Bauliche Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress in Milchviehställen

gefördert durch das
Bayerische Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Peter Stoetzel

online - Fachtagung Bau und Technik
Köllitsch, 17. März 2021

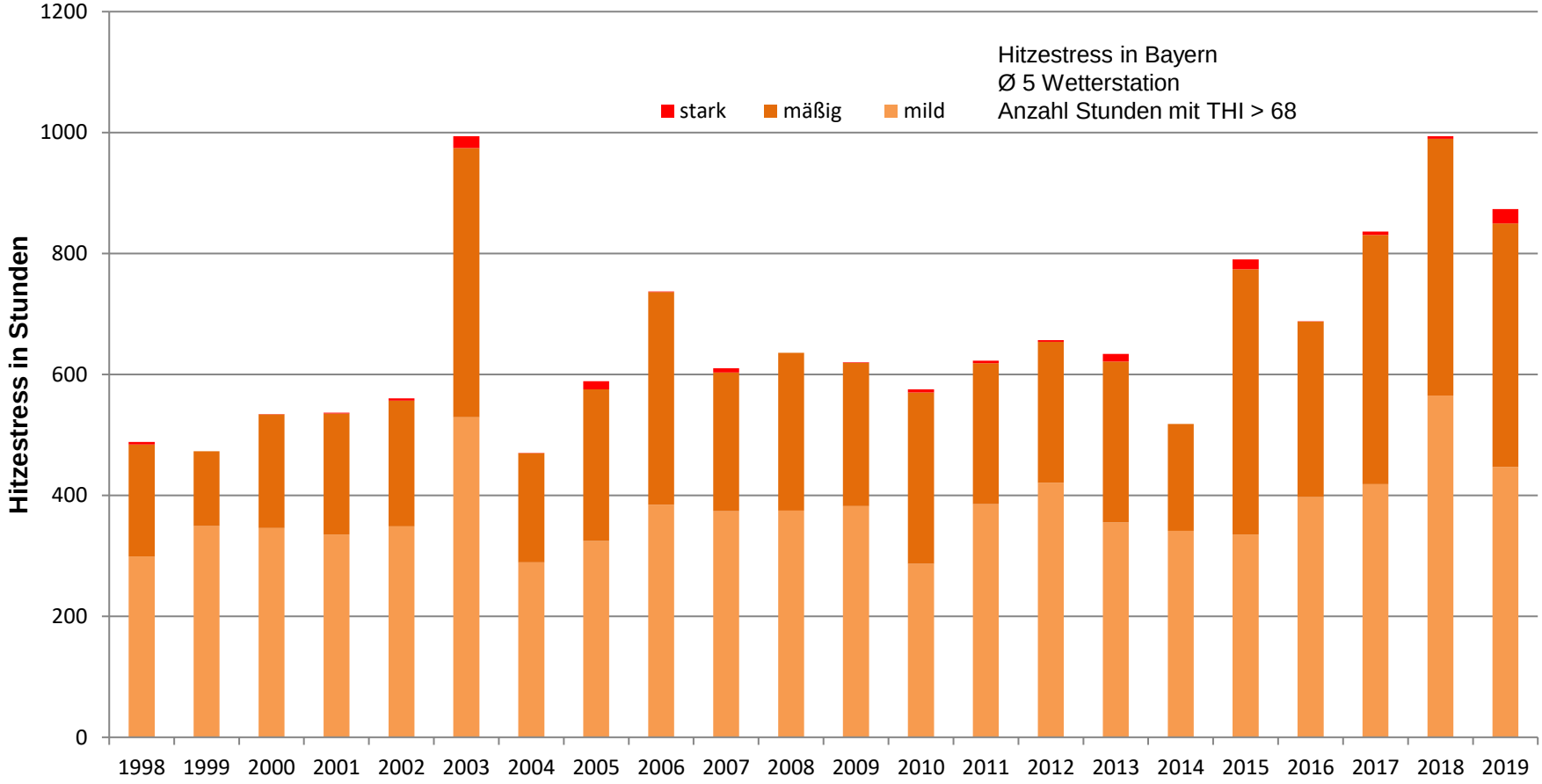
Problemstellung

Foto: Konrad Knoll, AELF Kaufbeuren

Problemstellung

Bayerische Klimaverhältnisse:

- Hitzestressbelastung für Rinder nimmt zu



Quelle: THI-Index berechnet, nach Thom (1959), Zimbelmann und Collier (2009)

Problemstellung

Auswertung von Wind und Temperaturdaten der Jahr 2006 bis 2016 von 6 oberbayerischen Wetterstationen ergab:

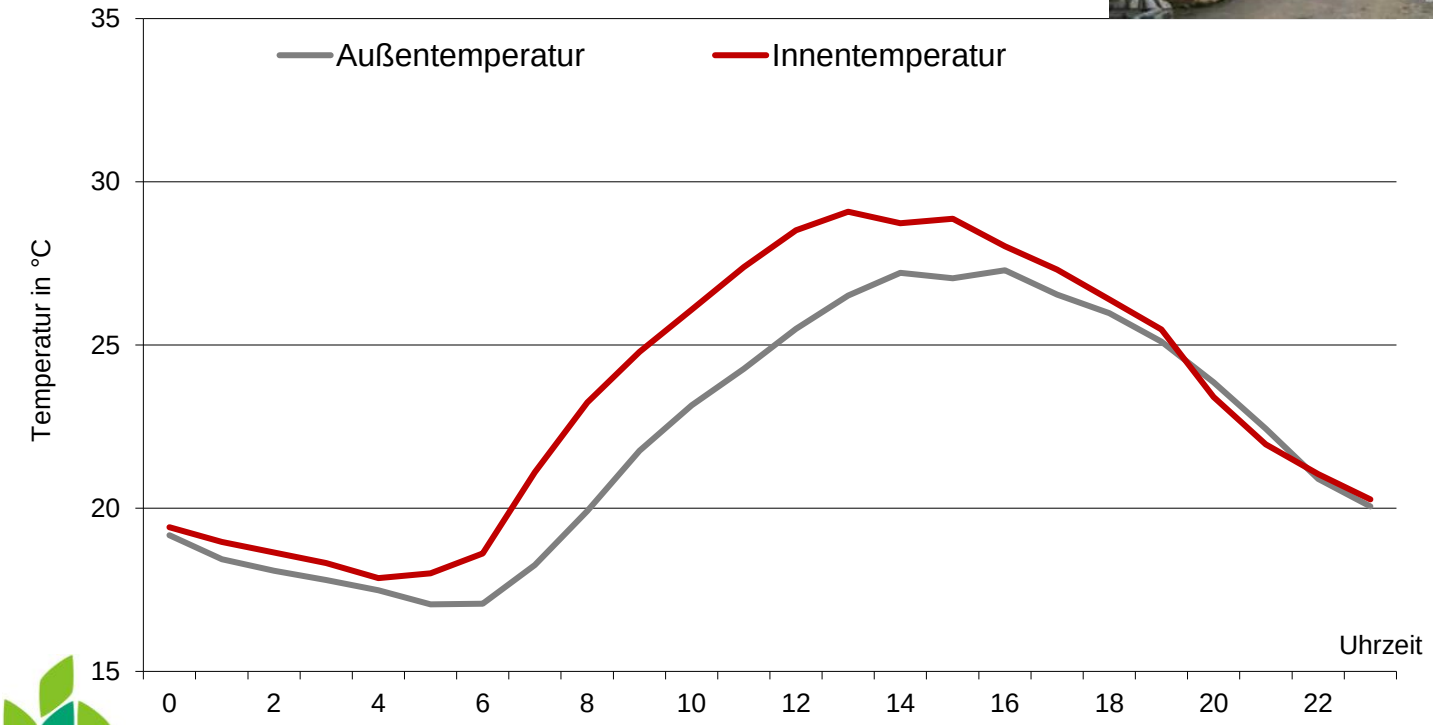
bei Temperaturen über 20°C:

- **64% aller erfassten Stunden weisen Windgeschwindigkeiten von unter 1,5 m/s (leiser Zug) auf**

Unter bayerischen Klimabedingungen ist, zur Vermeidung von Hitzestress, die bauliche Optimierung zur Erhöhung der natürlichen Luftgeschwindigkeit im Stall nicht ausreichend.

Problemstellung

Temperaturmessung
am Praxisbetrieb G.

