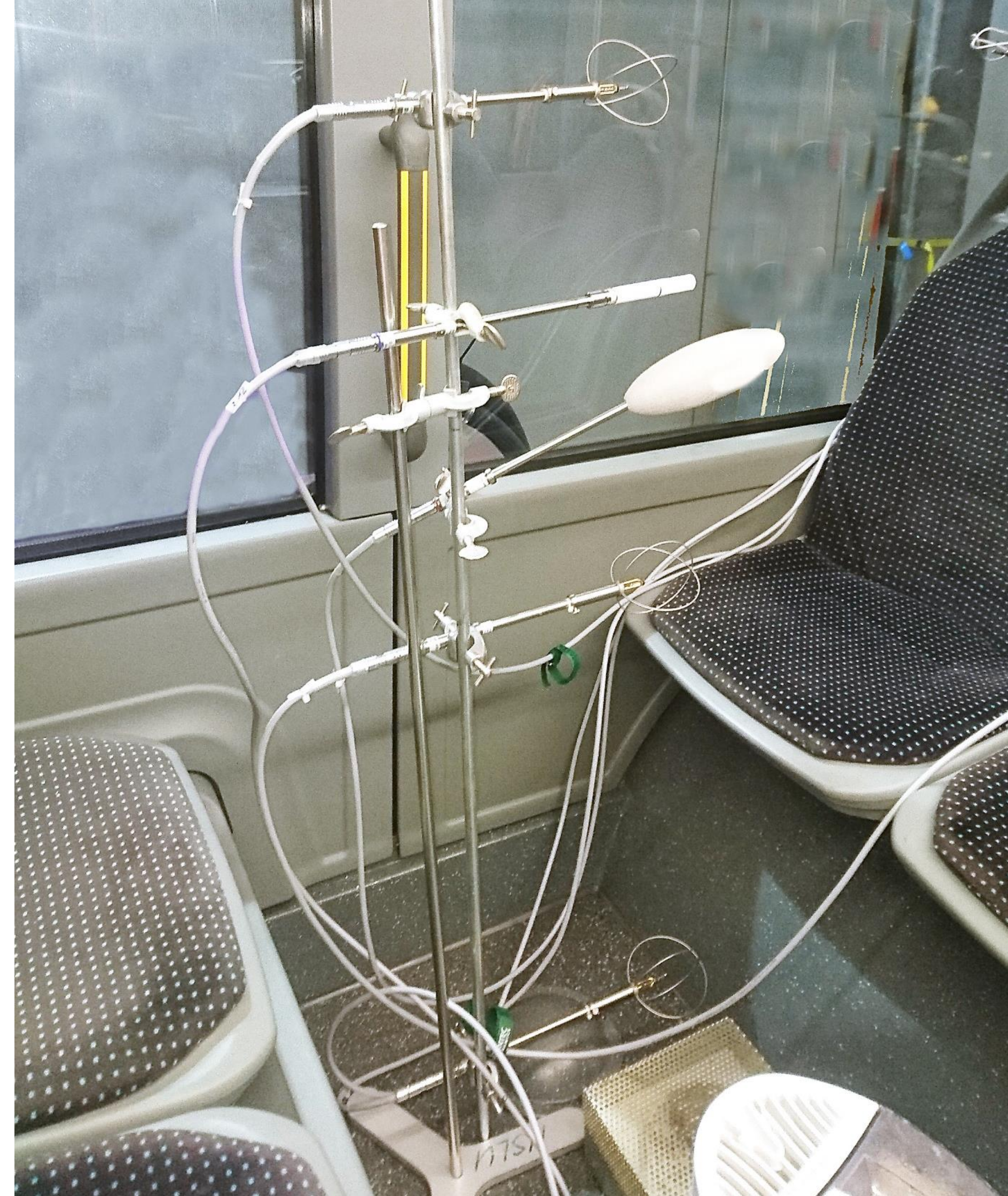


# Mesures du confort dans les bus de ligne

Colloque Bus de l'UTP,  
Fribourg,  
18 mai 2022

**Technik & Architektur**  
18. Mai 2022





# Plan

## Contexte

- Contexte
- Motivation
- Objectifs du projet

## Méthodologie

- Bases du confort thermique
- Véhicules
- Cycles d'ouverture des portes
- Courbes de valeurs théoriques
- Diagramme caractéristique de confort
- Dispositif de mesure
- Préparation des véhicules
- Programme de mesure

## Résultats

- Déroulement des essais
- Stratification thermique
- Diagramme caractéristique de confort
- Écart avec les valeurs théoriques
- Températures de surface
- Vitesses de l'air
- Évaluation du confort

## Recommandations

- Conclusion
- Recommandations
- Questions

# Contexte et objectifs

## Contexte

- La température intérieure est un facteur déterminant pour les passagers et donc pour l'attrait des TP
- Différentes normes
  - VDV 236 (bus)
  - EN 14750-1 (véhicules ferroviaires)
  - EN ISO 7730 (confort en général, théorie de Fanger)
- Révision de la norme VDV 236
  - Bases du confort
  - Instructions et exigences pour les installations de chauffage, ventilation et climatisation (CVC)

## Mandat de l'UTP à la HSLU avec les objectifs suivants

- Examen de la température intérieure de deux véhicules dans des conditions reproductibles => chambre climatique
- Comparaison des critères de confort avec les normes VDV 236, EN 14750-1 et EN ISO 7730
- Recommandations pour les exploitants de bus et les appels d'offres
- Sensibilisation des exploitants et des constructeurs de bus à ce sujet important

## Bases du confort thermique

### Confort thermique

- Principe: bilan énergétique de l'humain = 0
- Facteurs d'influence: vêtements, activité, température de l'air, humidité de l'air, températures des surfaces, rayonnement, circulation d'air, évaporation

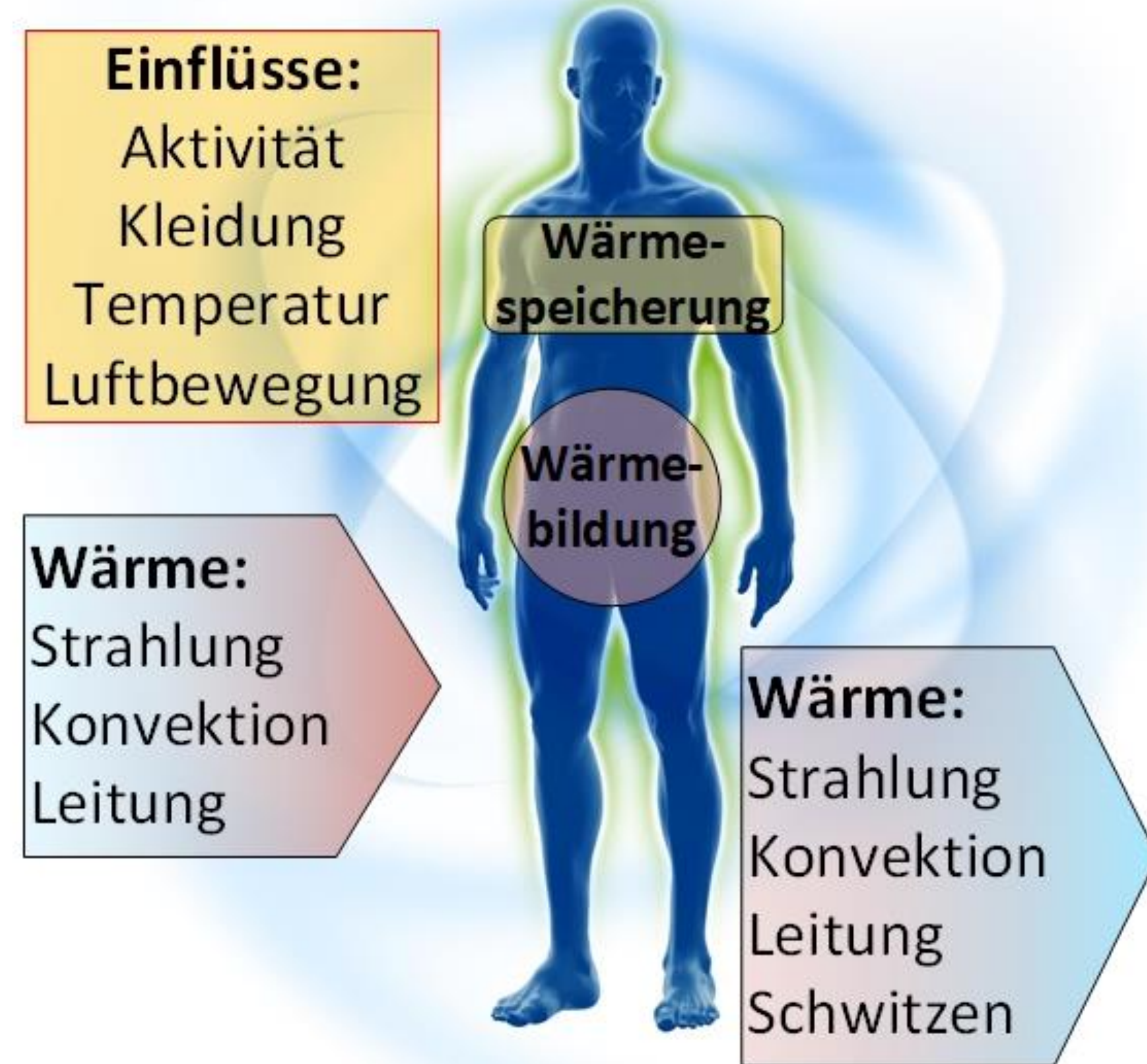
### Autres facteurs (non pris en compte)

- Odeurs, bruit, facteurs visuels (éblouissement)
- Bien-être général

### Évaluation du confort

- Collecte auprès de passagers avec la formule ISO 7730
- Échelle statistique de perception thermique PMV
- Taux d'insatisfaction moyen attendu PPD

