

Greentower

Einfluss auf die Umgebung insbesondere auf Temperatur und Feinstaubbelastung

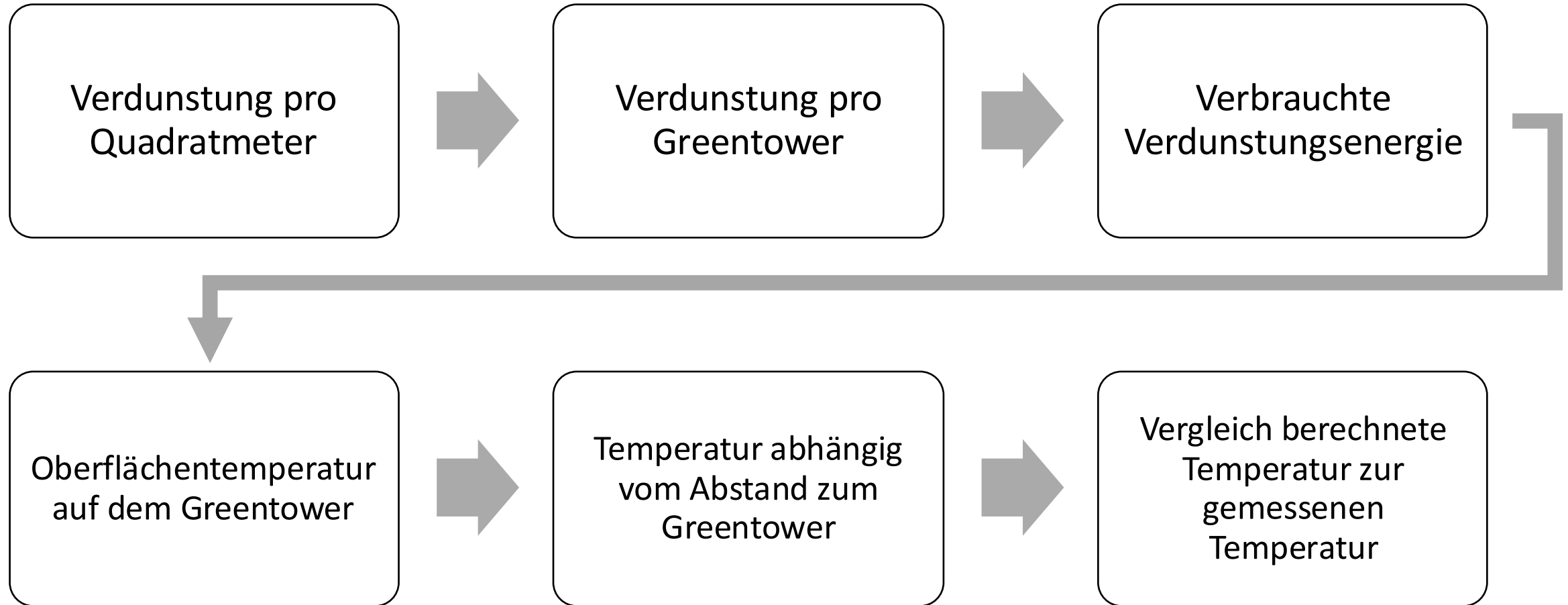


Analytische Rechnung

Ergebnisse

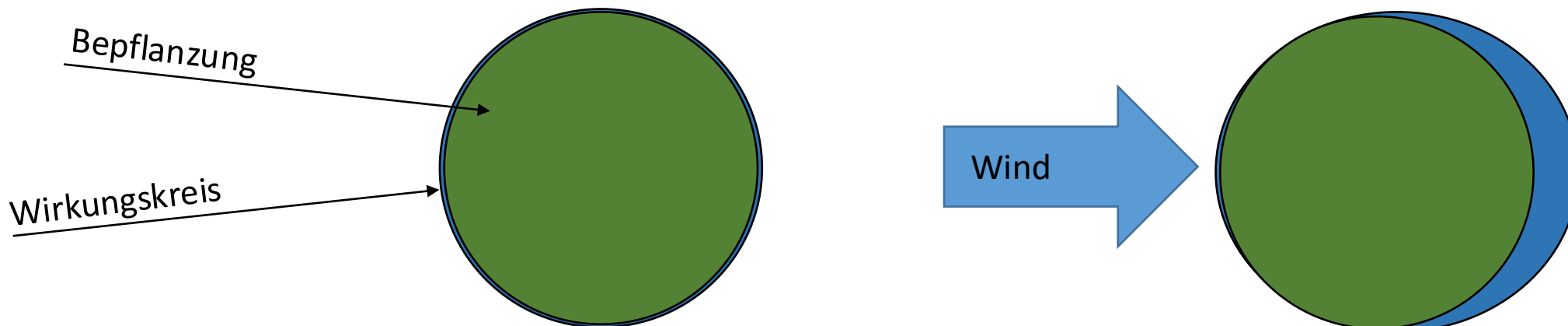
- Berechnungsschablonen für
 - Tageswerte der Verdunstung
 - Stundenwerte der Verdunstung und der Temperaturänderung am Greentower
 - Tageswerte der Verdunstung des Wassertanks (Hilfe zur Wasserbedarfberechnung)
- Berechnung der Oberflächentemperatur am GT mit gemessenen Temperatur-, Luftfeuchtigkeits-, Windgeschwindigkeits- und Bewölkungswerten

Vorgehensweise der Berechnung



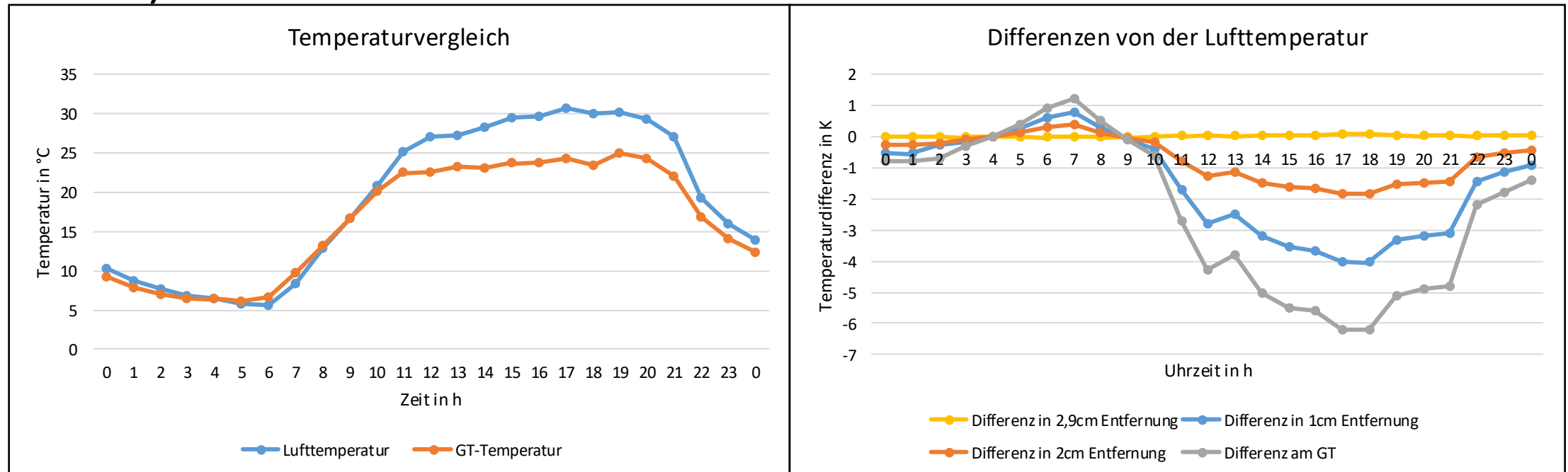
Temperaturänderung durch den Greentower

- Eine Änderung der Temperatur wird analytisch nur innerhalb von 29mm um den Greentower berechnet (Durchmesser GT: 1,5m)
- Windströmungen dürften die Änderung etwas in Windrichtung „mitziehen“
- Nur die Größe der Bepflanzungsfläche (Höhe und Durchmesser des GT) hat signifikanten Einfluss auf die Größe des Wirkungskreises



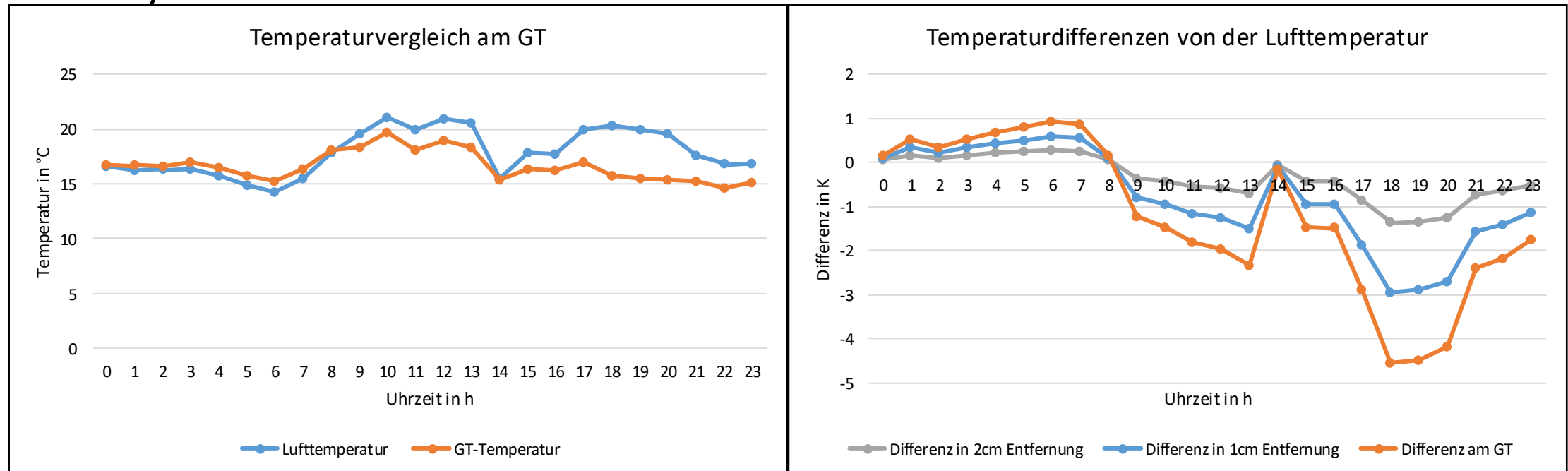
Beispielrechnung für den 7.7.23

- Wolkenfrei; durchschnittlich 10km/h (2,778m/s) Windgeschwindigkeit; starke Schwankung der Luftfeuchtigkeit (22-98%)