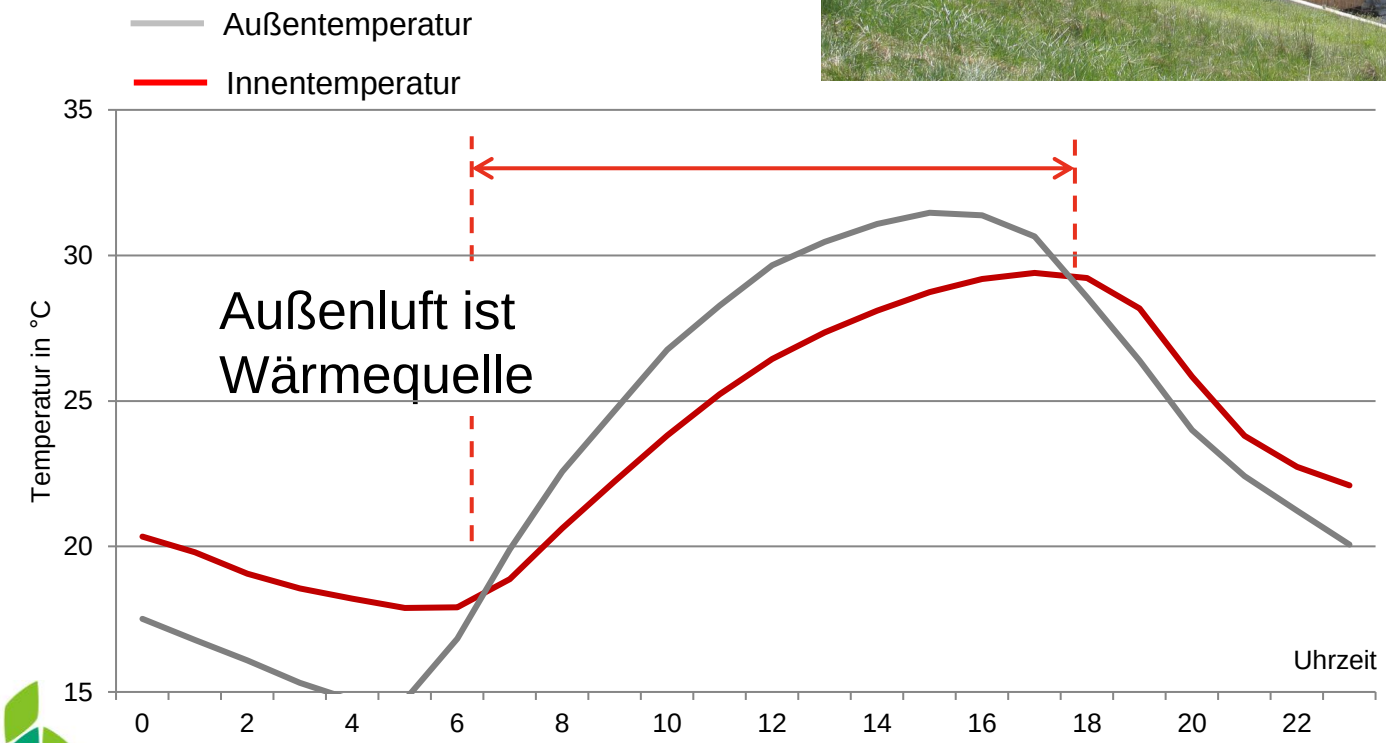


Betrieb G.
mittlerer Temperaturverlauf vom 20.-25.06.2005
mittlere Luftbewegung am Curtain ~ 1 m/s über gesamten Messzeitraum

Quelle:
Mačuhová et.al,
Lfl Schriftenreihe, 2008

Problemstellung

Temperaturmessung
am Praxisbetrieb Z.



Betrieb Z
mit Gründach und
Kiesdrainage
nach Niederschlag
mittlerer
Temperaturverlauf
vom
03.-08.08.2015

Übersicht

- **Problemstellung**
- **Methode**
  - Hygrothermische Bauteil- und Raumklimasimulation
  - operative Temperatur
  - Berechnung von Hitzestress
- **Ergebnisse Einflussfaktoren**
  - Gebäudegeometrie
  - Gebäudekonstruktion
  - Gebäudebetrieb
- **Vergleich von 4 Gebäudetypen**
- **Fazit**

Methode

- **Auswertung von Temperaturmessungen** auf Praxisbetrieben

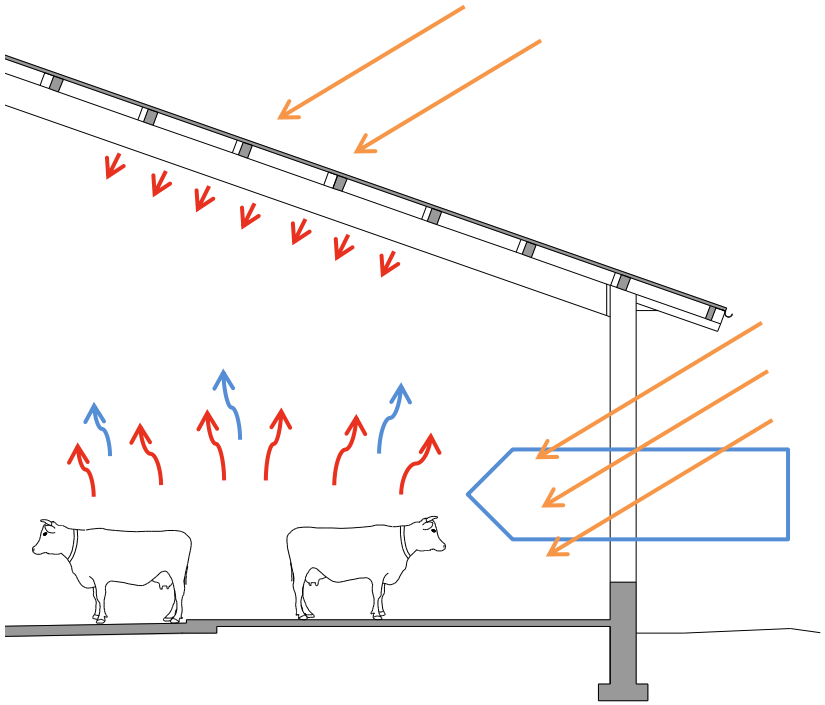
- **Simulationen**
  WUFI ® Plus (Fraunhofer Institut für Bauphysik)
  Hygrothermische Bauteil- und Raumklimasimulation
  - real gemessene Klimadatensätze
  - berücksichtigt Wärme – und Feuchtelasten (Milchkühe)
  - Multizonales Gebäudedurchströmungsmodell (Luftwechselrate)
  - parametrisierte Standardbauteile (Gründach-, hinterlüftete Konstruktionen)

▶ **Simulationen ermöglichen eine isolierte Betrachtung der einzelnen Einflussfaktoren**

Methode

Parameter zur Beschreibung des Tierwohls

üblicherweise:
THI-Temperature-Humidity-Index
Problematisch:
nur Lufttemperatur und -feuchte
Strahlungswärme nicht berücksichtigt



$$Q = \varepsilon \sigma A T^4$$

ε: Emissionszahl
σ: Boltzmann Konstante
A: Fläche
T: Temperatur (K)