## Wärmebilanz





# Véhicules

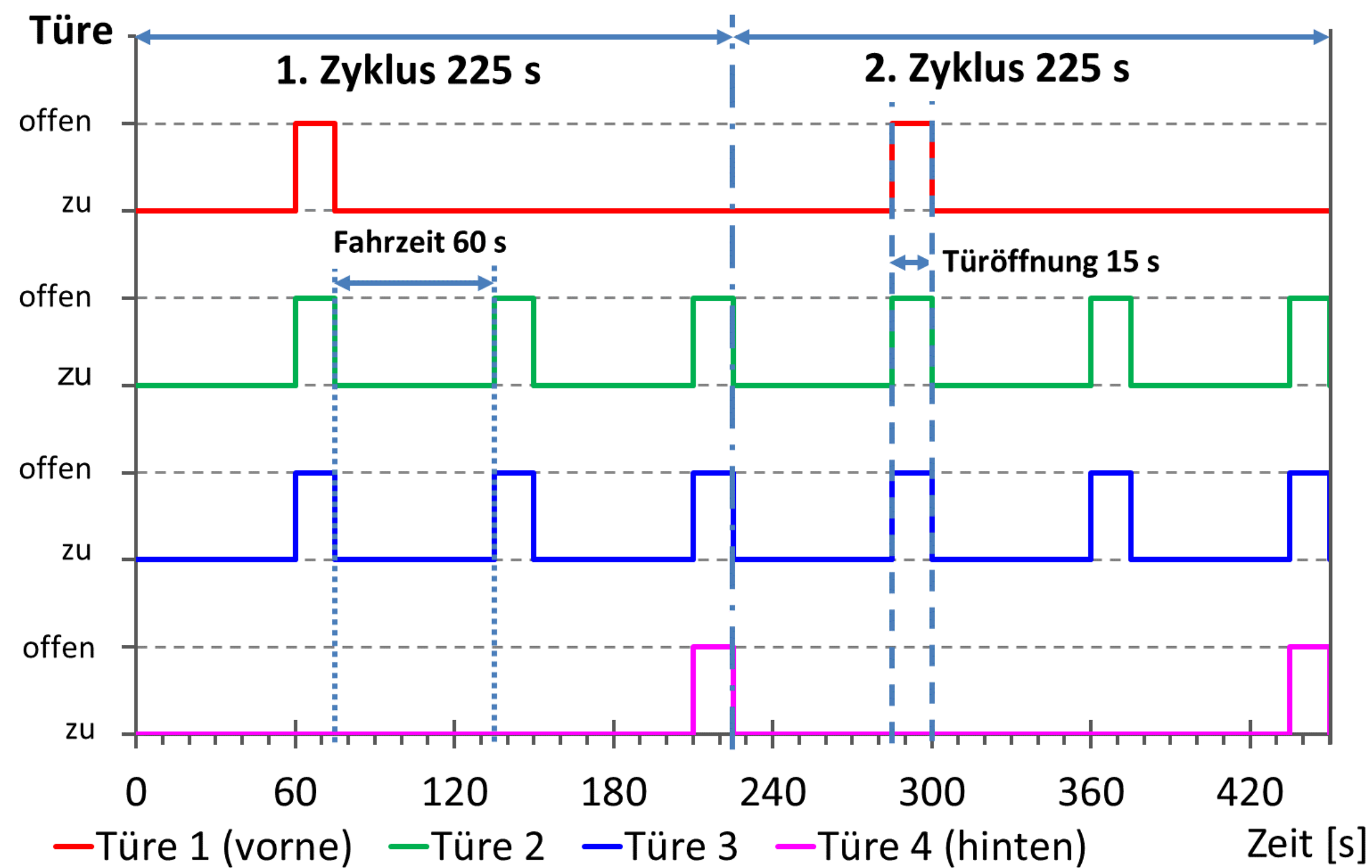
Caractéristiques	Solaris Urbino 18	Mercedes Benz Citaro
Année de construction	2020	2019
Longueur	18 m	12 m
Poids à vide	17,3 t	11,4 t
Places assises / debout	43 / 106	33 / 57
Nombre de portes / taille (LxH)	4 / 1,2 x 2,0 m	3 / 1,25 x 2,0 m
Puissance du moteur	270 kW	220 kW
Capacité de refroidissement de la climatisation	2 x 30 kW	2 x 36 kW
Capacité de chauffage de la climatisation	2 x 24 kW	2 x 32 kW
Capacité de chauffage des convecteurs	6 kW	5,5 kW
Capacité de chauffage du chauffage auxiliaire	35 kW	35 kW