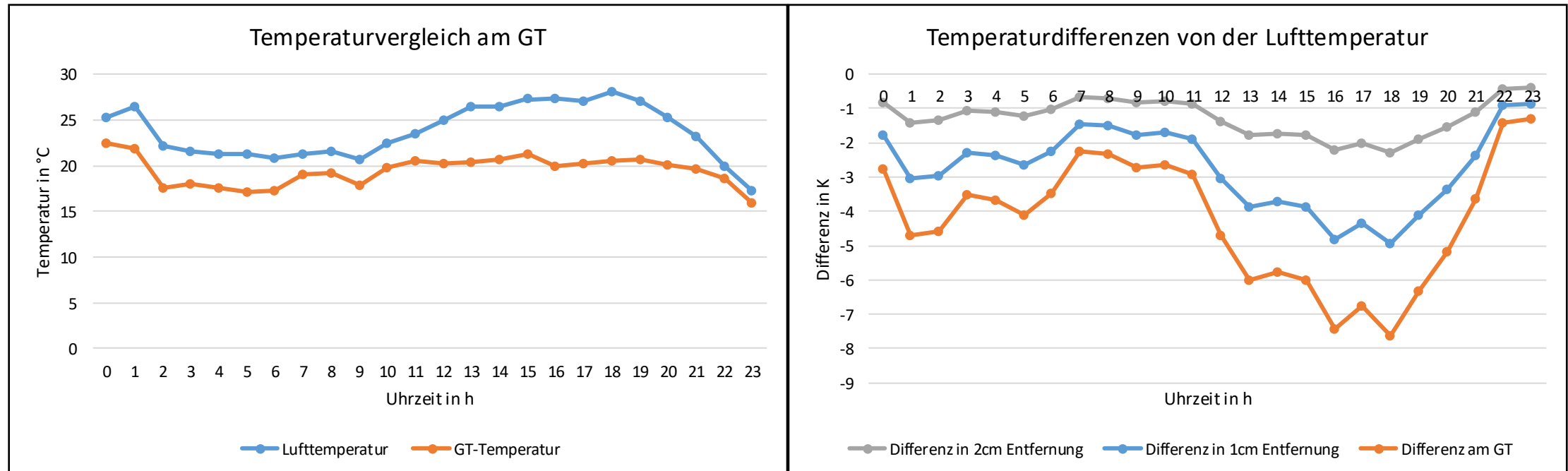
Beispielrechnung für den 30.7.23

- Größtenteils bewölkt; um 14 Uhr 7mm Niederschlag; durchschnittlich 19km/h (5,278m/s) Windgeschwindigkeit; hohe Luftfeuchtigkeit (54-98%)



Beispielrechnung für den 12.7.23

- Größtenteils bewölkt; durchschnittlich 20,5km/h (5,694m/s) Windgeschwindigkeit; mittlere Luftfeuchtigkeit (32-77%)

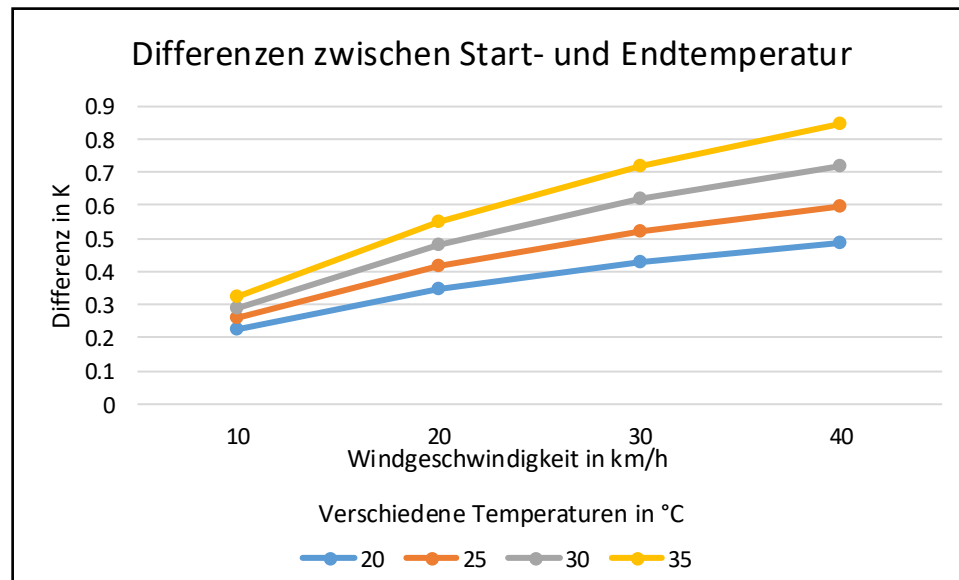


Optimale Bedingungen für die Kühlleistung

- Hohe Temperatur
- Geringe Luftfeuchtigkeit
- Hohe Windgeschwindigkeit

Ansatz: Ventilatoren im Greentower

- Ähnliches Vorgehen gefunden und nachgerechnet
- Hier wird durch die Substratfläche verdunstet
- Die Temperaturdifferenzen, die hier entstehen, werden mit den

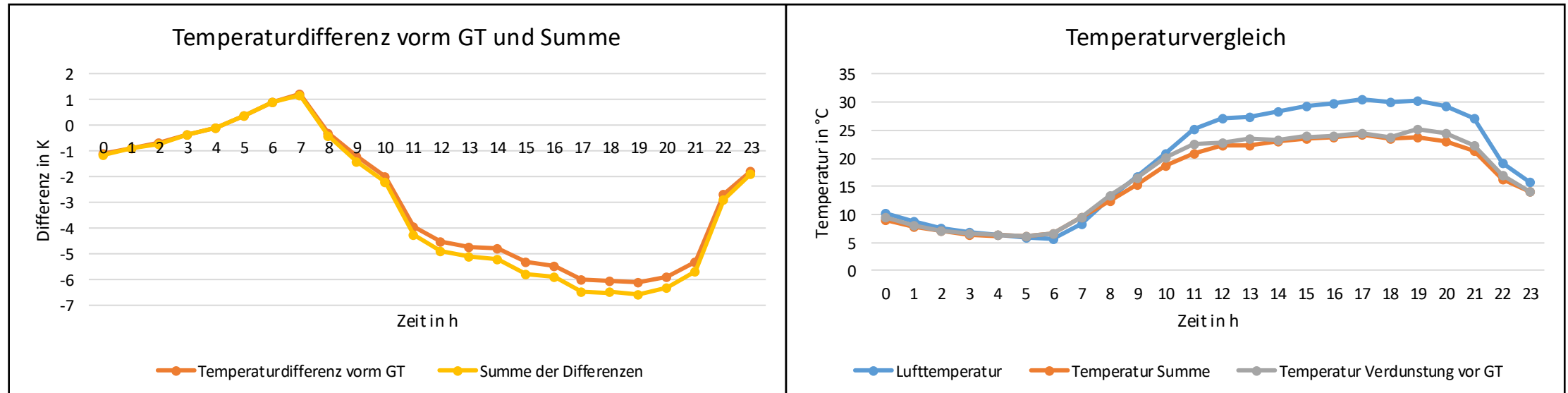


Differenzen, die bei der äußeren Verdunstung entstehen, addiert

- Dabei ist die Verdunstungsfähigkeit des Substrats ein wichtiger Faktor
- Erhöhter Wasserbedarf ist zu beachten

Zusammenführung der beiden Ansätze

- Der Einfluss der äußeren Verdunstung ist laut Rechnung wesentlich größer als der Einfluss der Verdunstung im GT
- Bei geringerem Abstand der Windströmung zum Substrat, wird sich die Differenz im GT erhöhen



Rechnung mit konstanter Windgeschwindigkeit (12,6km/h), die geringer als die gemessene ist