Quelle: Wikipedia Wärmestrahlung, 10/2018

Operativtemperatur

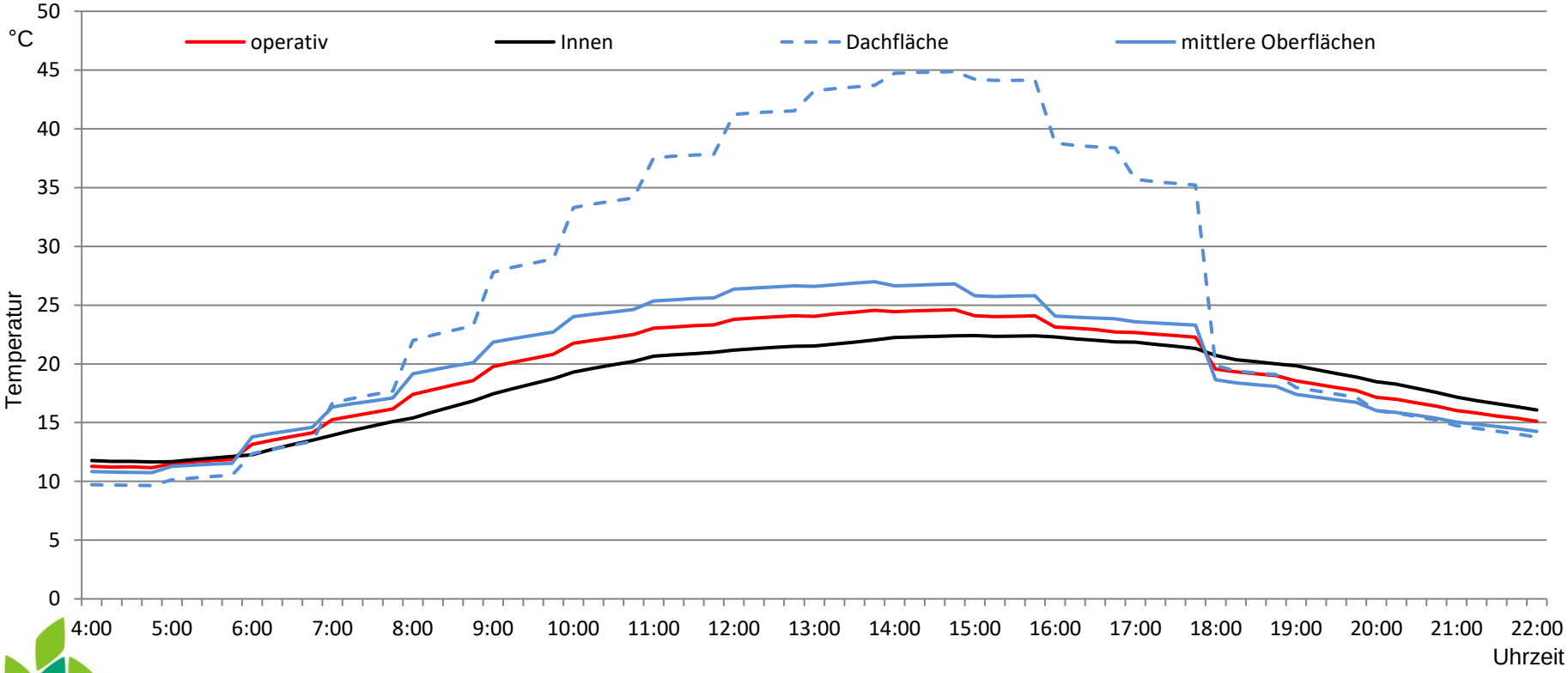
T_{oper} = Mittelwert aus der Luft- und Oberflächentemperatur der umschließenden Bauteile („gefühlte Temperatur“)

Methode

Berechnung der operativen Temperatur

Exemplarische Temperaturverläufe:

für Stallgebäude mit Blechdeckung (ohne Schalung), DN 25°,Westseite am 02.07.2006



Methoden

- **Berechnung von Hitzestress in Stunden:**
  - operative Temperatur
  - Luftfeuchtigkeit

THI	unter 68	68 - 71	72 – 79	über 79
Hitzestress	kein	milder	mäßig	starker

Quelle: THI-Index berechnet nach Thom (1959), Zimbelmann und Collier (2009)

- **Summe der Hitzestressstunden:**
  - Zeitraum 01.04. bis 30.09.
  - Wetterdatensatz 2006 (überdurchschnittlich warm)
  - Holzkirchen bei München
  - Feuchte- und Wärmelasten von 67 Milchkühen (ca. 6.000 kg/Kuh)

unberücksichtigt bleiben:
Luftgeschwindigkeit, Schadgaskonzentrationen, Wärmeabgabe über Kontaktflächen (Liegeflächen)

Methoden

TH-Index nach Zimbelmann und Collier 2009	Luftfeuchtigkeit [rel %] 20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Temperatur [°C] 16	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	61	61	61	61
17	61	61	61	61	61	61	61	61	62	62	62	62	62	62	62	62	63
18	62	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	64	64	64	64	64	64
19	63	63	63	63	63	64	64	64	64	65	65	65	65	66	66	66	66
20	64	64	64	64	65	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68
21	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68	68	69	69	69	70
22	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72
23	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	73
24	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
25	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
26	70	70	71	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	78	78	79
27	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	79	79	80	81
28	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82
29	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
30	74	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
31	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88
32	76	76	77	78	79	80	81	82	83	83	84	85	86	87	88	89	90
33	77	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	90	91
34	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
35	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
36	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	94	95	96	97
37	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	97	99
38	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100

kein Hitzestress | milder Hitzestress | mäßiger Hitzestress | starker Hitzestress | Gefahr

Quelle:
THI-Index berechnet
nach Thom (1959),
Zimbelmann und Collier (2009)