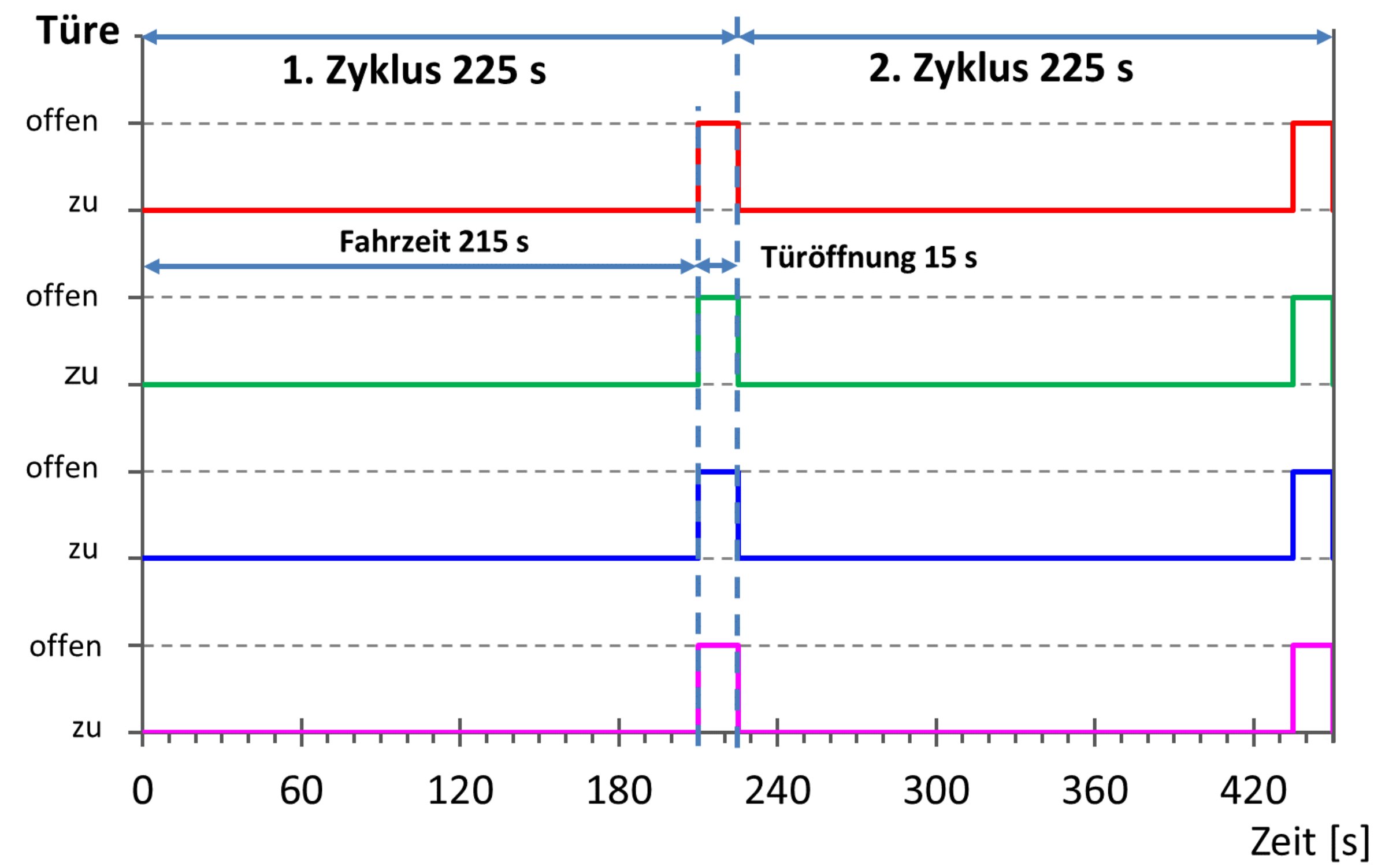


# Cycle des portes

## Cycle des portes en ville

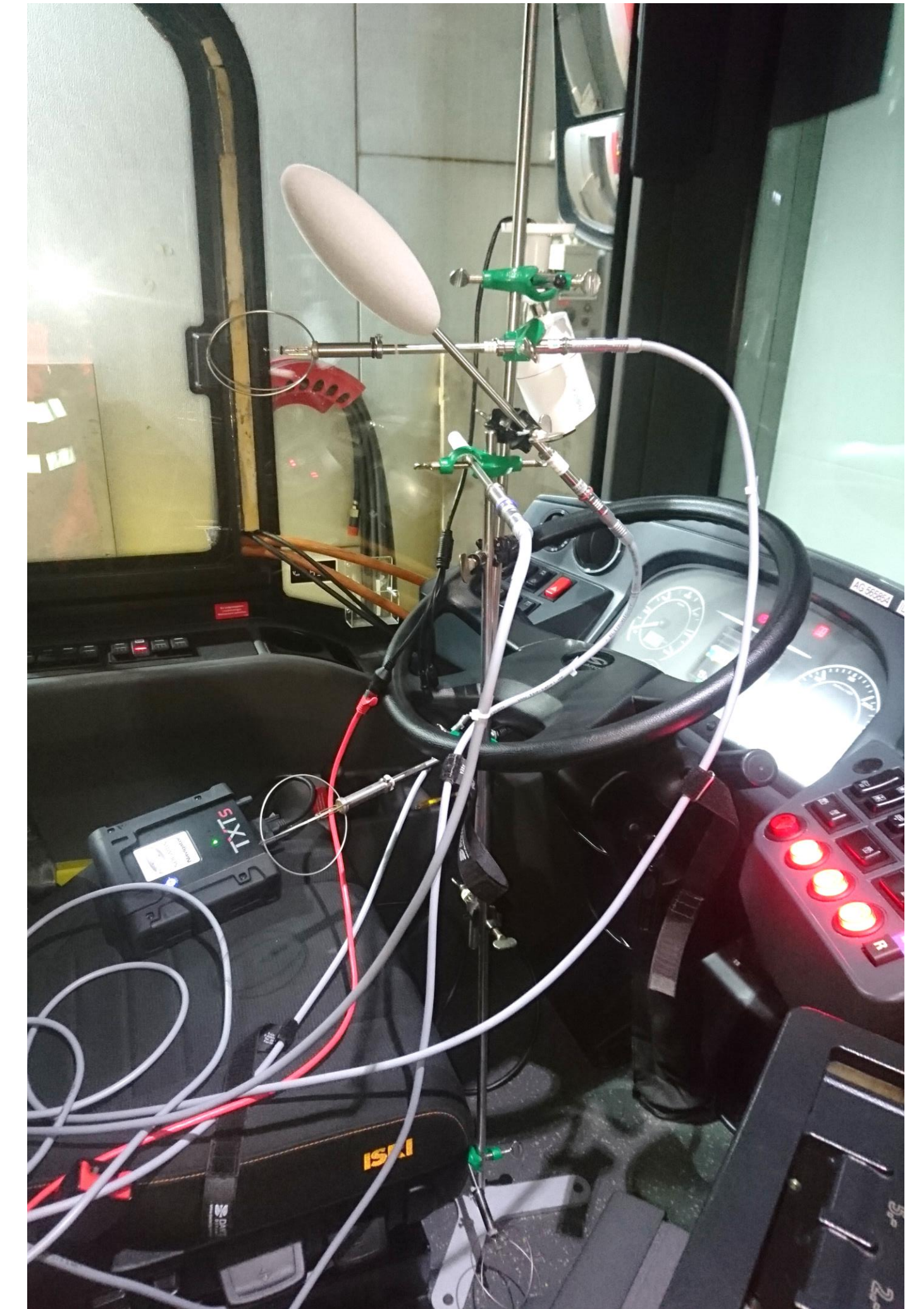
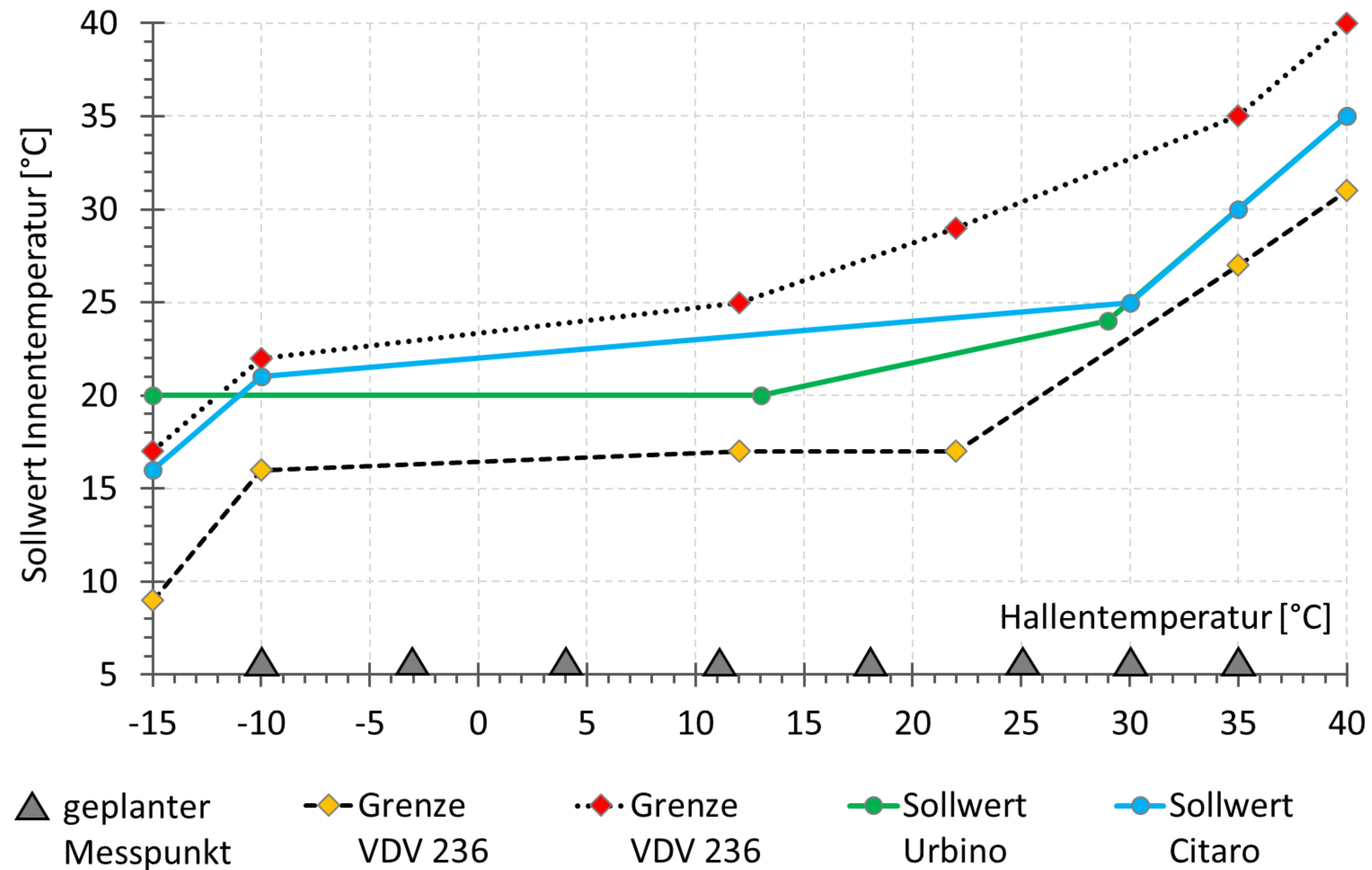