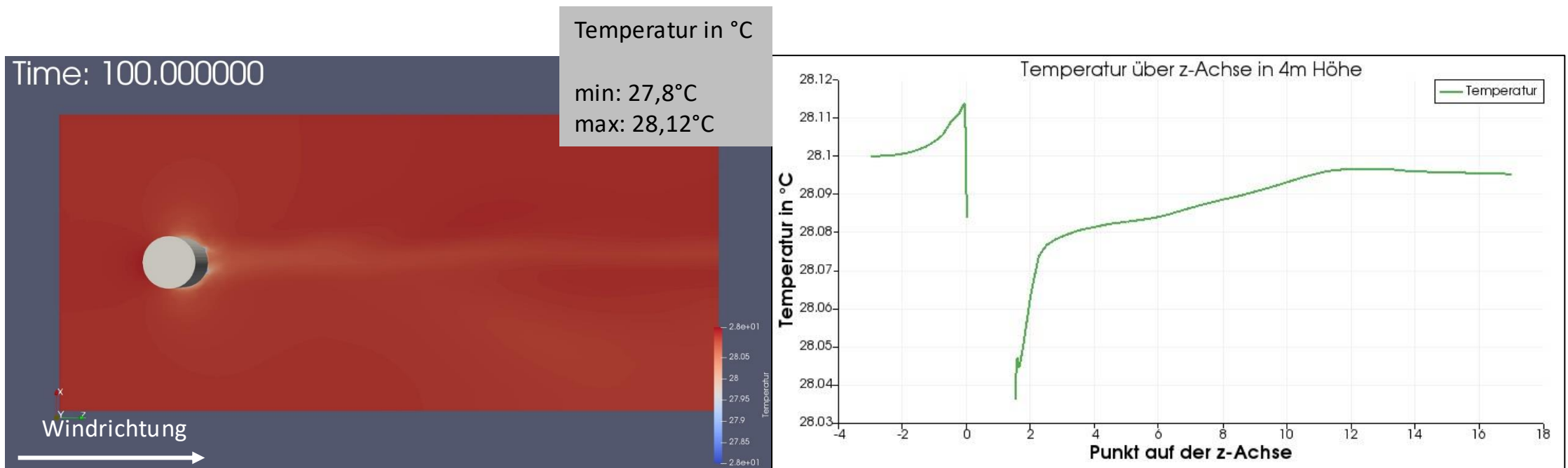
Berechnungen mit OpenFOAM

Eingaben

- Eingesetzt werden die gemessenen Werte für Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit und der analytisch berechnete Wert für die Temperatur an der Oberfläche des Greentowers
- Berechnungen finden mit den Werten von Zeitpunkten statt, die einen hohen Temperaturunterschied zwischen Luft- und Greentower-Temperatur aufweisen; insbesondere 12.7. um 18 Uhr und 7.7. um 7 Uhr
- Als Material für den Greentower wurde Polybuten angenommen (das Material der Bepflanzungskästen)

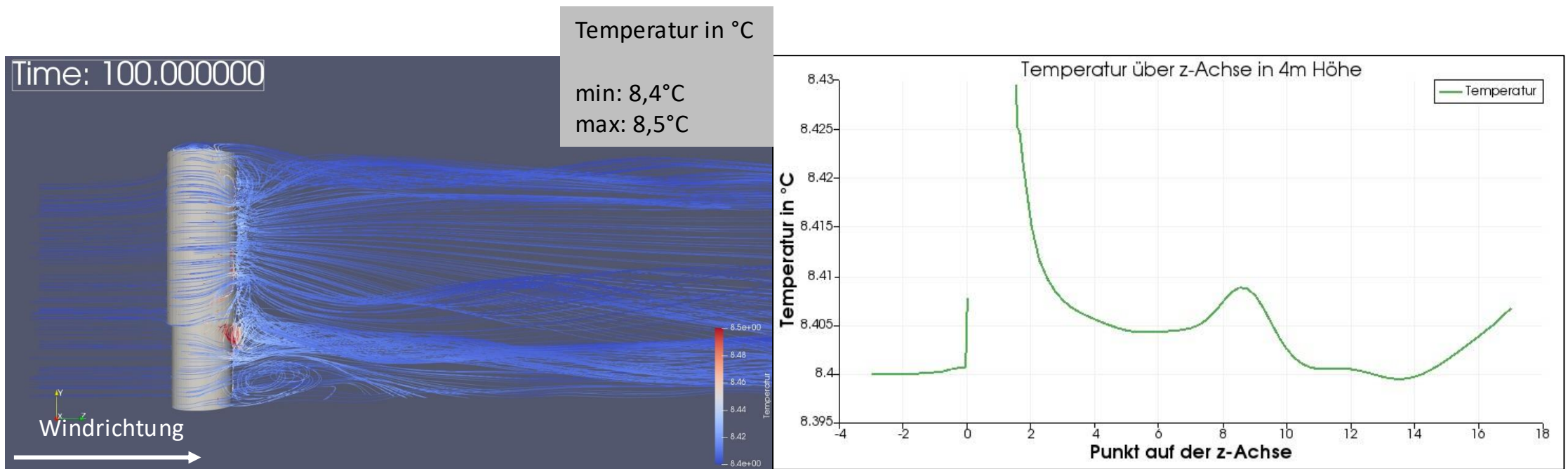
Ein Greentower

- Berechnung mit Lufttemp.: 28,1°C; GT-Temp.: 20,47°C;
Windgeschwindigkeit: 5,7m/s



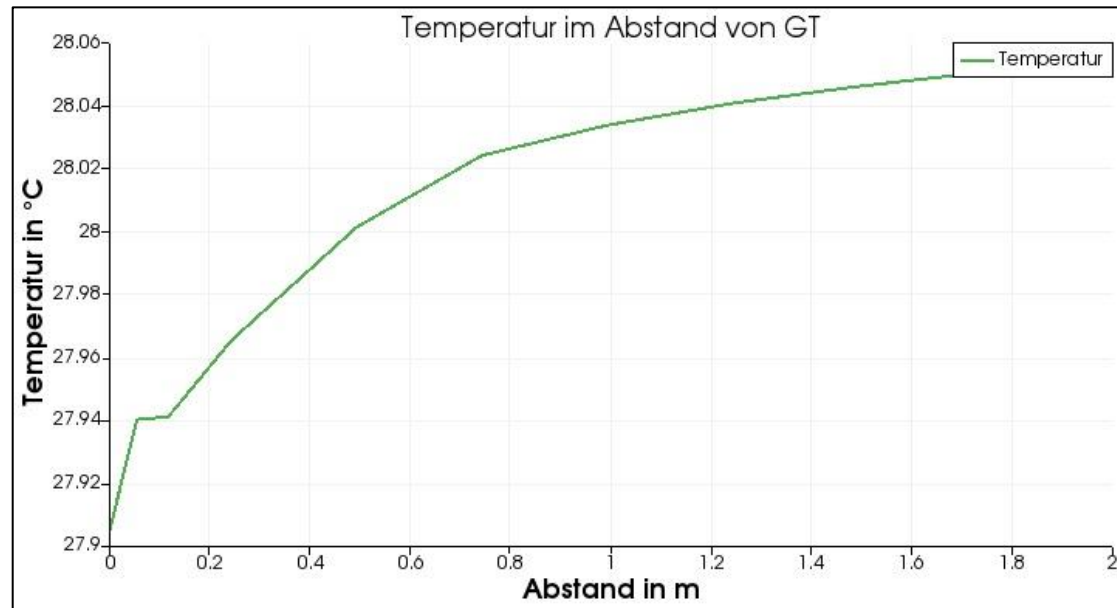
Ein Greentower

- Berechnung mit Lufttemp.: 8,4°C; GT-Temp.: 9,6°C;
Windgeschwindigkeit: 2,08m/s

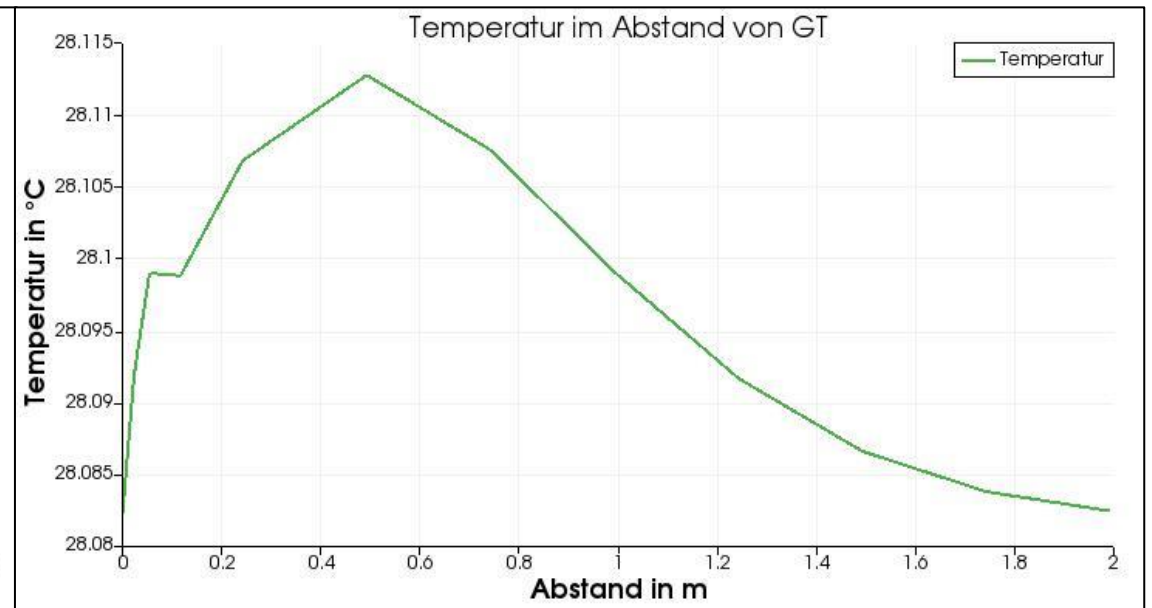


Rechnungen mit verschiedenen Windgeschwindigkeiten

- Gleichbleibende Temperaturen: Lufttemperatur mit $28,1^{\circ}\text{C}$ und GT-Temperatur mit $20,47^{\circ}\text{C}$
- Windgeschwindigkeiten von 2m/s bis 10m/s



