne 55–60 %
- Valeur COP la plus élevée mesurée 13.4 avec un sol partiellement régénéré

Retour à l'ampoule de 40 watts

Puissance requise

Journée d'hiver typique avec une température extérieure moyenne de 1°C :

- Puissance électrique de la PAC 0.28 W/m^2
 - Puissance électrique des pompes de circulation, des ventilateurs 0.12 W/m^2
-
- **Puissance électrique totale 0.40 W/m^2**

La puissance de l'ampoule permet de chauffer **100 m^2** de surface de bâtiment.
(tous les consommateurs inclus).

Besoin en énergie

Besoin en chaleur après passage des radiateurs aux ventilo-convecteurs de $13.0 \text{ kWh/m}_{\text{th}}^2$ a été réduit à $10.2 \text{ kWh/m}_{\text{th}}^2$ a :

→ La PAC consomme environ **$1 \text{ kWh d'électricité par m}^2$ et par an.**



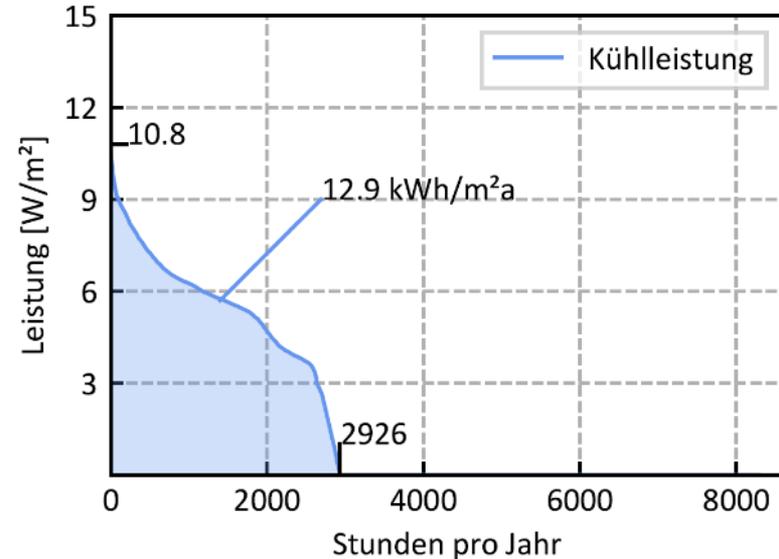
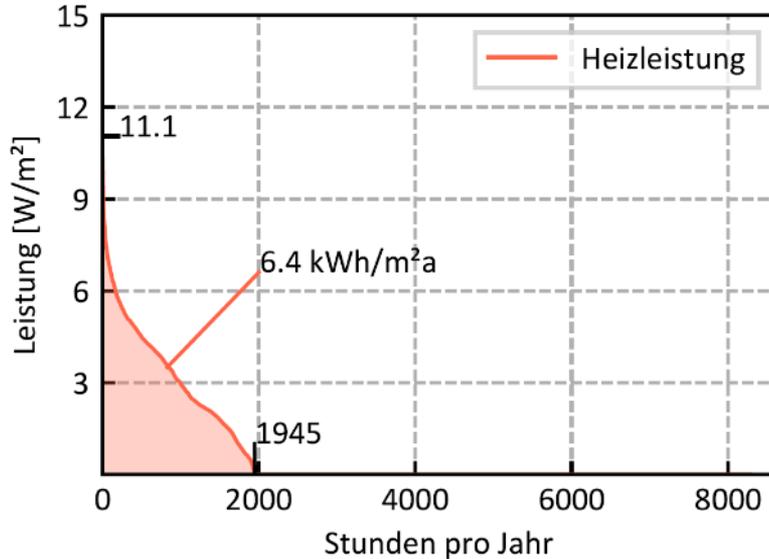
Monitoring (examples)

Monitoring

Rosenbergstrasse St. Gallen, immeuble de bureaux rénové (projet lauréat du Watt d'Or)

Lignes de durée annuelle du chauffage et du refroidissement pour l'année 2022 :

- Besoin en énergie de chauffage : 6.4 kWh/m²a * (avant 100-120 kWh/m²a)
- Besoin en énergie de refroidissement : 12.9 kWh/m²a