## Cycle des portes en campagne



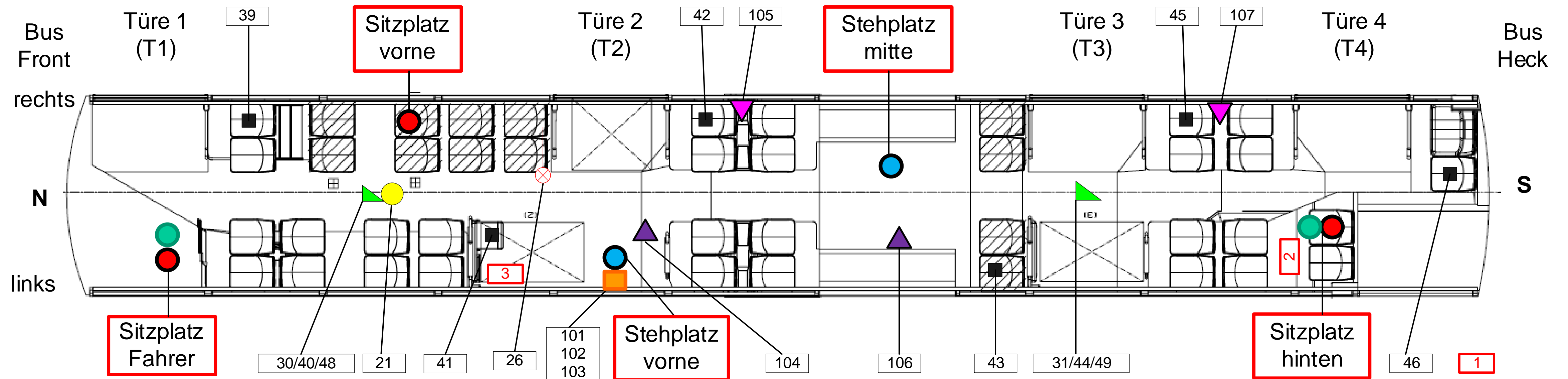


# Courbes des valeurs théoriques, diagramme caractéristique du confort VDV 236





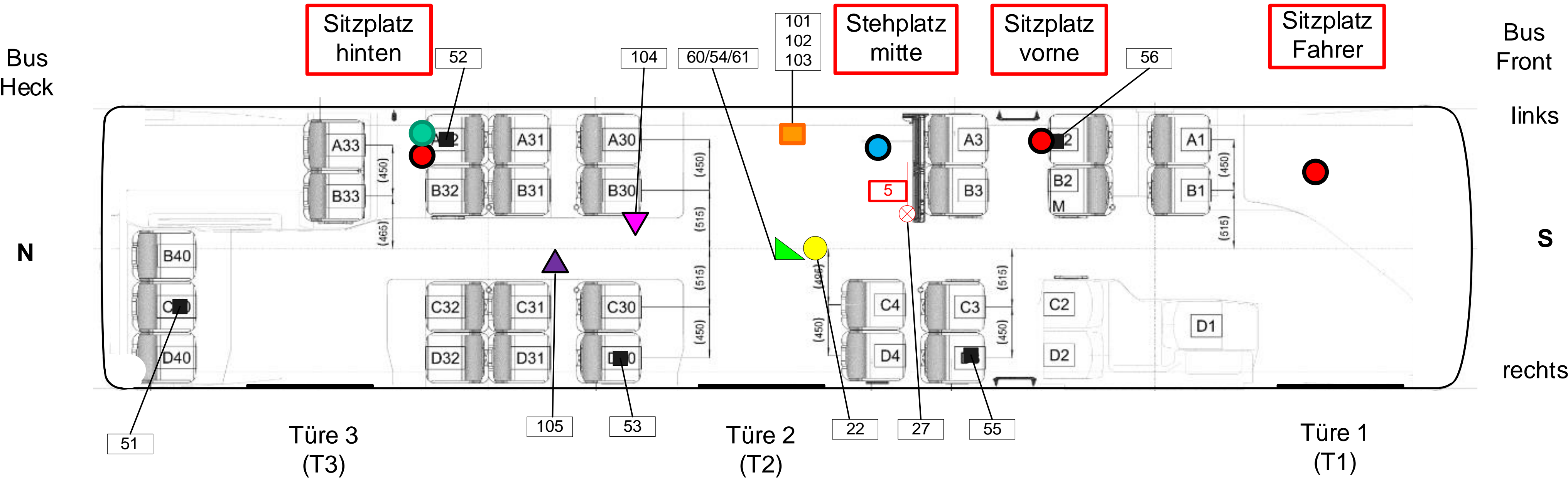
# Dispositif de mesure dans l'Urbino



- |  |  |   |
|--|--|---|
| ■ Lufttemperatur 1.1m ab FOK   | ▼ Zulufttemperatur   | ▲ Ablufttemperatur                                    |
| ▲ Lufttemperatur 0.1/1.1/1.7m ab FOK                                     | ● Luftfeuchtigkeit   | ■ Oberflächentemperaturen:<br>Boden, Brüstung, Glas   |
| ⊗ Innenüberdruck gegenüber Aussenluft                                    | xy Messbox   | ● Operative Temperatur & Rel.<br>Feuchte 1.1 m ab FOK |
| ● Lufttemperatur & Luftgeschwindigkeit<br>Sitzplatz: 0.1/0.6/1.1m ab FOK | ● Lufttemperatur & Luftgeschwindigkeit<br>Stehplatz: 0.1/0.6/1.1/1.8m ab FOK |   |



# Dispositif de mesure dans le Citaro



- |   |   |    |   |   |   |
|---|---|----|---|---|---|
| ■ | Lufttemperatur 1.1m ab FOK  | ▼  | Zulufttemperatur  | ▲ | Ablufttemperatur                                      |
| ▲ | Lufttemperatur 0.1/1.1/1.7m ab FOK                                      | ●  | Luftfeuchtigkeit  | ■ | Oberflächentemperaturen HSLU: Boden, Brüstung, Glas   |
| ⊗ | Innenüberdruck gegenüber Aussenluft                                     | xy | Messbox   | ● | Operative Temperatur & Rel. Feuchte HSLU 1.1 m ab FOK |
| ● | Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit HSLU Sitzplatz: 0.1/0.6/1.1m ab FOK | ●  | Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit HSLU Stehplatz: 0.1/1.1/1.8m ab FOK |   |   |

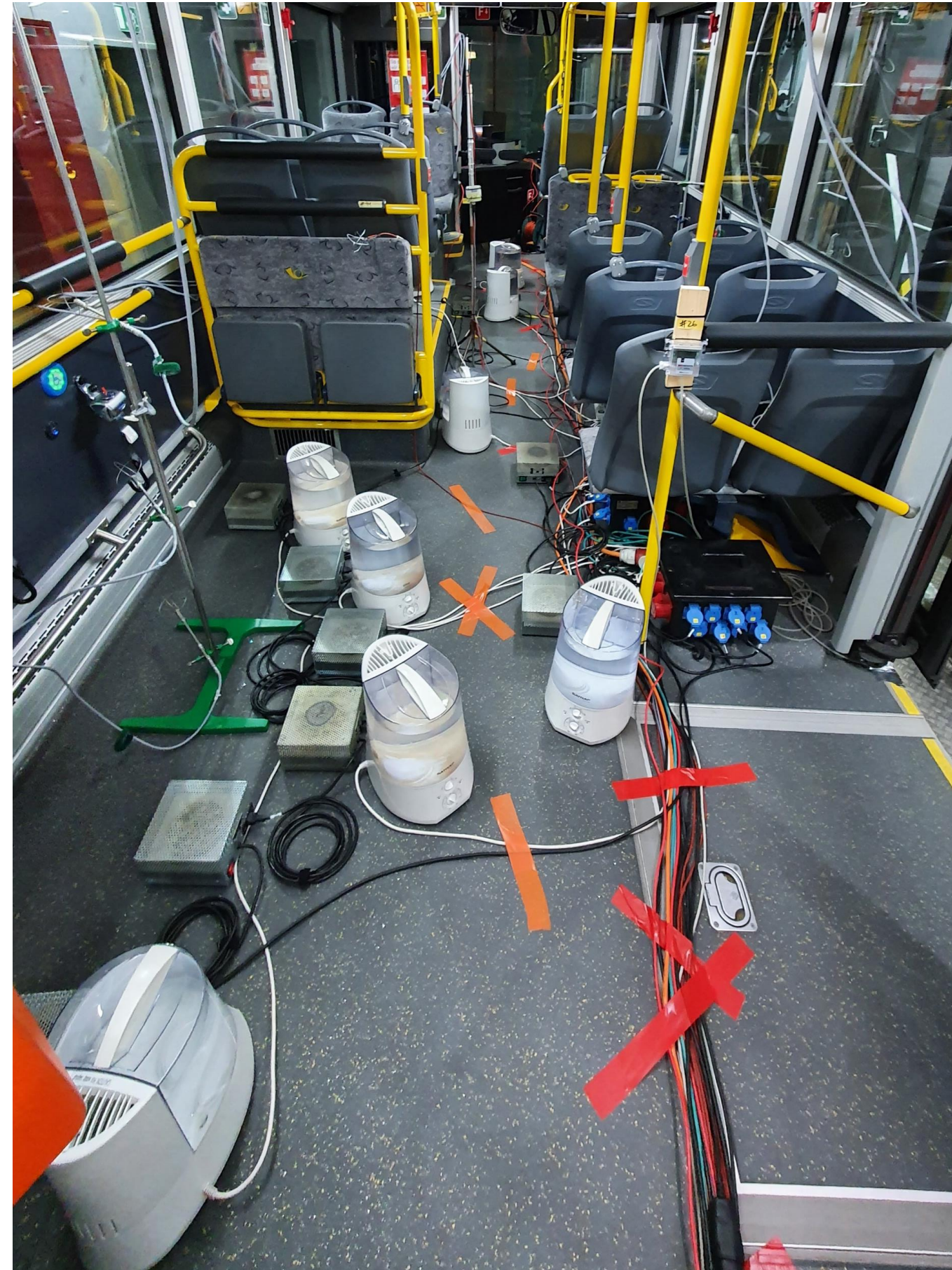


## Dispositif de mesure

**Capteurs au poste de conduite**  
Urbino



**Simulation de personnes**  
Urbino



**Température en surface du verre**  
Citaro





# Préparation des véhicules

## Conditions-cadres

- Mesures avec moteur en marche
  - mêmes conditions que dans le service de ligne
  - climatisation en mode automatique
  - commande des portes avec appareil de commande externe
- En mode chauffage, apport supplémentaire de chaleur dans le circuit hydraulique avec des appareils de chauffage externes
- En mode climatisation, augmentation du régime du moteur pour donner suffisamment de puissance au compresseur de la climatisation
- Exploitation sur 24 h
  - vidéosurveillance du cockpit (témoins d'alarme)
  - surveillance des données du moteur avec des instruments de diagnostic
  - surveillance des gaz d'échappement dans la chambre climatique