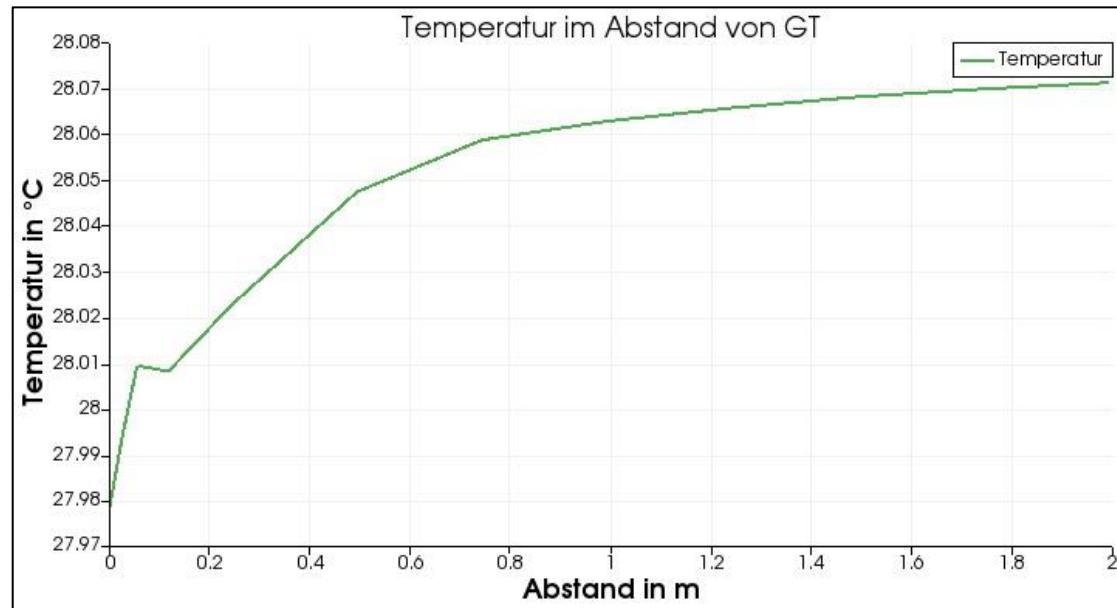
2m/s Windgeschwindigkeit



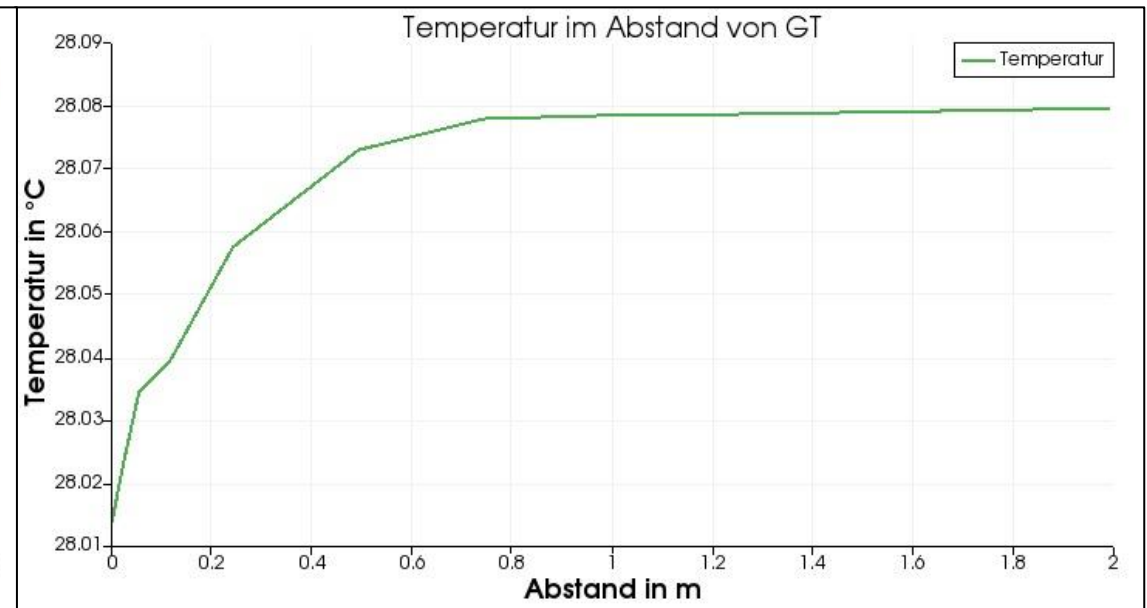
10m/s Windgeschwindigkeit

Rechnungen mit verschiedenen Windgeschwindigkeiten

- Je geringer die Windgeschwindigkeit, desto weiter wird die Abkühlung verbreitet und desto höher ist diese



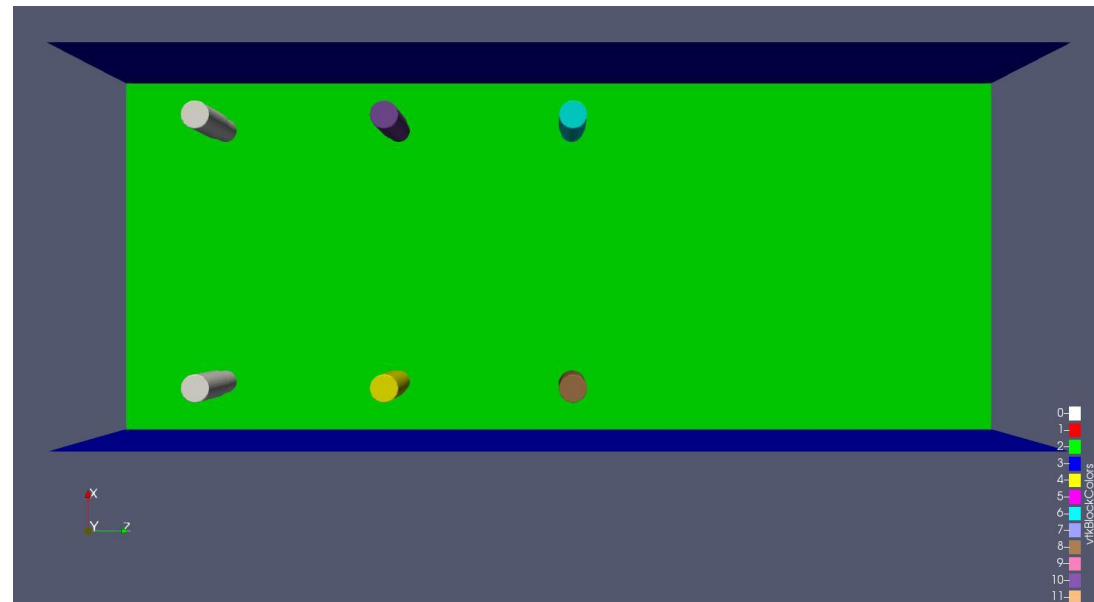
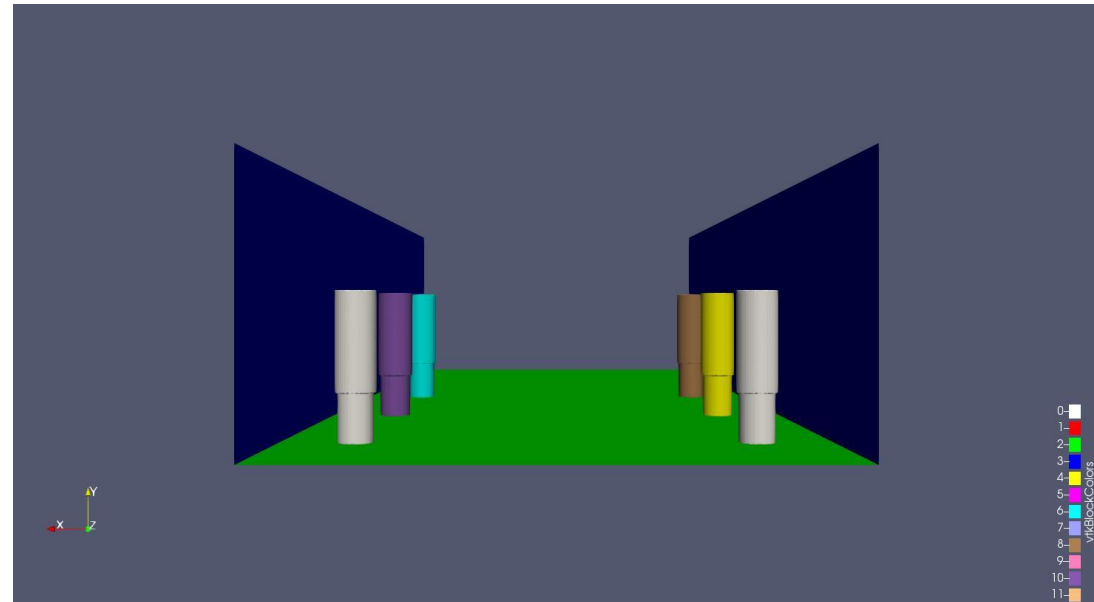
4m/s Windgeschwindigkeit