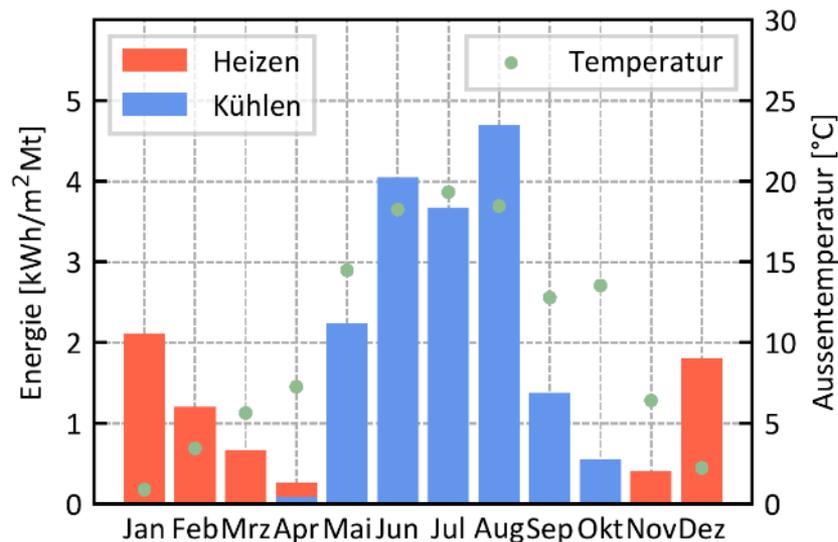
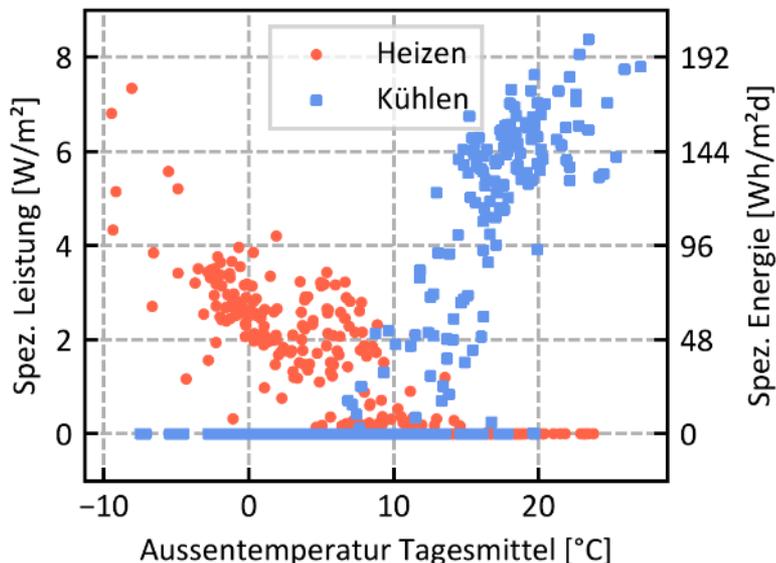
* Comparaison : immeubles de bureaux nouvellement construits
35 kWh/m²a (Sasso et al., Energy & Buildings 295, 2023, 113264)

Monitoring

Rosenbergstrasse St. Gallen, immeuble de bureaux rénové (projet lauréat du Watt d'Or)

Données de mesure pour l'année 2022 :

- Besoin en énergie de chauffage : 6.4 kWh/m²a * (avant 100-120 kWh/m²a)
- Besoin en énergie de refroidissement : 12.9 kWh/m²a