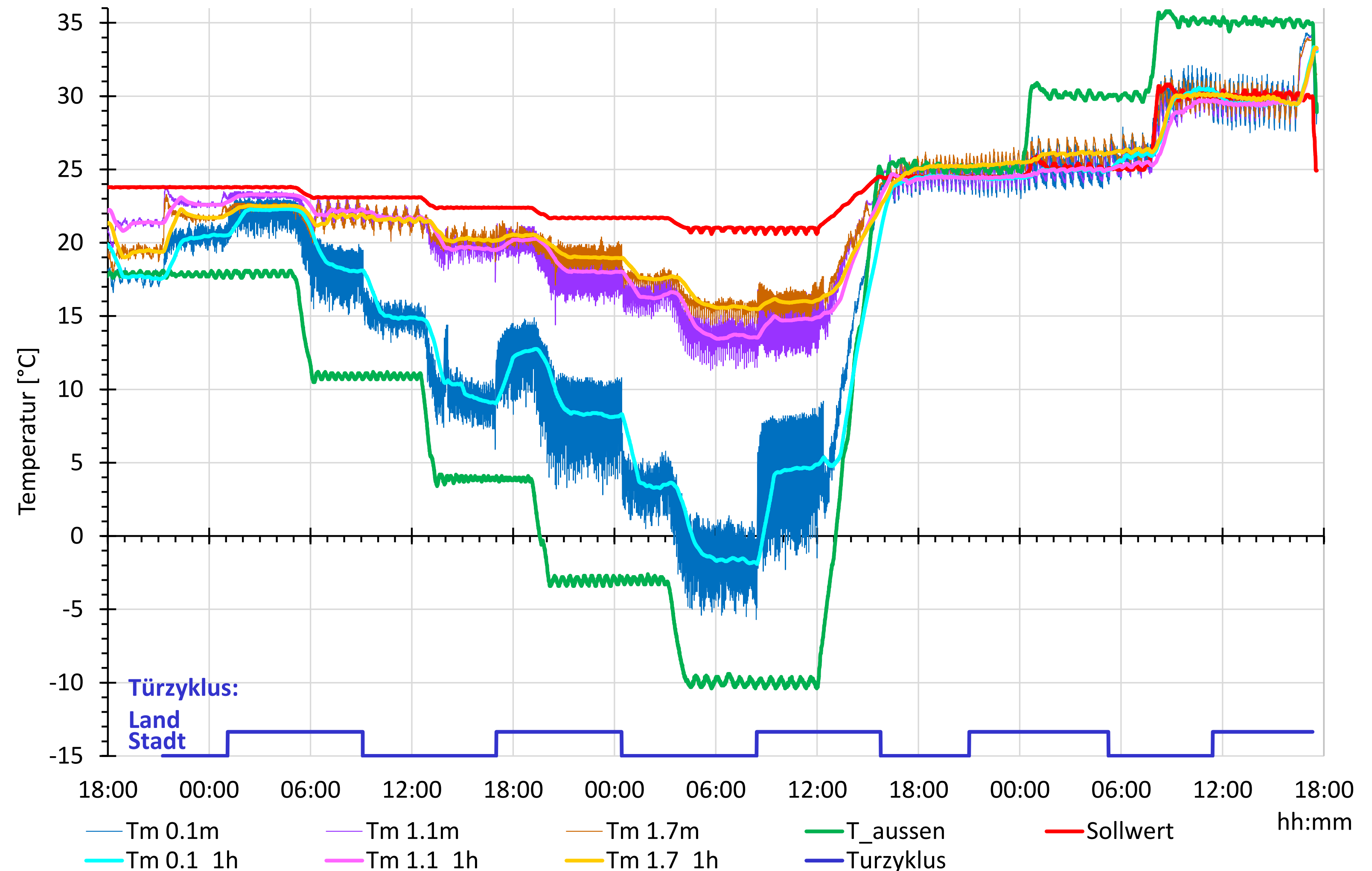




# Déroulement des essais sur le Citaro (du 25 mai 2021 18h00 au 28 mai 2021 18h00)

## Programme de mesure

- Début du mode chauffage par une température extérieure de 18 °C ( $T_{\text{aussen}}$ )
- Mode chauffage avec chauffage auxiliaire
- Diminution de la température extérieure après stabilisation et mesure (env. 1h)
- Mesure pour chaque température extérieure avec un cycle de portes ville et campagne
- Mode climatisation seulement à partir du 27 mai à 12h00 avec régime moteur augmenté (compresseur)





# Stratification des températures dans le Citaro

## Stratification thermique (verticale)

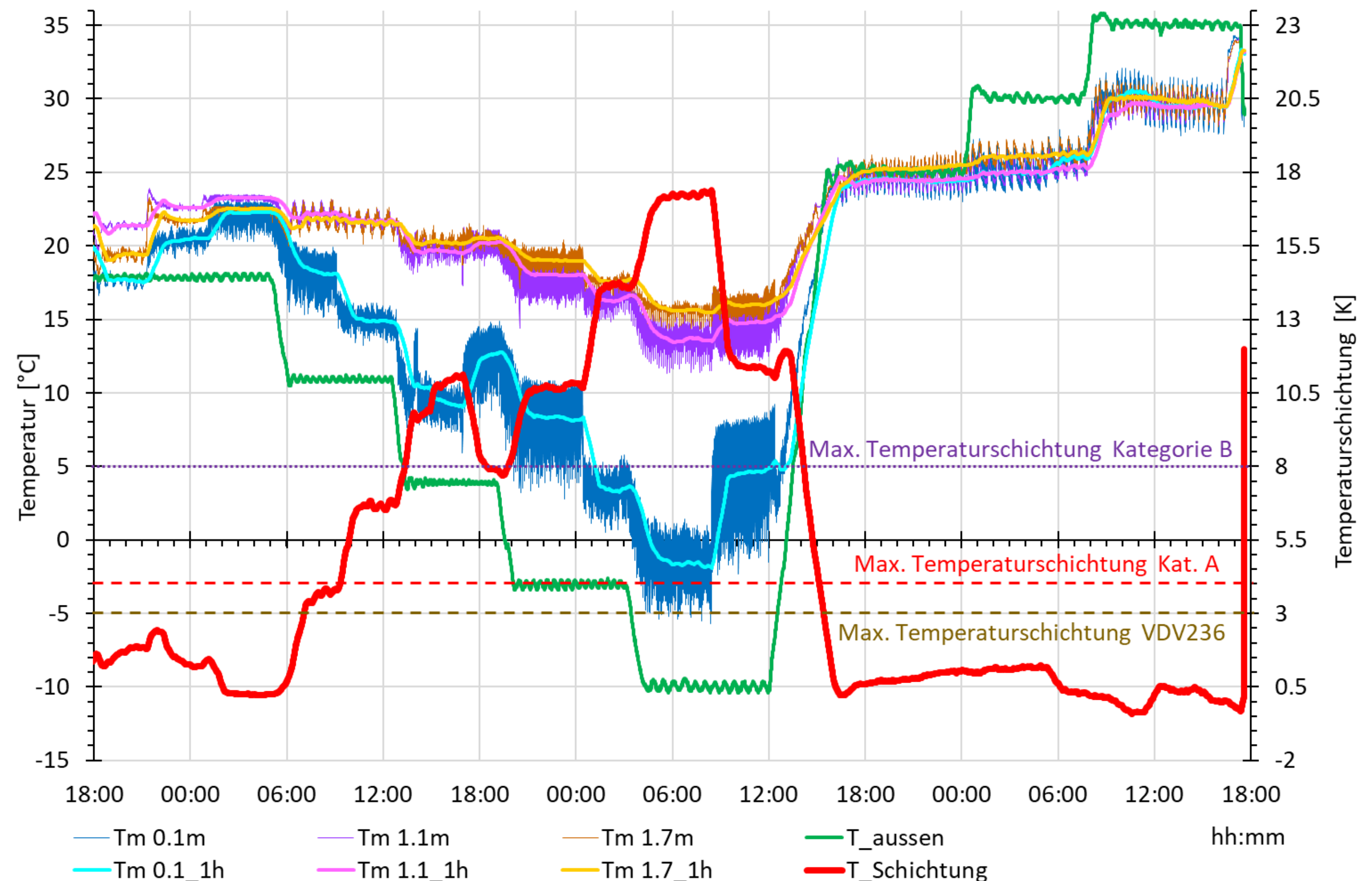
Différence entre la température intérieure moyenne à 1,7 m de hauteur et à 0,1 m

## Mode climatisation

- Faible stratification thermique ( $< 1$  K)
- Toutes les valeurs limites sont bien respectées

## Mode chauffage

- Forte stratification thermique par températures extérieures inférieures à  $0^{\circ}\text{C}$
- Valeurs limites EN 14750 (cat. A, B) et VDV 236 dépassées
- De grands écarts sont attendus dans l'application ( $-20^{\circ}\text{C}$ )





# Diagramme caractéristique du confort et écart avec les valeurs théoriques de la norme VDV 236 dans le Citaro

## Diagramme caractéristique du confort

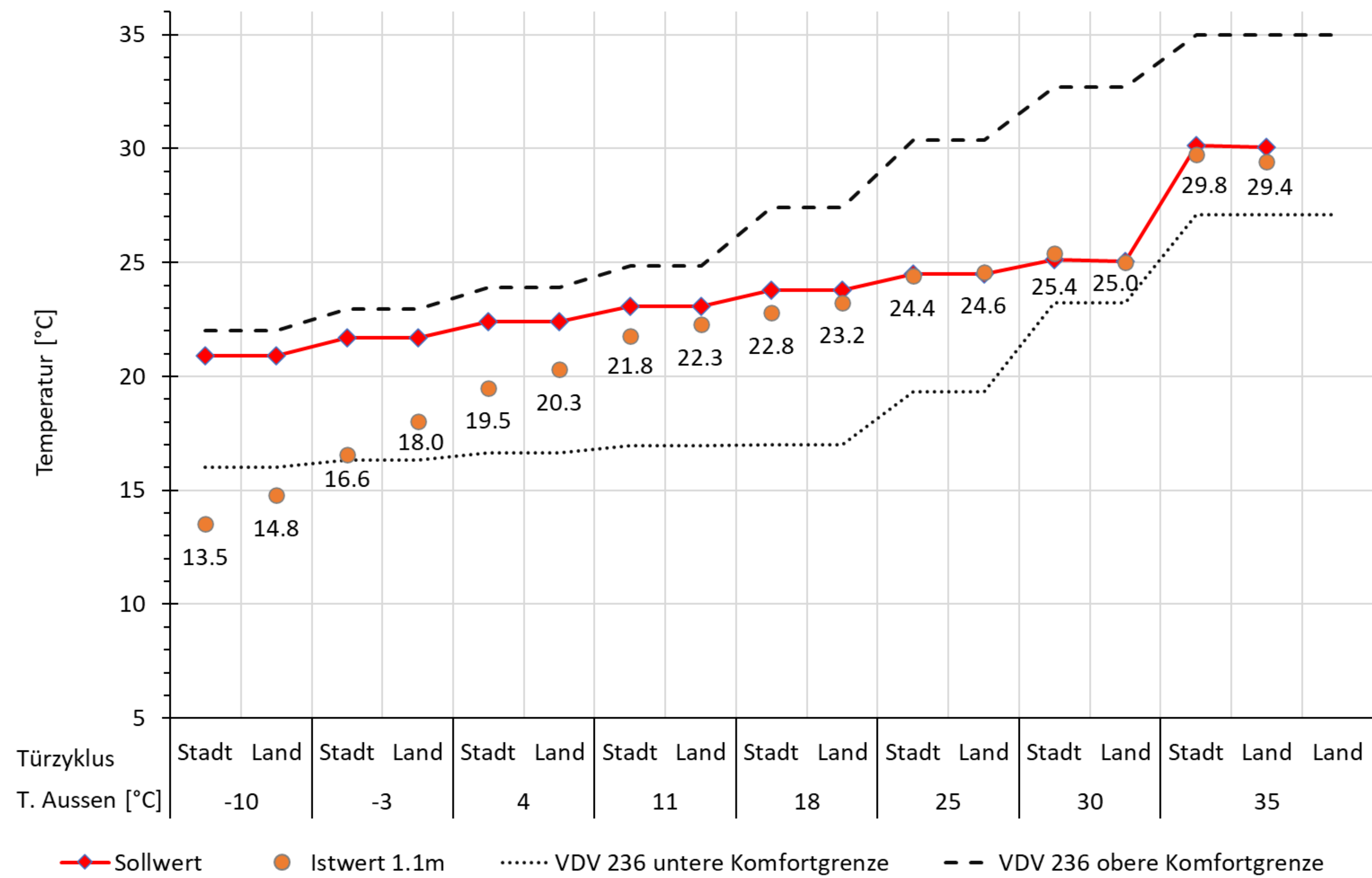
Évaluation de la température intérieure moyenne à une hauteur de 1,1 m avec une limite de confort supérieure et inférieure en fonction de la température extérieure