6m/s Windgeschwindigkeit

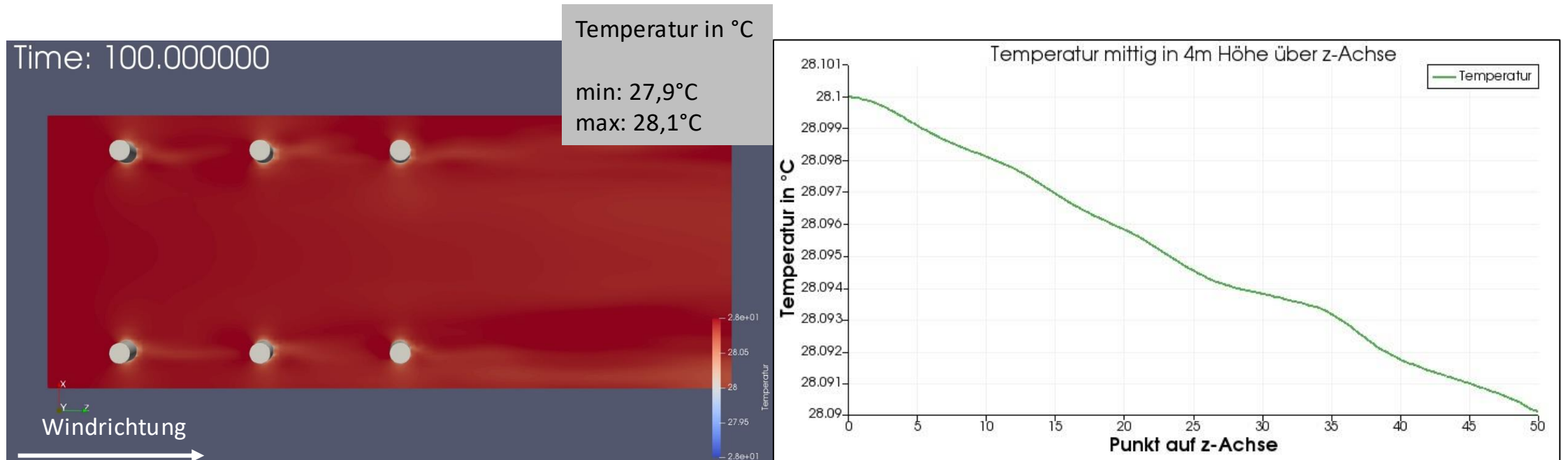
Straßenmodell

- Je drei Greentower an beiden Seiten jeweils 10m auseinander
- Rand stellen Gebäude dar, die 10m hoch sind
- „Straße“ ist 20m breit
- Lufttemp.: 28,1°C;
GT-Temperatur: 20,47°C



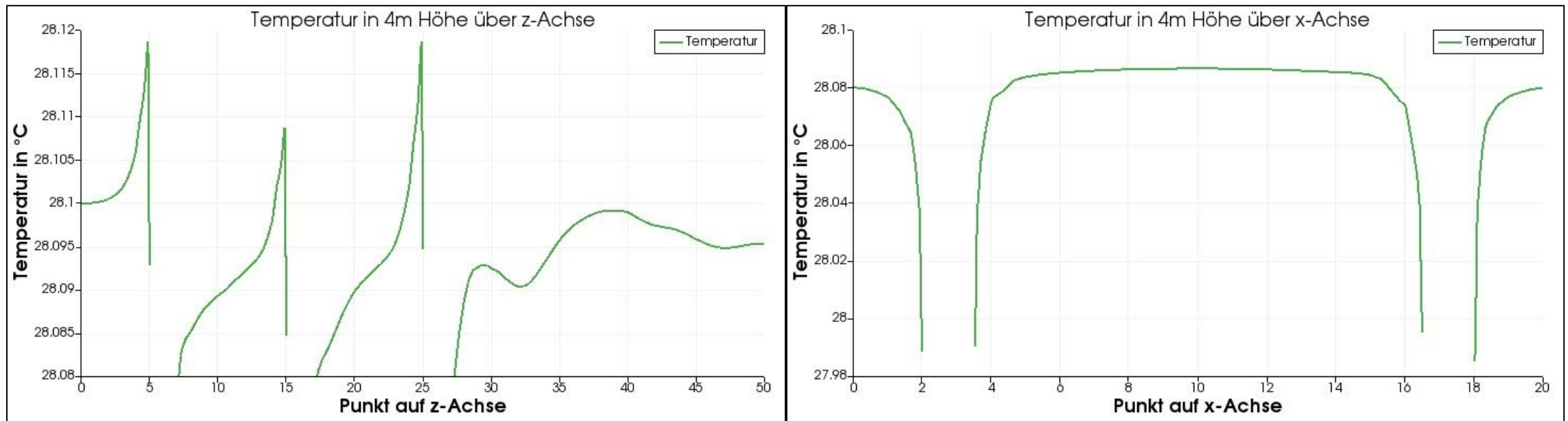
Straßenmodell – Wind aus z-Richtung

- Windgeschwindigkeit: 5,7m/s
- Gebäude beeinflussen Wind nicht
- Modell verhält sich sehr ähnlich wie beim einfachen Greentower



Straßenmodell – Wind aus z-Richtung

- Sehr kleine Temperaturänderungen im Abstand zum Greentower von wenigen Hundertstel Grad

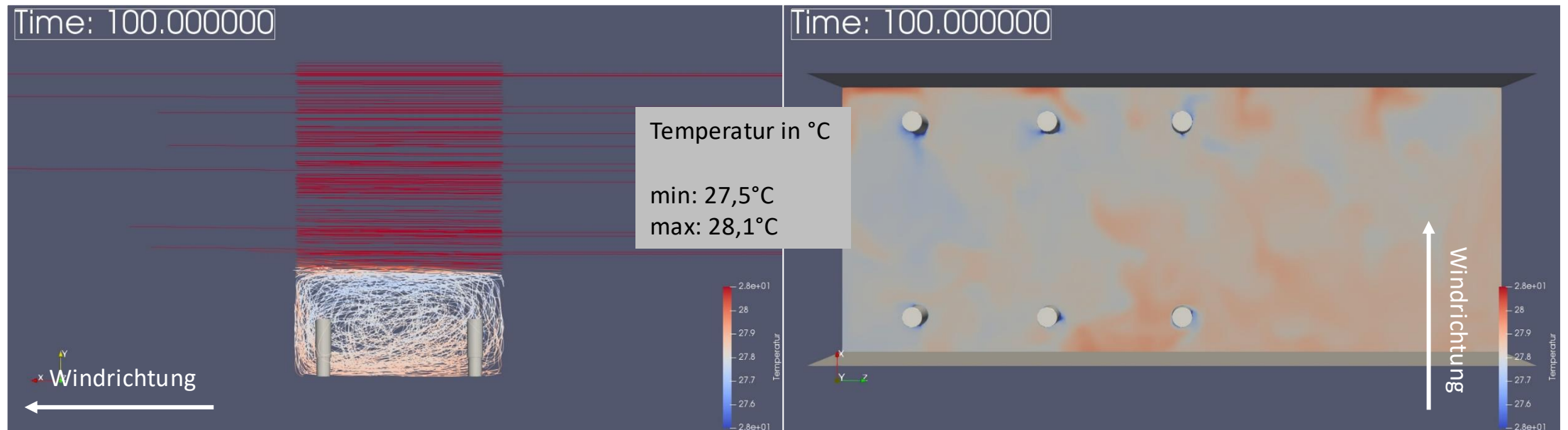


Vordere Reihe Greentower

mittlere Greentower

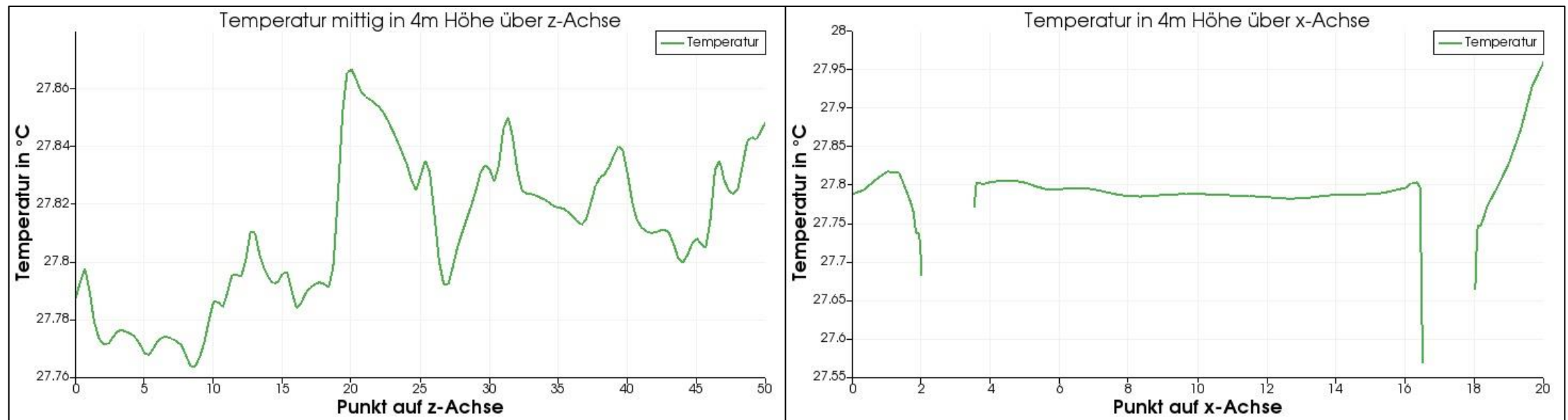
Straßenmodell – Wind aus x-Richtung

- Windgeschwindigkeit: 5,7m/s
- Zwischen den Gebäuden entstehen starke Verwirbelungen und Temperaturen um 27,8°C