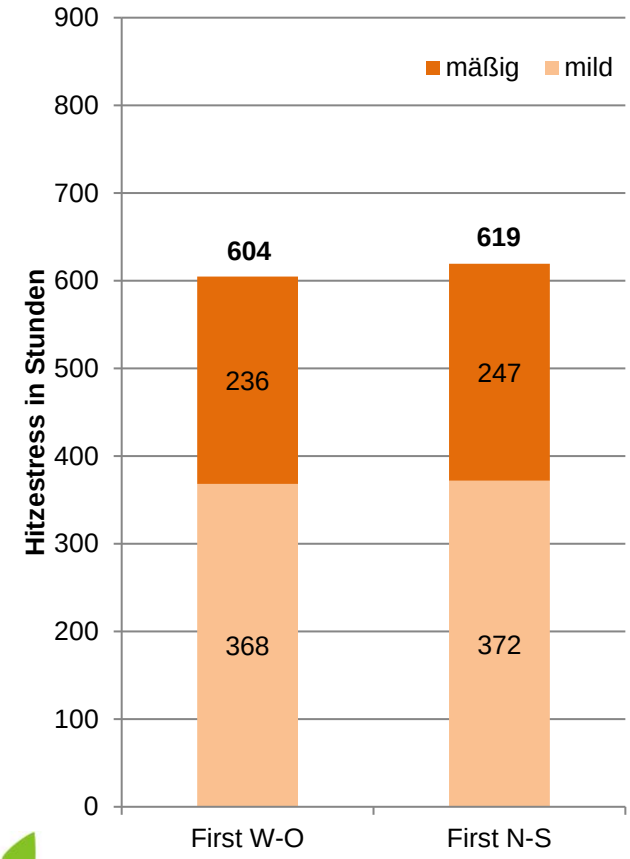
Übersicht

- **Problemstellung**
- **Methode**
  - Hygrothermische Bauteil- und Raumklimasimulation
  - operative Temperatur
  - Berechnung von Hitzestress
- **Ergebnisse Einflussfaktoren**
  - Gebäudegeometrie
  - **Gebäudekonstruktion**
  - **Gebäudebetrieb**
- **Vergleich von 4 Gebäudetypen**
- **Fazit**

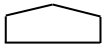
Ergebnisse - Einflussfaktoren

Gebäudegeometrie

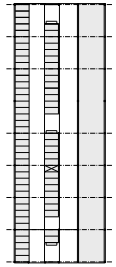
- Orientierung (Mittelwerte über aller Typologien)



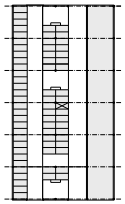
10°



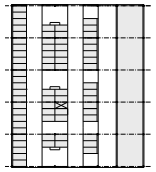
2-Reiher
885 m²



3-Reiher
743 m²



4-Reiher
803 m²

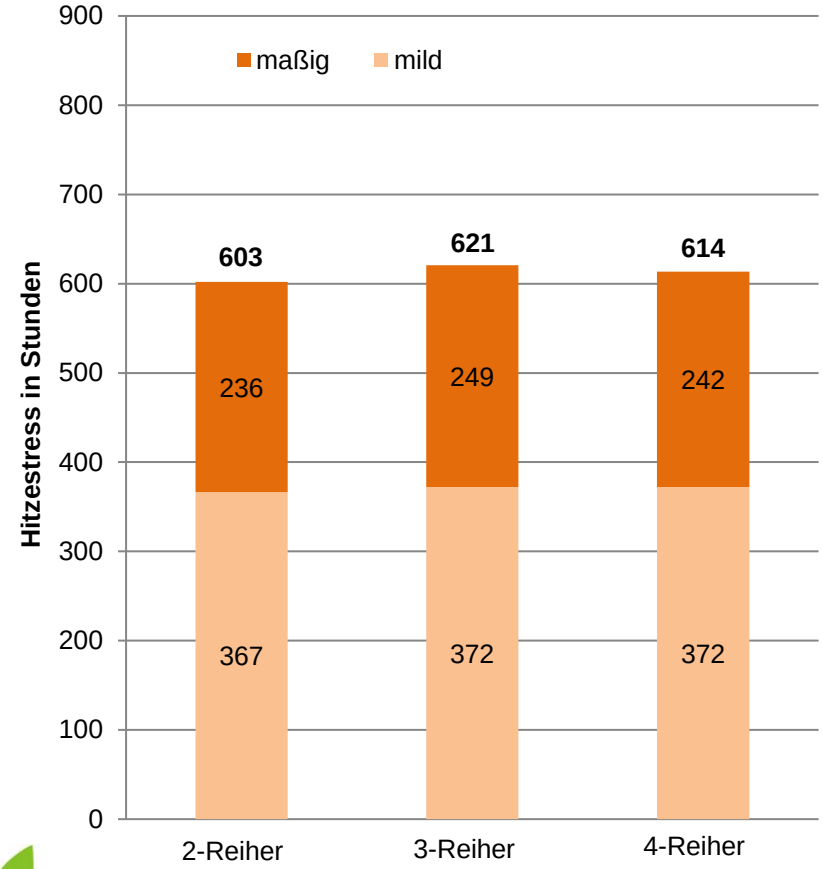


- offene Trauffassaden
- Satteldach 10°
- 2-schaliger Dachaufbau
- Dachüberstand 1,5 m