### Mode climatisation

- Toutes les limites de confort sont respectées

### Mode chauffage

- Limite de confort inférieure non respectée par températures extérieures inférieures à -3 °C
- Plus grands écarts en cycle ville qu'en cycle campagne





# Écart avec les valeurs théoriques de la norme EN 1750 dans le Citaro

## Écart avec les valeurs théoriques

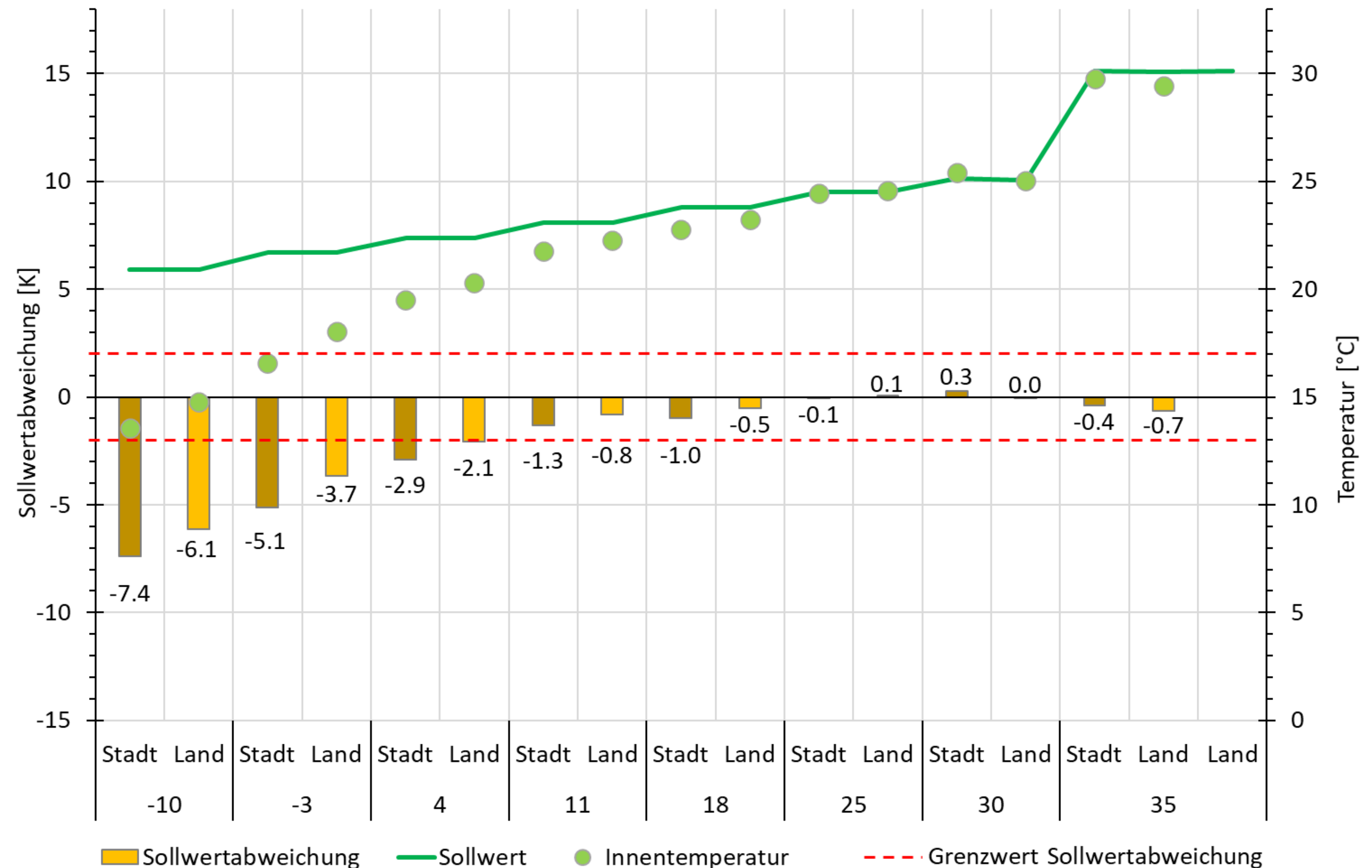
Différence entre la température intérieure moyenne à une hauteur de 1,1 m et la valeur théorique

### Mode climatisation

- Les écarts sont faibles, la valeur limite de 2 K est respectée

### Mode chauffage

- Les écarts augmentent à mesure que la température extérieure baisse
- La valeur limite est dépassée par des températures extérieures inférieures à 4 °C
- Plus grands écarts en cycle ville qu'en cycle campagne





# Différences de température des surfaces dans le Citaro

## Différence de température des surfaces

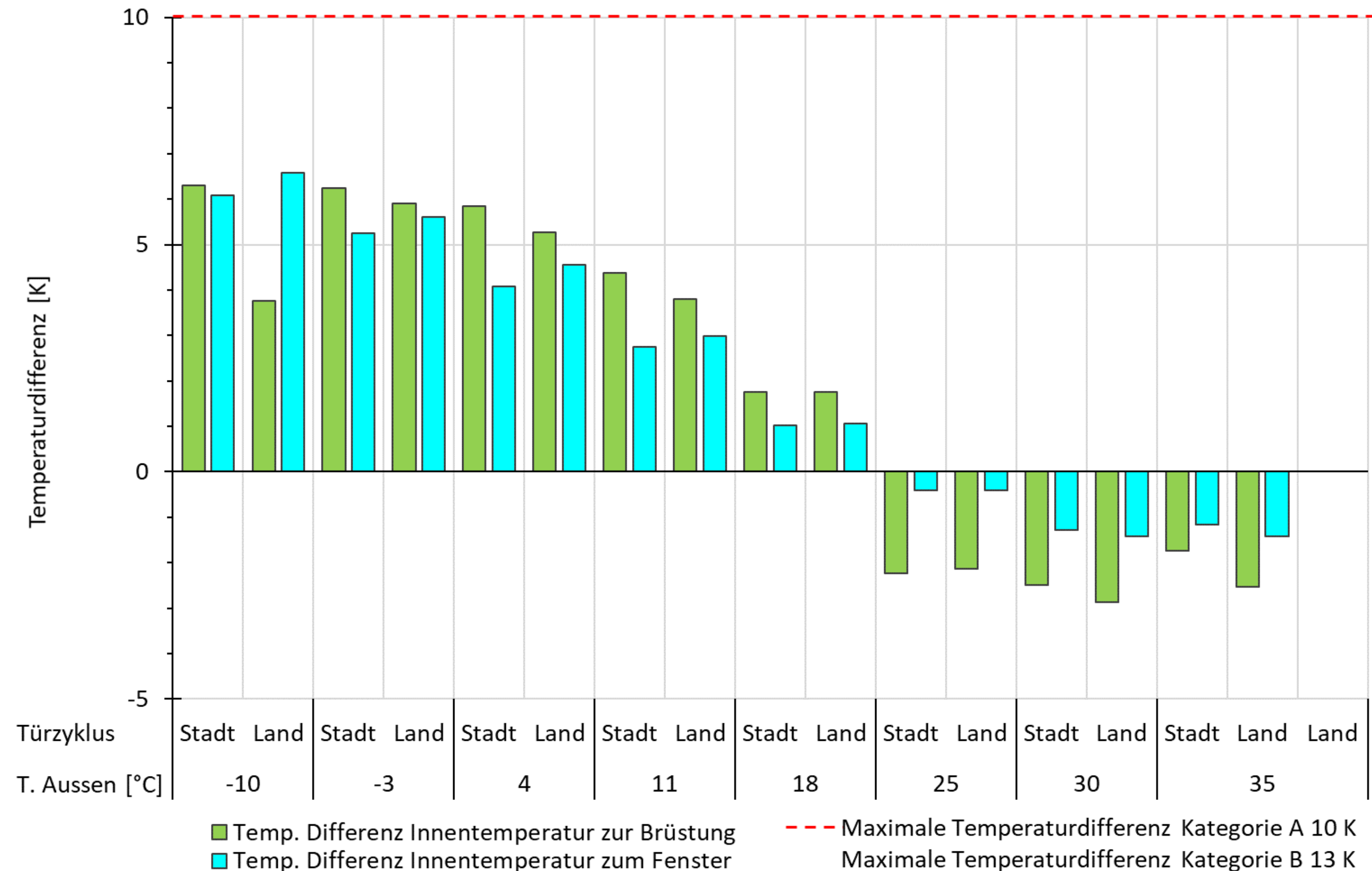
Différence entre la température intérieure moyenne à une hauteur de 1,1 m et la température des surfaces