Straßenmodell – Wind aus x-Richtung

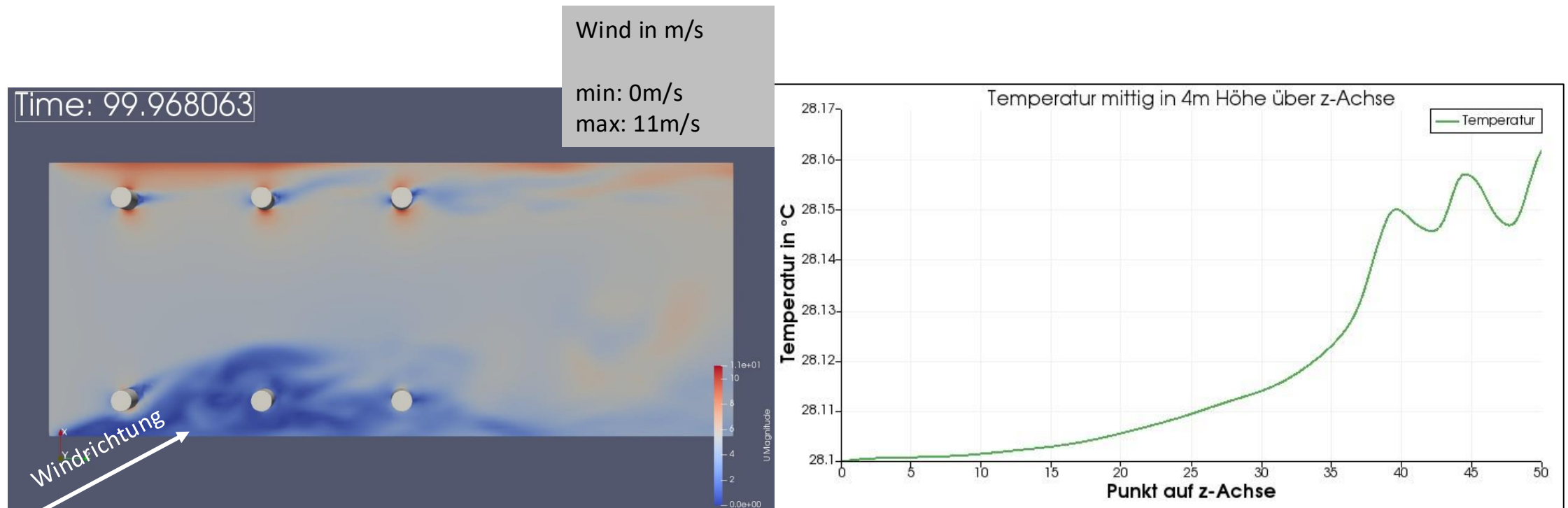
- Durch die Verwirbelung schwankt die Temperatur im Querschnitt stark
- An der Rückwand, wo der Wind gegen bläst, steigt die Temperatur an



mittlere Greentower

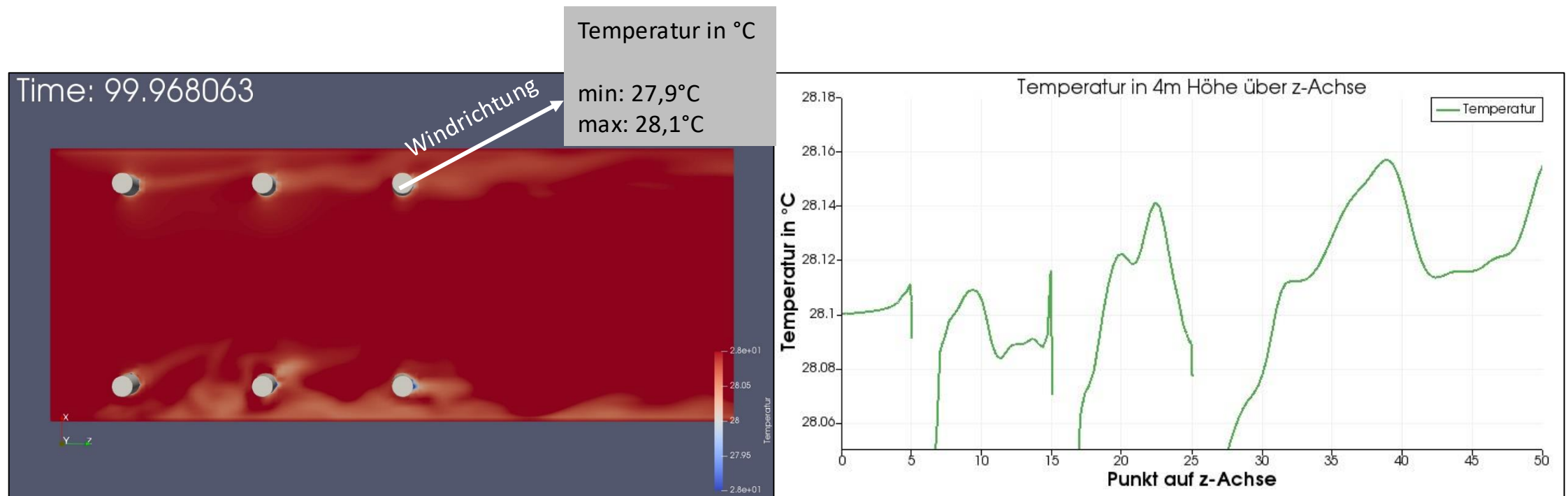
Straßenmodell – Wind aus x-z-Richtung (2|0|4)m/s

- Temperaturwerte liegen teilweise über der ursprünglichen Lufttemperatur



Straßenmodell – Wind aus x-z-Richtung (2|0|4)m/s

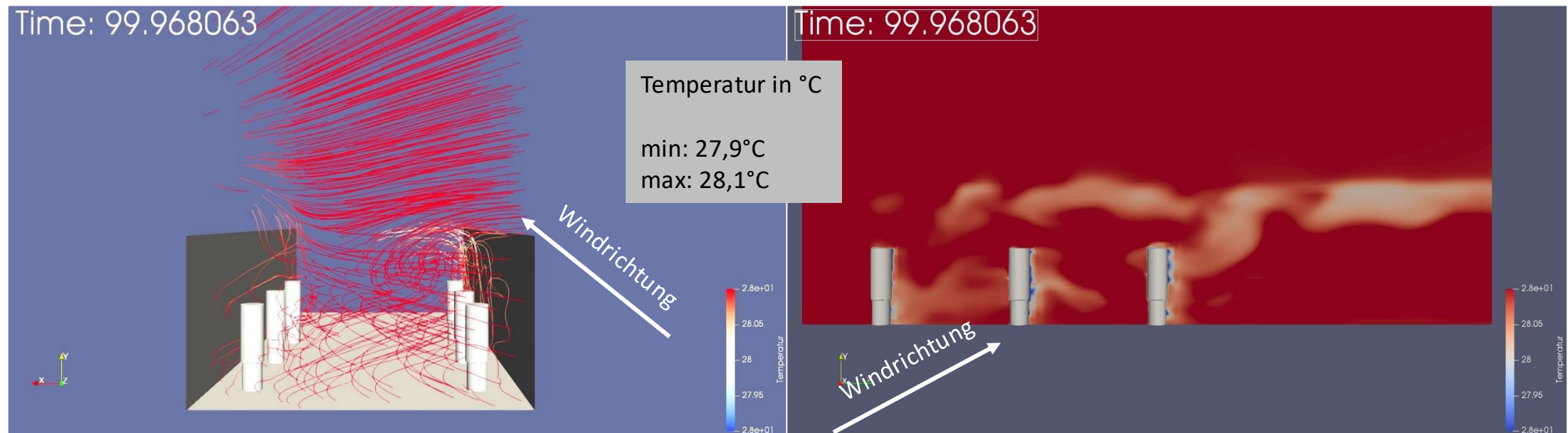
- Abkühlung vor allem zwischen der Wand und den Greentowern vorne (Luv-Seite)



Vordere Reihe Greentower

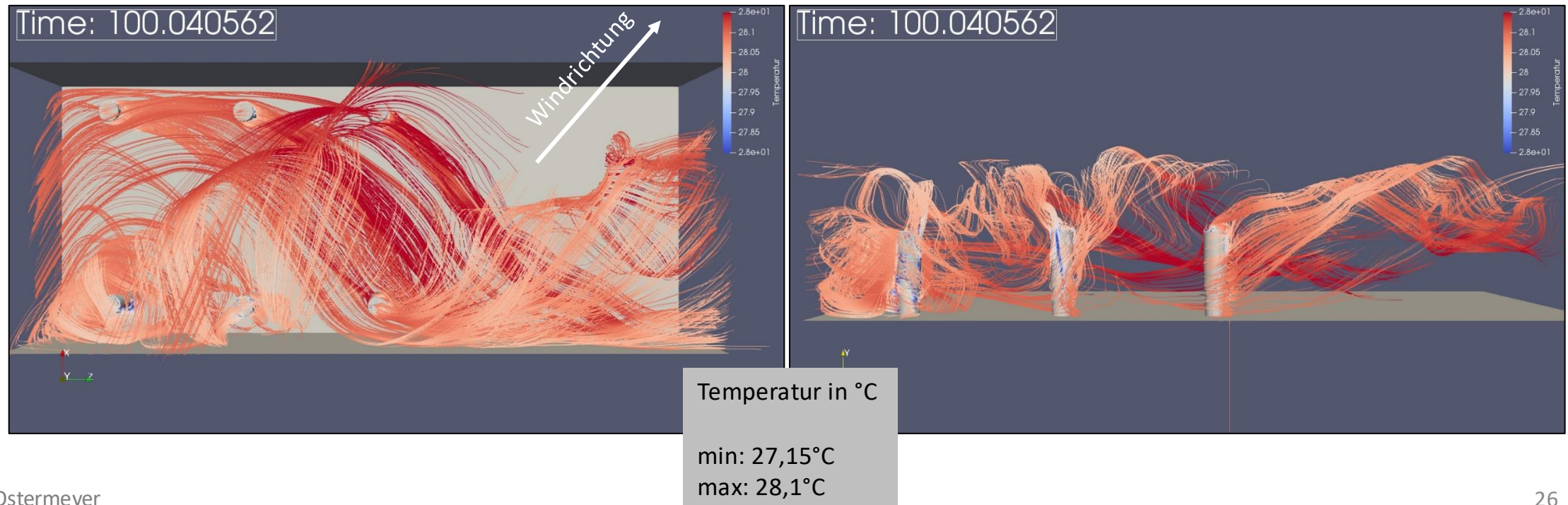
Straßenmodell – Wind aus x-z-Richtung (2|0|4)m/s