Ergebnisse - Einflussfaktoren

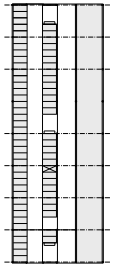
Gebäudegeometrie

- Gebäudetypus (Mittelwerte über beide Orientierungen)

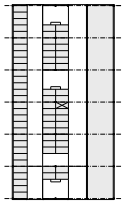


10°

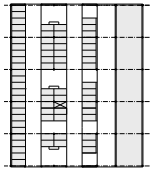
2-Reiher
885 m²



3-Reiher
743 m²



4-Reiher
803 m²



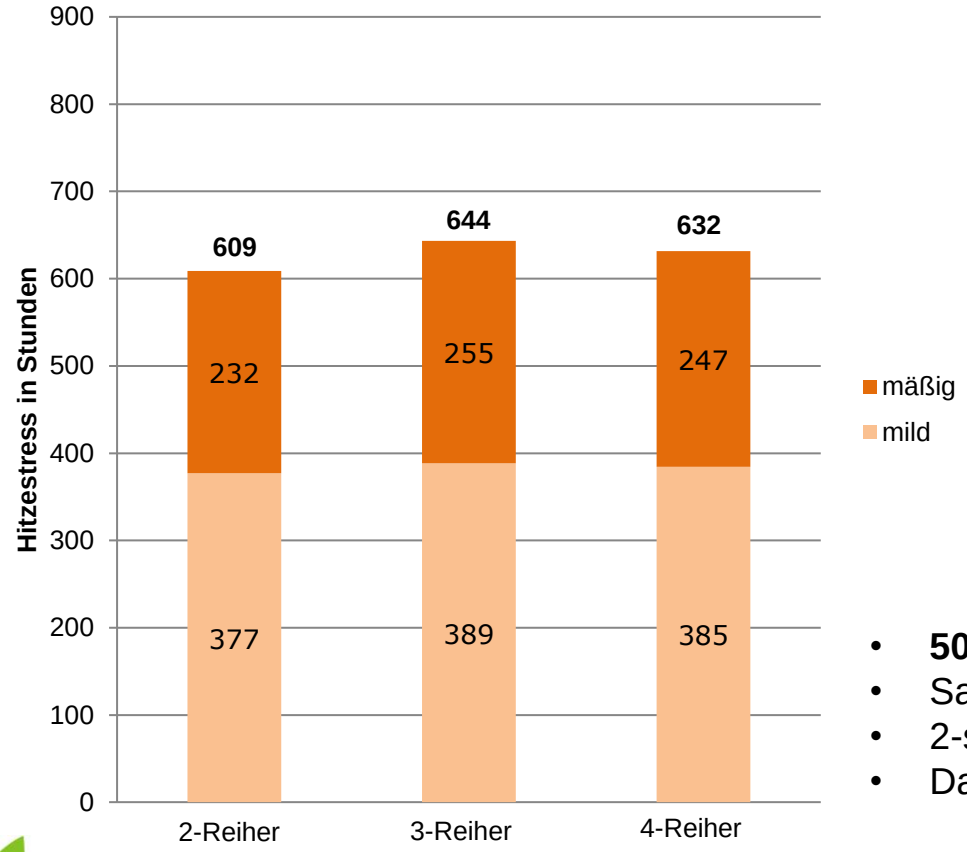
- offene Trauffassade
- Satteldach 10°
- 2-schaliger Dachaufbau
- Dachüberstand 1,5 m

Ergebnisse - Einflussfaktoren

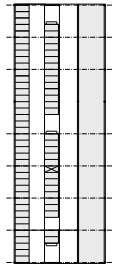
Gebäudegeometrie

- Gebäudetypus (Mittelwerte über beide Orientierungen)

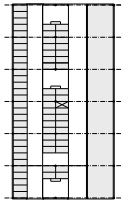
10°



2-Reiher
885 m²

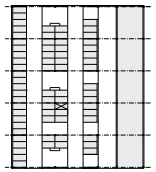


3-Reiher
743 m²



- **50 % offene Trauffassade**
- Satteldach 10°
- 2-schaliger Dachaufbau
- Dachüberstand 1,5 m