### Mode climatisation

- Faibles différences, la valeur limite cat. A de 10 K est respectée
- Plus grande différence en cycle ville qu'en cycle campagne

### Mode chauffage

- Plus grandes différences qu'en mode climatisation
- La différence de température augmente à mesure que la température extérieure baisse
- Les valeurs limites sont respectées





# Températures des surfaces dans le Citaro et l'Urbino

## Température des surfaces

Température de la surface du sol

La température du sol doit être d'au moins +3 °C pour des raisons de sécurité

=> éviter la formation de verglas

## Mode climatisation

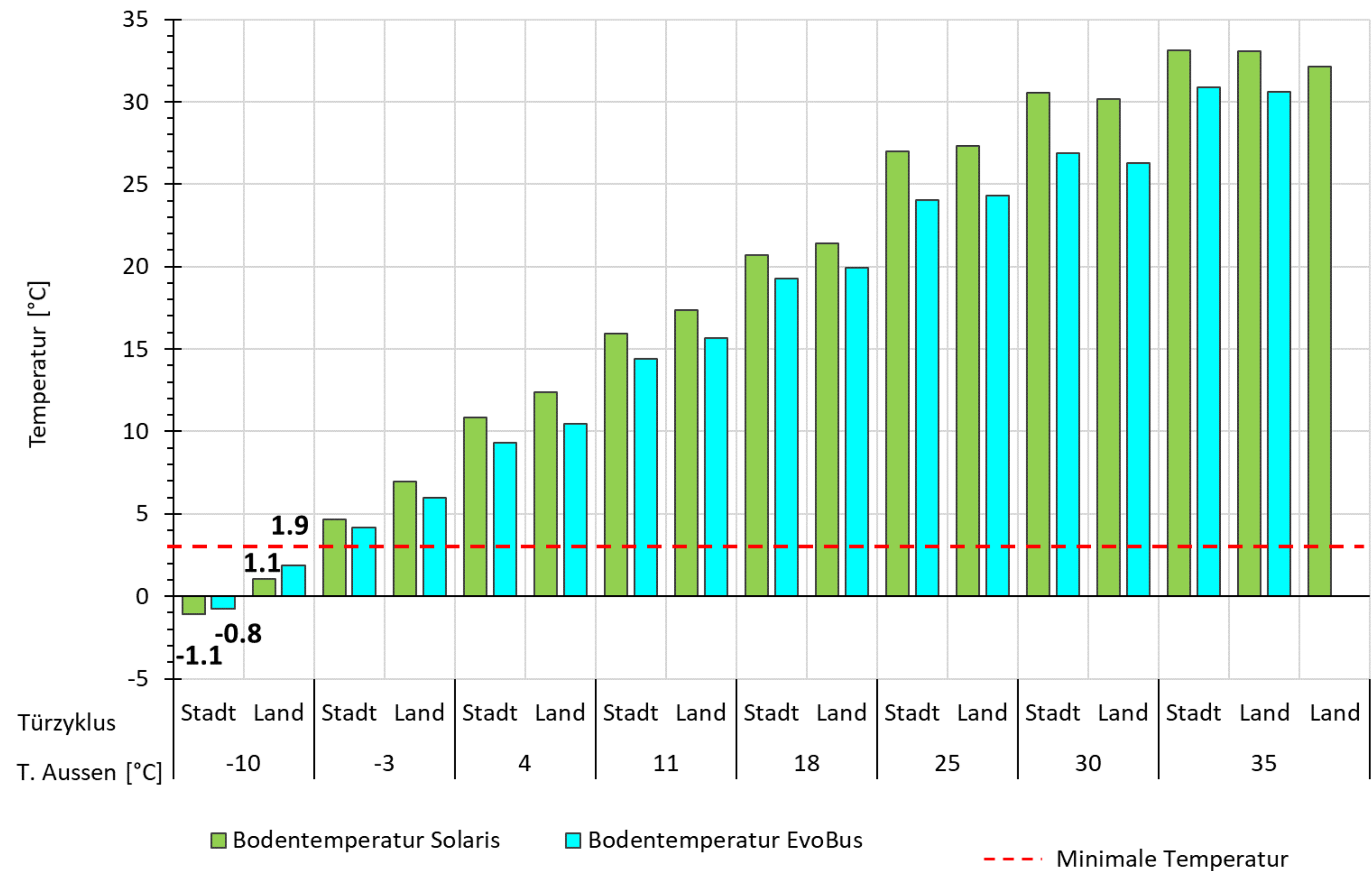
- Non critique

## Mode chauffage

- La valeur limite est dépassée par des températures extérieures inférieures à -10 °C
- Température négative du sol par des températures extérieures inférieures à -10 °C

=> risque de verglas

=> les passagers peuvent glisser





# Vitesse de l'air en place assise à l'arrière du Citaro

## Vitesse de l'air

(critère d'évaluation des courants d'air)

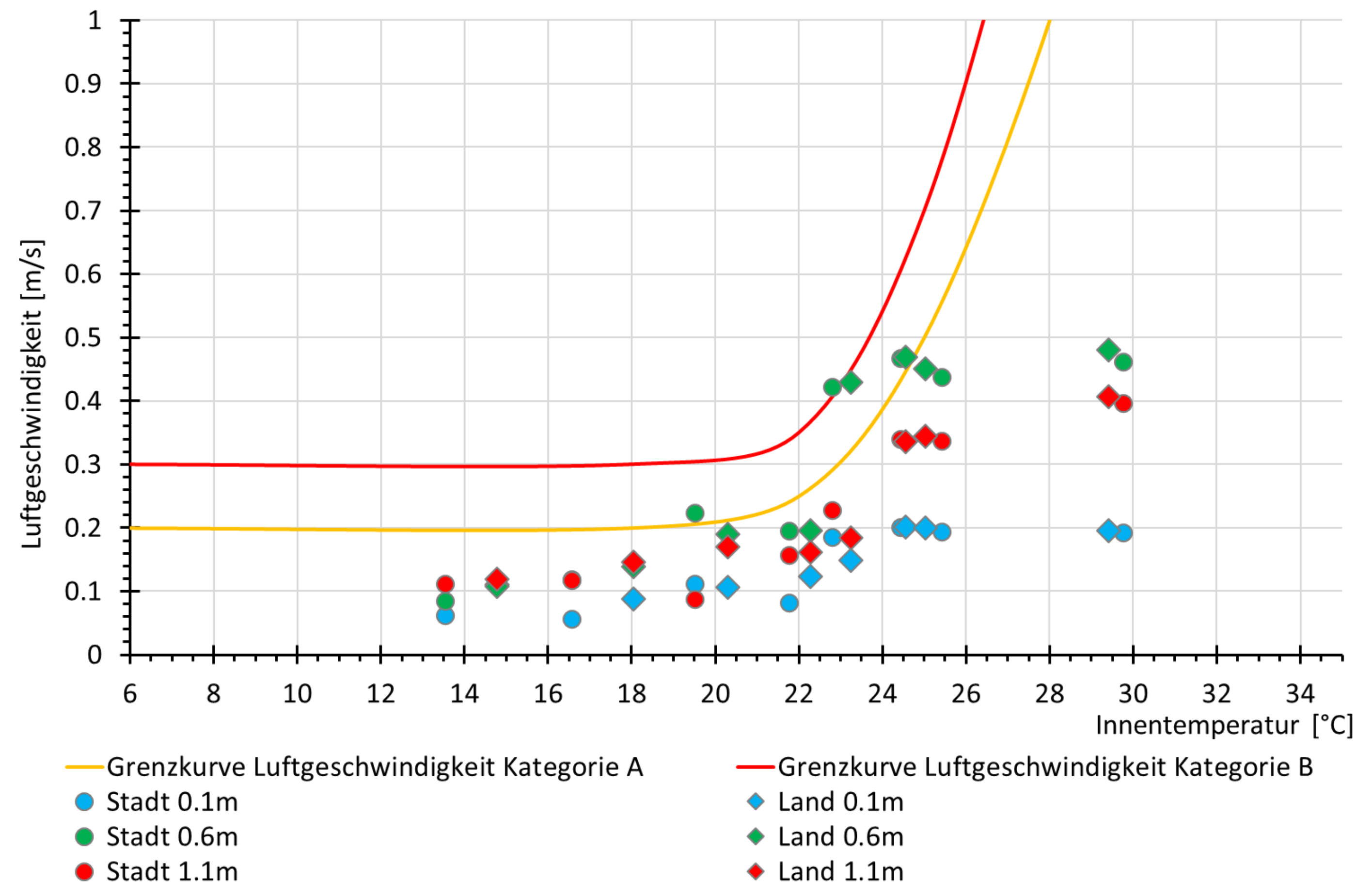
La vitesse moyenne de l'air a été mesurée dans le Citaro à hauteur des pieds (0,1 m), des genoux (0,6 m) et de la tête (1,1 m). La température intérieure a été mesurée à une hauteur de 1,1 m.