- Über den Gebäuden weht der Wind gerade, während sich zwischen den Gebäuden die Luft verwirbelt
- Über den Greentowern erfolgt eine Abkühlung der Luft



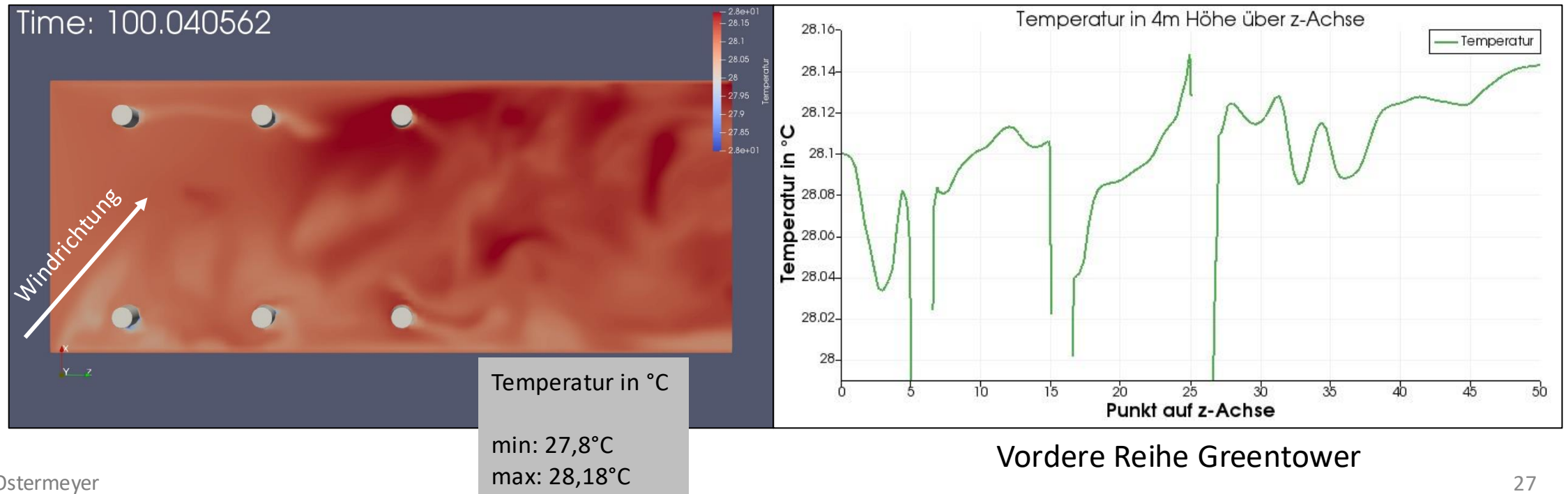
Straßenmodell – Wind aus x-z-Richtung (4 | 0 | 2)m/s

- Kleine Temperatursenkungen von etwa 0,05K können mit dem Wind weitergetragen werden



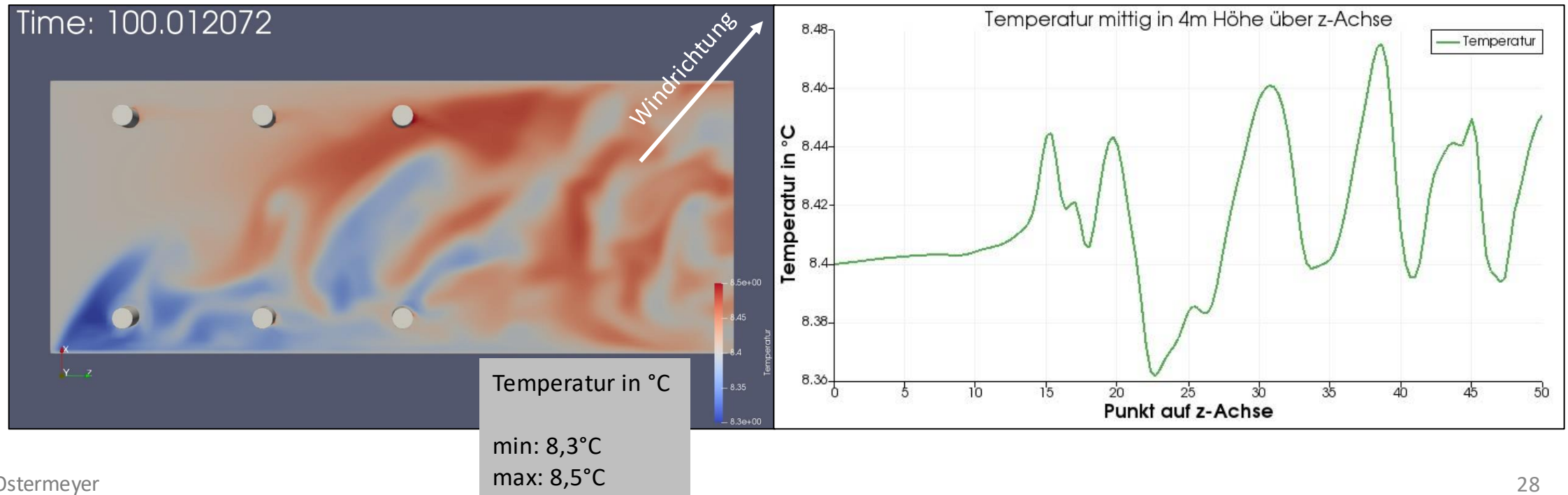
Straßenmodell – Wind aus x-z-Richtung (4 | 0 | 2)m/s

- Auch hier teilweise Temperaturen über der eingestellten Lufttemperatur
- Abkühlung findet vor allem am Eingang des Modells statt



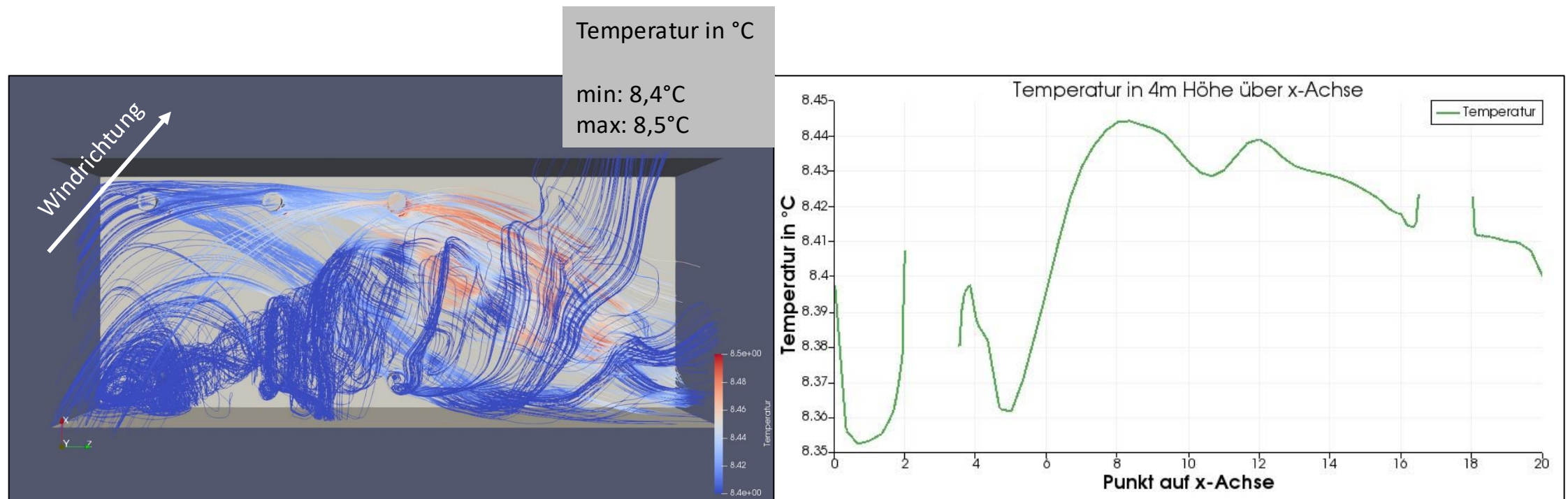
Straßenmodell – Werte vom 07.07.2023 um 7 Uhr mit Wind aus x-z-Richtung (1,8|0|1)m/s

- Lufttemperatur: 8,4°C/281,4K; Temperatur am Greentower: 9,6°C/282,6K
- Temperaturerhöhung im hinteren Bereich des Modells um max. 0,08K