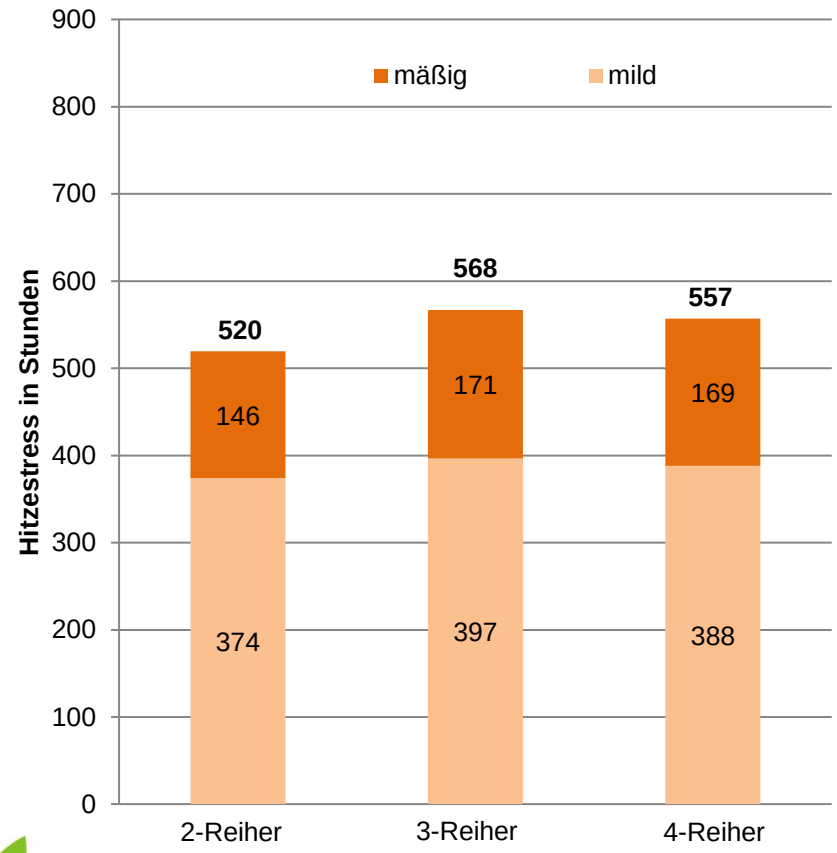
4-Reiher
803 m²



Ergebnisse - Einflussfaktoren

Gebäudegeometrie

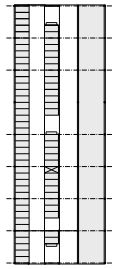
- Gebäudetypus (Mittelwerte über beide Orientierungen)



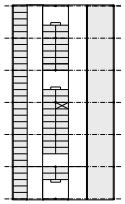
- offene Trauffassade
- Satteldach 10°
- **schweres Gründach**
- Dachüberstand 1,5 m

0°

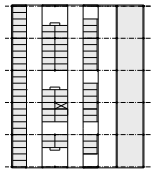
2-Reiher
885 m²



3-Reiher
743 m²



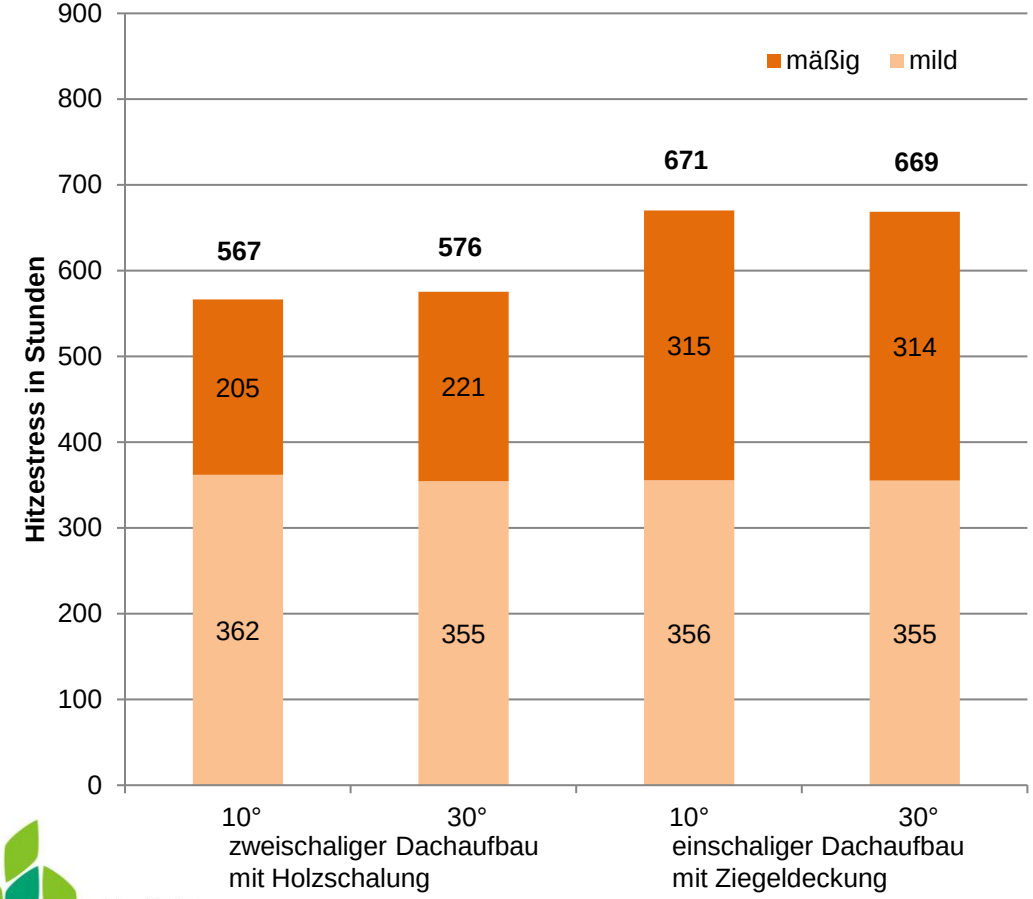
4-Reiher
803 m²

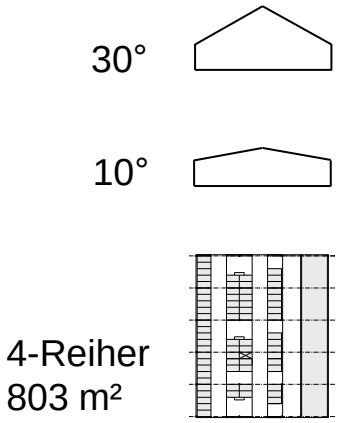


Ergebnisse - Einflussfaktoren

Gebäudegeometrie

- Dachneigung, Gebäudeluftvolumen (Mittelwerte über beide Orientierungen)