## Mode climatisation

- Pour des températures intérieures de 22 à 26 °C, les valeurs les plus élevées ont été mesurées à la hauteur de 0,6 m. Les valeurs limites ont parfois été légèrement dépassées.
- Justification: la part d'air ambiant est plus grande

## Mode chauffage

- La valeur limite est toujours respectée par des températures intérieures inférieures à 18 °C





# Évaluation du confort selon la norme EN ISO 7730 dans le Citaro

## ISO 7730

- Procédure d'évaluation du confort thermique des espaces intérieurs

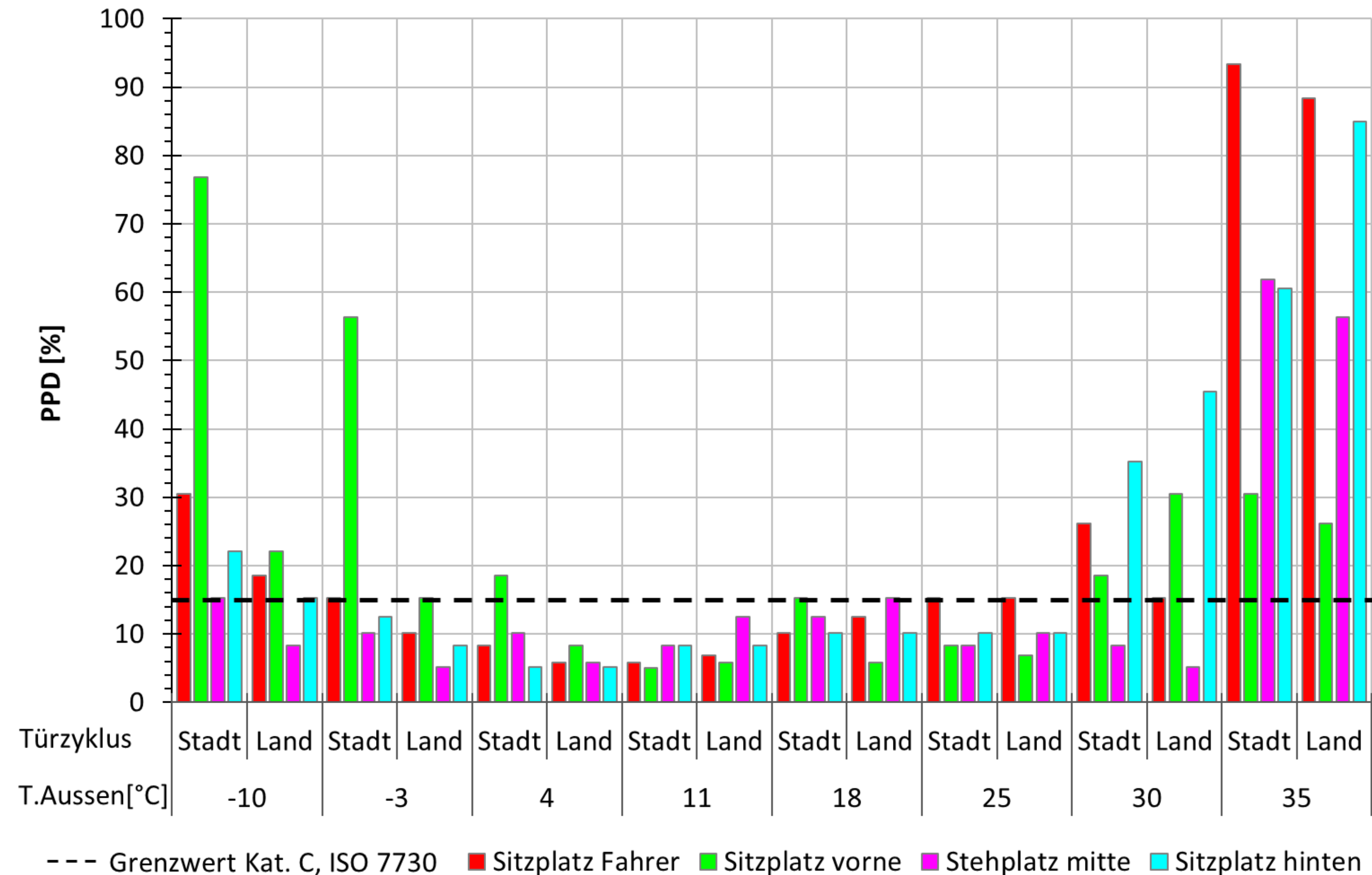
## Différence entre bâtiments et transports publics

- Vêtements  
=> vêtements adaptés comme en extérieur (hypothèse)
- Brève durée de séjour  
=> évaluation selon catégorie C

## Évaluation PPD:

(taux d'insatisfaction moyen)

- La valeur PPD est respectée pour les températures de 4 à 25 °C
- Davantage d'insatisfaits en cycle ville
- Le siège conducteur a la plus haute valeur PPD

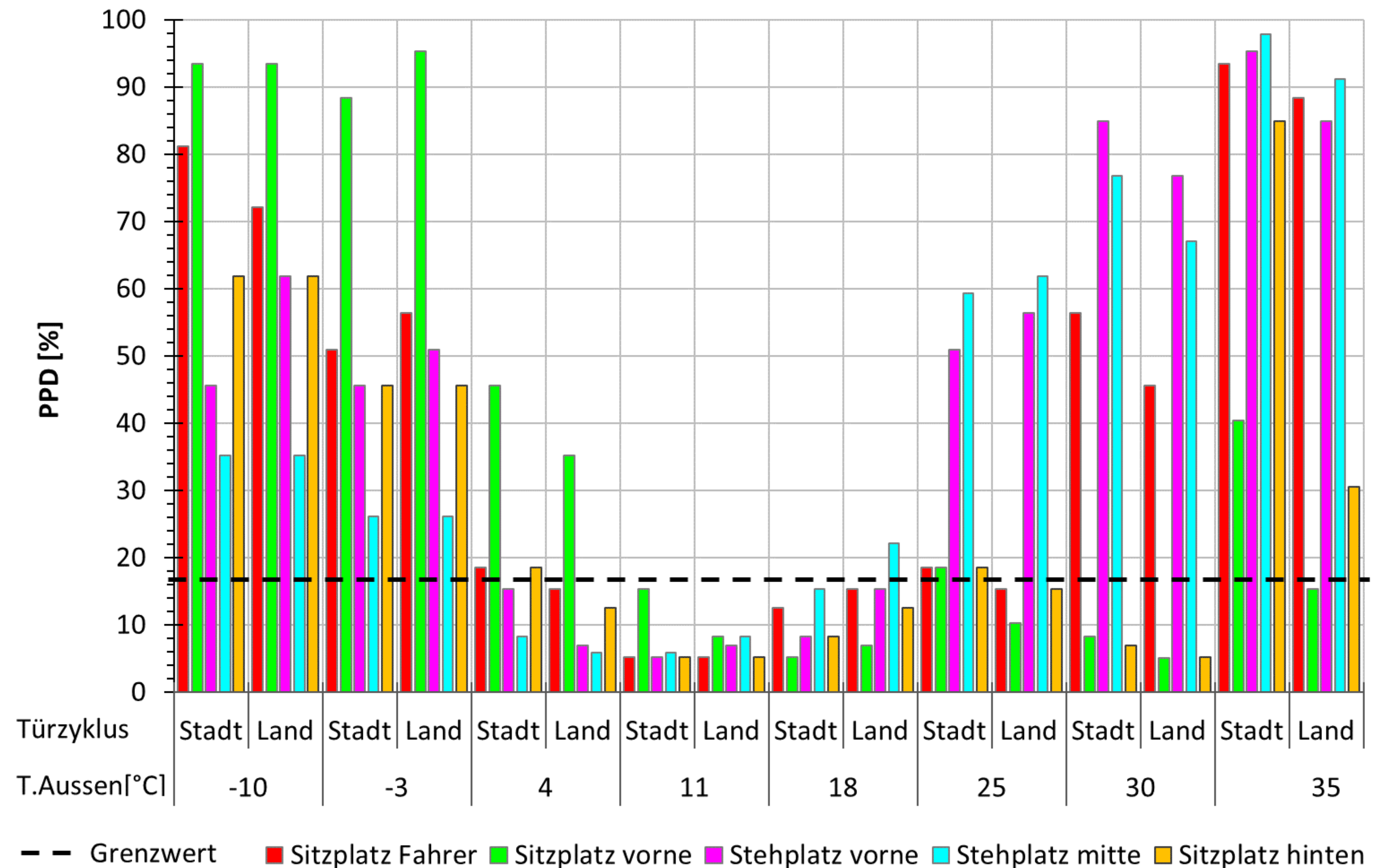




# Interprétation des résultats dans l'Urbino

## Mauvais paramétrage de l'installation CVC

- Il a été constaté après les mesures que la commande CVC était mal paramétrée
- L'illustration montre les valeurs PPD de l'Urbino avec le mauvais paramétrage
- C'est pourquoi aucun autre résultat de l'Urbino n'a été présenté, car il n'est pas possible de connaître en détail les effets de l'erreur de paramétrage





## Conclusion

- Les vitesses de l'air minimales ont majoritairement été bien respectées
- Importants écarts entre la température intérieure et la valeur théorique
- Grande stratification thermique en mode chauffage  
=> les valeurs limites ne sont pas respectées
- Faible stratification thermique en mode climatisation
- La température minimale du sol de + 3 °C n'a pas été respectée => risque de verglas
- Les valeurs de confort des normes VDV 236 et EN 14750 sont souvent enfreintes





## Recommandations d'amélioration du confort

### Réduire la stratification thermique

- Installer des rideaux d'air
- Modifier le guidage et la vitesse de l'air

### Réduire les écarts avec les valeurs théoriques

- Optimiser le placement des capteurs de température (à 1,1 m, hauteur de tête)
- Installer des rideaux d'air
- Isoler l'enveloppe du véhicule

### Augmenter les températures des surfaces en hiver

- Améliorer l'isolation du sol
- Améliorer l'isolation des parois latérales
- Tempérer le sol et améliorer l'isolation

### Adapter les normes

- Prendre en compte l'ouverture des portes dans les mesures de confort
- Élargir l'application de la norme EN 14750 aux bus
- Standardiser les courbes de valeurs théoriques

### Mettre en place des tests de réception

- Définir des tests de réception (homologations de type)





# MERCI

**Hochschule Luzern**  
**Technik & Architektur**  
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE  
**Franz Sidler**  
Senior Wissenschaftlicher Mitarbeiter

T direkt +41 41 349 33 77  
franz.sidler@hslu.ch