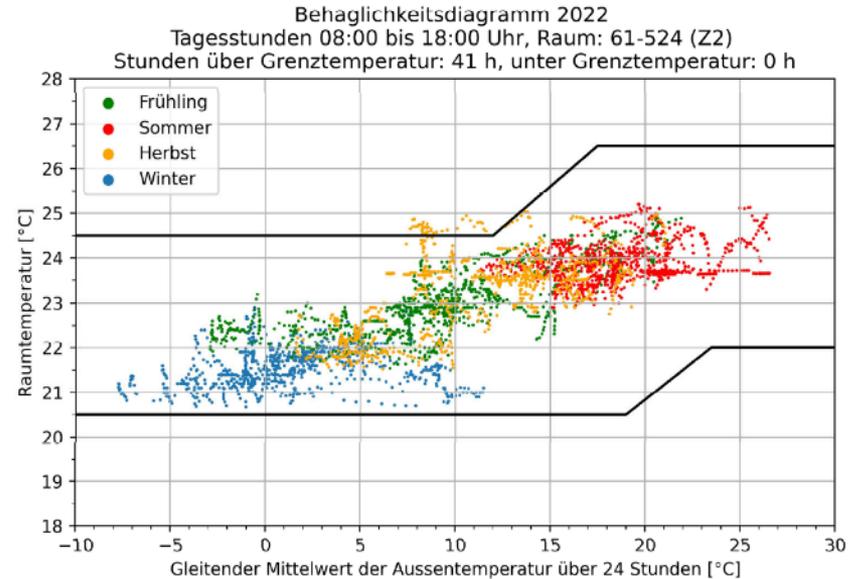
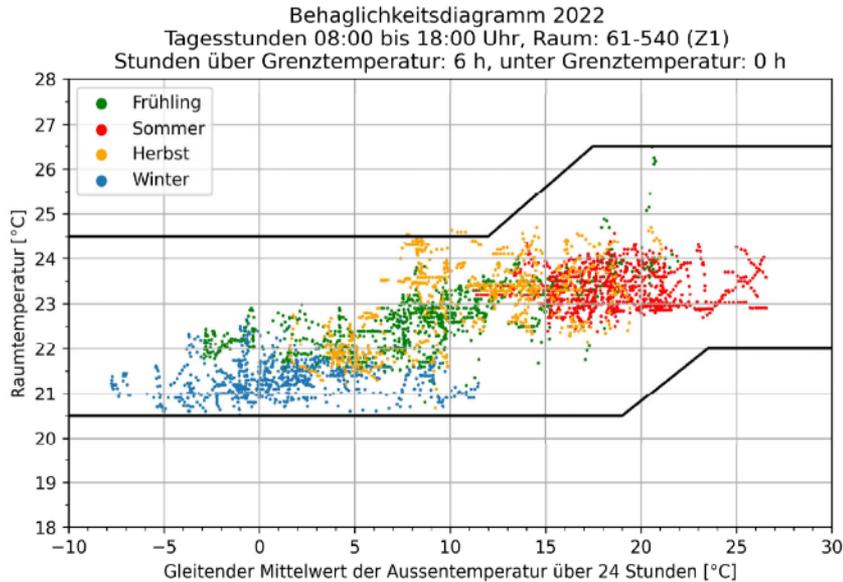


* Comparaison : immeubles de bureaux nouvellement construits
35 kWh/m²a (Sasso et al., Energy & Buildings 295, 2023, 113264)

Monitoring

Rosenbergstrasse St. Gallen, immeuble de bureaux rénové (projet lauréat du Watt d'Or)

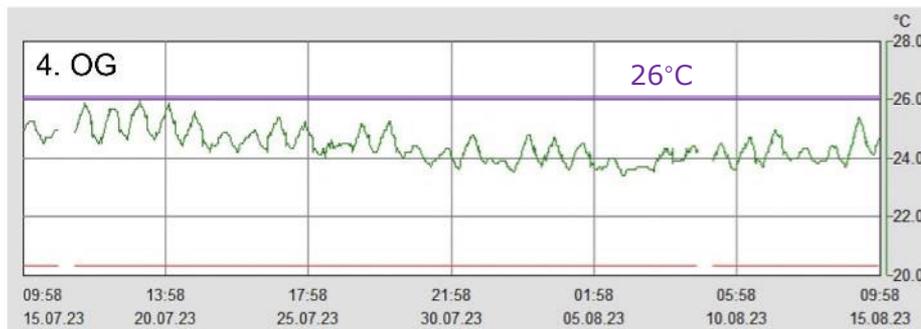
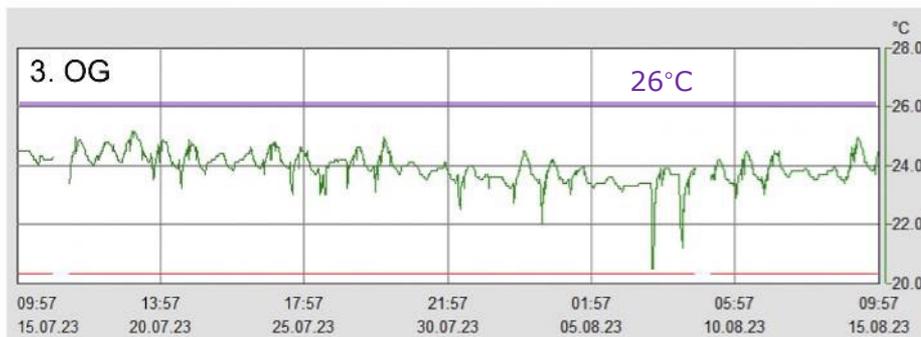
Diagrammes de confort pour l'année 2022 : très faibles amplitudes de température (réalisables uniquement avec un système convectif)