Straßenmodell – Werte vom 07.07.2023 um 7 Uhr mit Wind aus x-z-Richtung (1,8|0|1)m/s

- Auch hier ergeben sich Verwirbelungen



mittlere Greentower

Weitere Auswirkungen des GTs auf die Umgebung

- Jährliche CO₂-Aufnahme durch den Greentower: etwa 29,2kg
- Jährlicher pro Kopf CO₂-Ausstoß in Deutschland: 7,98t
- Greentower kompensiert nur einen kleinen Teil des jährlichen CO₂-Ausstoßes

- Abschätzung der jährlichen O₂-Produktion des GTs: etwa 5,33kg
- Jährlicher O₂-Verbrauch eines Menschen: 279,6kg
- Greentower kompensiert nur einen kleinen Teil des jährlichen O₂-Verbrauchs

Feinstaubreduktion

Feinstaub

- Partikel mit weniger als 10µm Durchmesser
- Verschiedenste Zusammensetzung
- Weniger als 10µm: PM10
- Weniger als 2,5µm: PM2,5
- Insbesondere kleinere Partikel können bis in Lungenbläschen vordringen
- Stehen im Zusammenhang mit Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen

Feinstaubaufnahme durch Pflanzen

- Bei Auftreffen auf Oberflächen, kann sich der Staub ablagern
- Aufnahme funktioniert besonders gut bei strukturreicher (rau; behaart) oder klebriger Oberfläche
- Pflanzenspezifische Maximalaufnahmemengen
- Ablösung von Pflanzen durch
 - starken Wind → Partikel gelangen wieder in die Luft
 - Regen („wash-off“) oder Blattabwurf → Partikel gelangen auf den Boden

Feinstaubaufnahme durch den Greentower

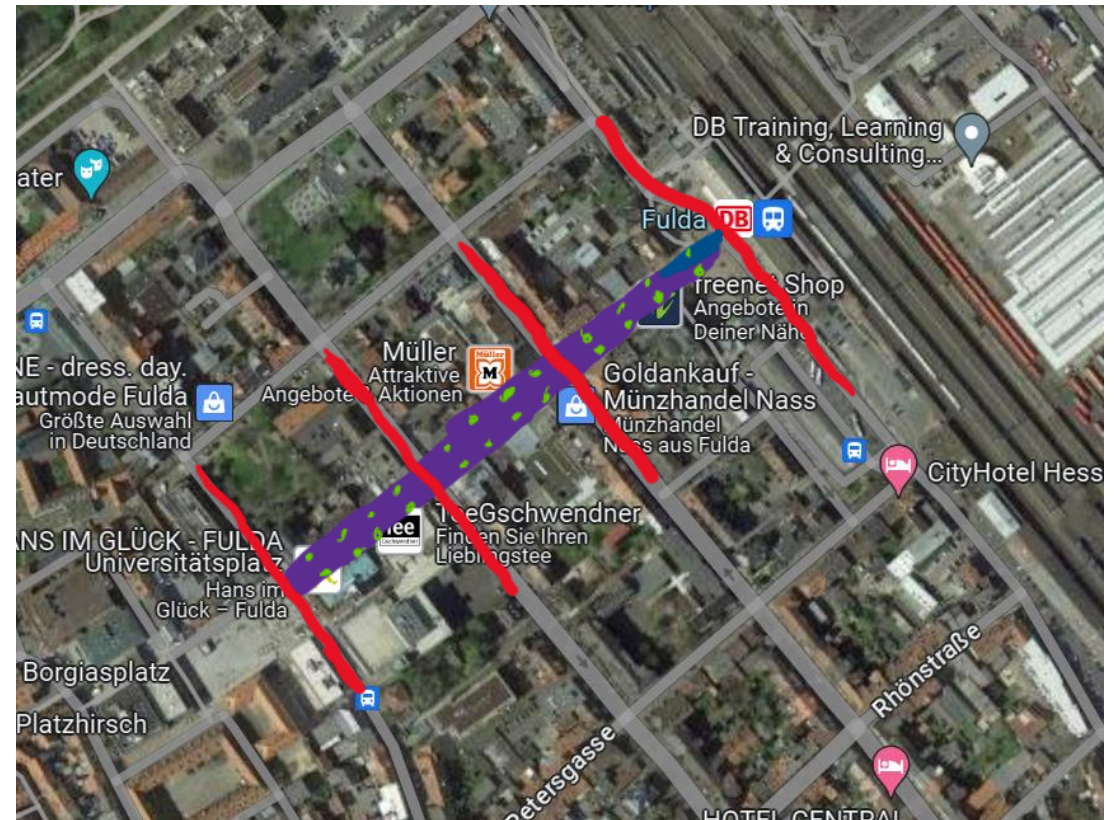
- Oberfläche Greentower: 20m^2
- Geschätzter Blattflächenindex: $4\text{m}^2/\text{m}^2$ (typischer Wert für Wiesen)
→ Blattfläche: $80\text{m}^2 = 800\,000\text{cm}^2$
- Geschätzte Feinstaubaufnahmefähigkeit: $0,8\text{mg}/\text{cm}^2$ für PM10
→ Maximale Aufnahmemenge: 640g
- Für erneute Aufnahme müssen Partikel abgewaschen werden
- Es werden stets nur Teile des aufgetragenen Feinstaubs abgewaschen

Abwasch durch Niederschlag

- Schätzungen für verschiedene Niederschlagsereignisse:
 - Schwacher Niederschlag: 20% Abwasch
 - Mittlerer Niederschlag: 35% Abwasch
 - Starker Niederschlag: 50% Abwasch
- Neue Aufnahmemengen nach Niederschlag:
 - Schwacher Niederschlag: 128g
 - Mittlerer Niederschlag: 224g
 - Starker Niederschlag: 320g
- In den meisten Studien wurden gröbere Partikel (PM₁₀-PM_{2,5}) eher abgespült als feinere (PM_{0,1})

Beispielrechnung Bahnhofstraße

- Etwa 250m lange **Straßenabschnitte** senkrecht zur **Bahnhofstraße**
 - **Greentower** in ca. 25m Abstand in zwei Reihen
- 24 Greentower in der Straße



Täglicher Verkehr und PM10-Emission

- Durchschnittlicher Verkehr an Schultagen in den Straßenabschnitten:
 - Kurfürstenstraße/am Bahnhof: 8 000 Autos + 684 Busse
 - Heinrichstraße: 4 000 Autos
 - Lindenstraße: 6 000 Autos
 - Rabanusstraße: 7 000 Autos + 210 Busse
- PM10-Emission der Fahrzeuge (ohne Reifen- und Bremsabrieb):
 - Pkw: 0,0182g/km
 - Bus: 0,1176g/km
- Gesamter PM10-Emission (ohne Reifen- und Bremsabrieb):
 - 140,0336g pro Tag

PM10-Emission

- 2019 betrug die Emission des Verkehrs mit Abrieb etwa 414% der Feinstaubemission ohne Abrieb
 - Gesamtemission des Verkehrs: 579,7391g von PM10
- Anteil des Verkehrs an Gesamtemission von PM10 in 2021: 10%
 - Durchschnittliche tägliche Gesamtemission: 5,797kg

- Werte gelten an Schul- und Werktagen für den abgegrenzten Bereich

Kompensation durch den Greentower

Abwasch → Aufnahmefähigkeit	100% → 640g	20% → 128g	35% → 224g	50% → 320g
Kompensationsvermögen eines GTs für den tägl. Verkehr	1,104	0,221	0,386	0,552
Benötigte GTs für Kompensation des tägl. Verkehrs	0,9058	4,529	2,588	1,812
Benötigte GTs für Kompensation der tägl. Gesamtemission	9,058	45,29	25,88	18,12

- Wenn 24 Greentower aufgestellt werden, können also die Feinstaubpartikel, die im Straßenverkehr entstehen, gut kompensiert werden. Voraussetzung dafür sind Niederschläge alle 6 bis 13 Tage. Durchschnittlich regnet es alle 2,4 Tage in Fulda.
- Für die Aufnahme der Gesamtemission reichen die Greentower nicht aus, können aber zumindest Teile des Feinstaubs aufnehmen.

Einschränkungen des Modells

- Verwendung von durchschnittlichen Werten für
 - Verkehrsaufkommen
 - Emissionen der Fahrzeuge
 - Anteil des Verkehrs am Gesamtausstoß
 - Aufnahmefähigkeit der Pflanzen
- Ohne Berücksichtigung von jahreszeitlichen Schwankungen
 - in der Feinstaubproduktion (Heizen, Wetterabhängigkeit)
 - bei der Aufnahmefähigkeit der Pflanzen (Wachstumsstadien)
- Ohne Berücksichtigung von örtlichen Schwankungen durch
 - verschiedene Entfernungen zur Straße
 - Ein- und Abtragung über die Umgebung

Fazit

- Für die Senkung der Temperatur in der Umgebungsluft ist der Greentower nur unter einigen Bedingungen geeignet und bewirkt dann nur sehr geringe Abkühlungen.
- Die Kohlenstoffdioxidaufnahme und Sauerstoffproduktion des Greentowers ist im Vergleich zur menschlichen Produktion bzw. Verbrauch vernachlässigbar klein.
- Der Greentower kann zur Reduktion des Feinstaubes in der Luft beitragen, indem dieser durch die Pflanzen aufgenommen wird. Damit können zumindest die Partikelemissionen aus dem Verkehr um die Bahnhofstraße kompensiert werden.