Monitoring

Unia Zurich, immeuble de bureaux rénové, dates mi-juillet - mi-août 2023

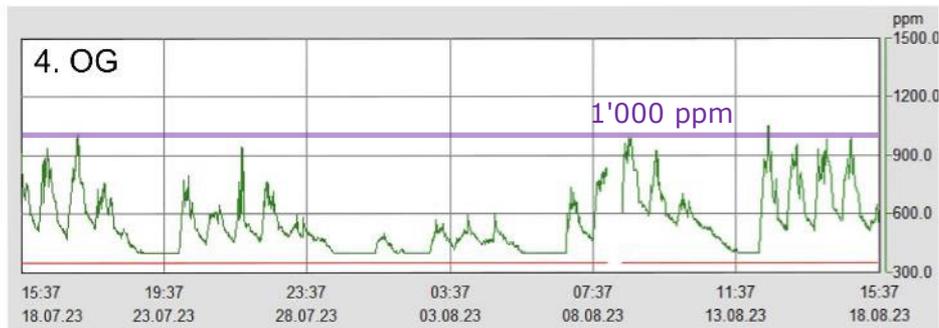
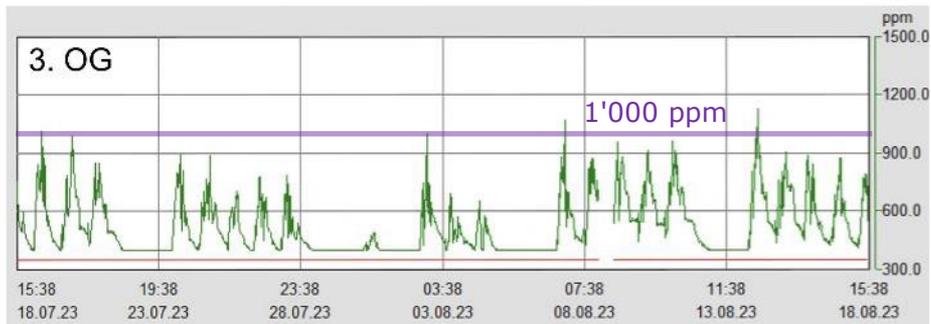
Ventilo-convecteurs en allège, eau de refroidissement 20°C, petites amplitudes de température, mais ne dépassant à aucun moment 26°C.



Monitoring

Unia Zurich, immeuble de bureaux rénové, dates mi-juillet - mi-août 2023

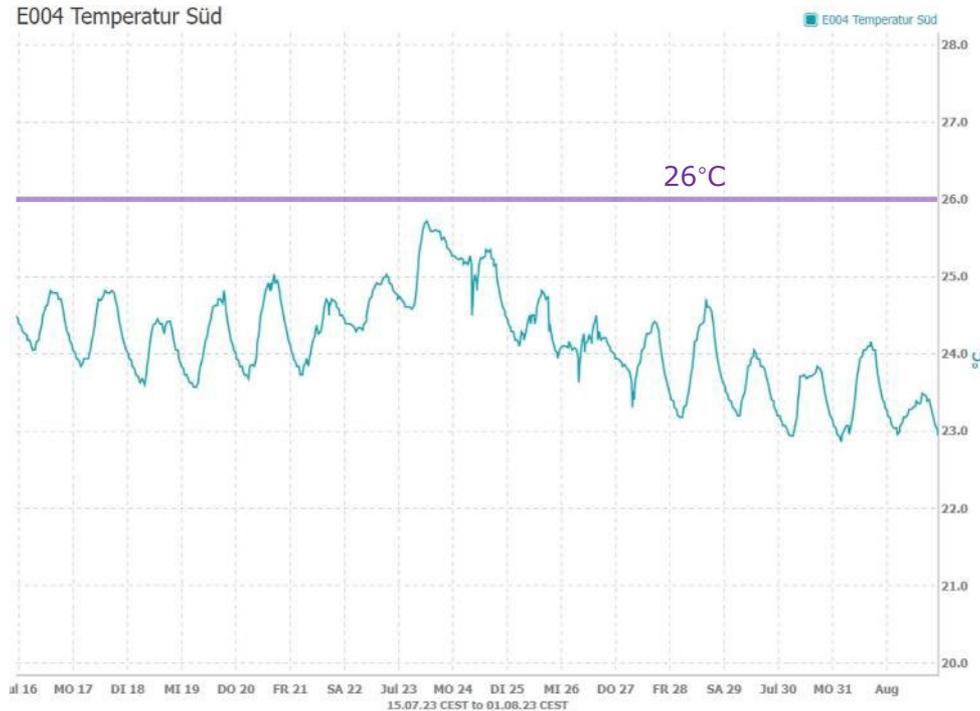
Ventilation composée, régulée selon les niveaux de CO₂ - dans des cas absolument exceptionnels, la concentration de CO₂ peut être supérieure à 1'000 ppm.



Monitoring

Rohrschacherstrasse St. Gallen, immeuble commercial/de bureaux rénové, dates mi-juillet - mi-août 2023

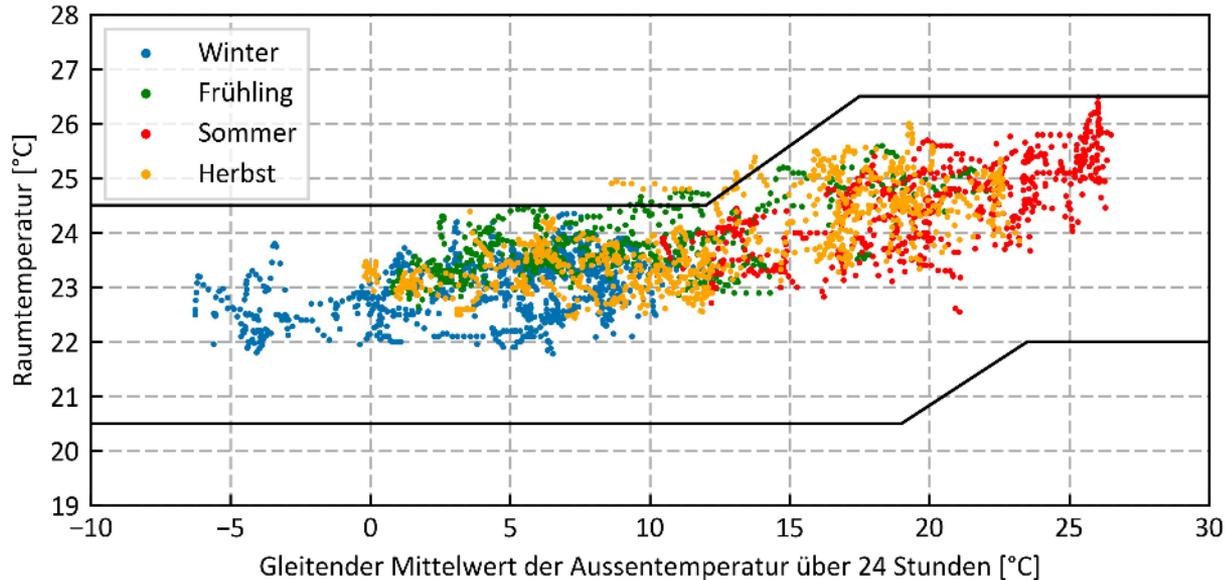
Ventilo-convecteurs, eau de refroidissement 20°C, petites amplitudes de température, mais ne dépassant jamais une température intérieure supérieure à 26°C



Monitoring

Rohrschacherstrasse St. Gallen, bâtiment commercial/bureau rénové

Diagrammes de confort pour un bureau paysager dans ce bâtiment. Valeurs mesurées de juillet 2023 à fin avril 2024, heures de jour de 08:00-18:00 → Très faibles amplitudes de température (réalisables uniquement avec un système convectif)



Réflexions sur le concept à l'aide d'un exemple

Réflexions sur le concept stratégique

Des bâtiments "comme neufs" pour un environnement en constante évolution :

- Renouvellement de "l'aménagement de base" pour les 30 prochaines années
- Grand confort intérieur, surtout en été → Refroidir partout, mais de manière très efficace
- Permettre aux bâtiments de faire le gros du travail
- Technique uniquement pour le réglage fin (équilibre du bilan)
- Maîtriser la qualité et l'humidité de l'air partout

Peu de technique, mais une technique intelligente : la masse du bâtiment fait partie intégrante du concept de climat intérieur.

Rénovation d'un immeuble de bureaux

Améliorations de la construction :

- Démolition de faux-plafonds
- Remplacement des fenêtres
- Isolation intérieure (parapet, flancs)
- Protection solaire automatique

Améliorations techniques :

- Ventilo-convecteurs sur les allèges
- Système Change-Over
- Raccordement à un réseau vertical existant
Colonnes montantes
- Distribution d'eau horizontale intégrée
- Distribution électrique intégrée
- Ventilation par déplacement d'air dans les couloirs
- Ventilateurs intégrés dans les portes ou les murs
- Surpresseurs passifs au-dessus des portes, air évacué dans les pièces annexes



Rénovation d'un immeuble de bureaux

Fourniture de chaleur et de froid

Sondes géothermiques

- Site où se trouvent aujourd'hui les baraques
- Le champ de sondes est dimensionné dans l'avant-projet (nombre, profondeur)
- Température moyenne de la sonde 12-18°C (régénération par refroidissement en été)

Pompe à chaleur à faible hauteur de levage

- Est dimensionné dans l'avant-projet (puissance, régulation de la puissance)
- COP > 10 (départ max. 26°C)
- pas de machine à froid

Distribution de chaleur/froid

- Système Change-Over, c.-à-d. soit chauffage soit refroidissement
- Conduites non isolées, pas de vannes, pas d'équilibrage hydraulique

100% de récupération de chaleur de l'IT pour le chauffage des locaux

- Intégration simple du refroidissement IT dans le circuit de retour Change-Over
- Selon les performances informatiques, couverture élevée des besoins en chaleur possible

Rénovation d'un immeuble de bureaux

Tâche accomplie ?

- Excellent confort

→ Réduire les puissances installées, libérer la masse thermique, technique "agile", qualité d'air optimale avec ventilateurs intégrés, possibilité de contrôle direct par l'utilisateur (ouverture des fenêtres, thermostat)

- Consommation d'énergie très faible, exploitation décarbonée

→ Atteignant le niveau de consommation de la maison passive, mais avec uniquement une isolation intérieure, le remplacement des fenêtres et une technique nouvelle et très efficace

- Grande robustesse et fiabilité

→ Fiable grâce à sa technique simple et réduite.

- Grande flexibilité et adaptabilité

→ Adaptabilité grâce à la ventilation composite, libre choix de la répartition des pièces, également possible ultérieurement sans adaptation de l'aménagement de base

- Rapport coût-efficacité élevé

→ facilement intégrable dans l'architecture, technique simple, synergie entre les différentes utilisations des allèges (conduites d'eau, électricité, IT), flexibilité optimale dans la planification et la transformation

- Exploitation simple, avec entretien peu coûteux

→ Facile à comprendre et à utiliser, ce système nécessite un entretien minimal : ventilateurs sans maintenance pendant 25 ans, aucun remplacement de filtre requis, un simple contrôle visuel annuel et un passage de l'aspirateur tous les deux ans.