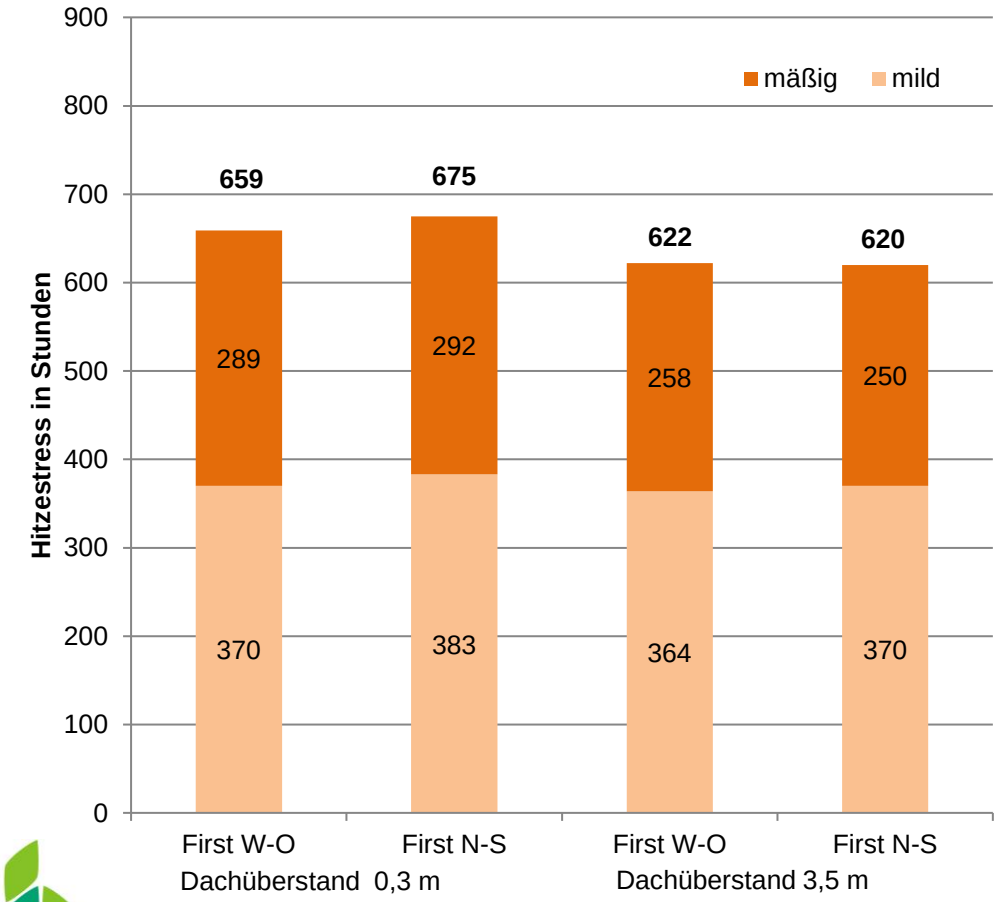


- offene Trauffassade
- kein Dachüberstand
- Sonnenschutz über Reduktionsfaktor

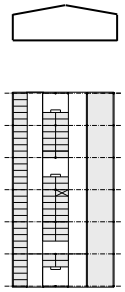
Ergebnisse - Einflussfaktoren

Gebäudegeometrie

- Sonnenschutz durch Dachüberstände



10°



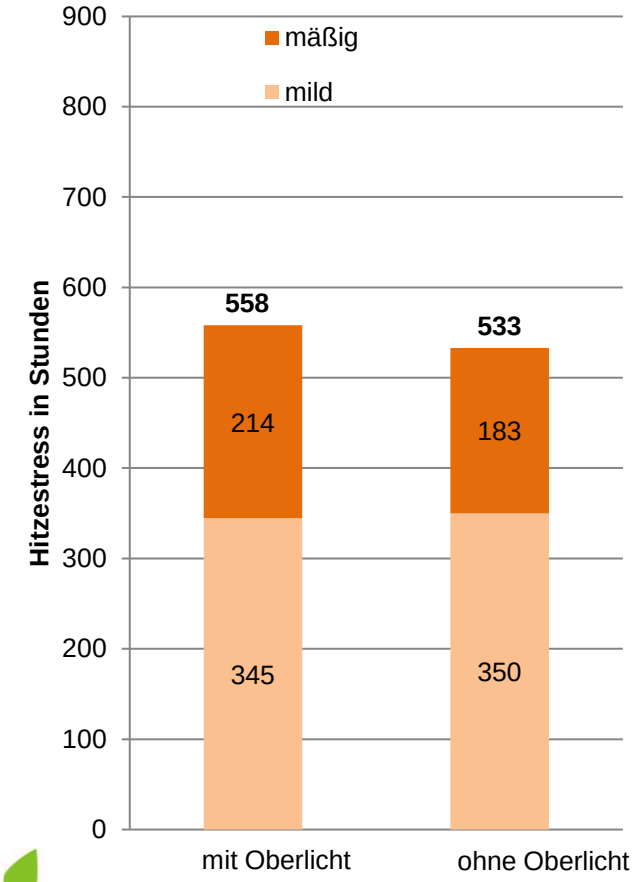
3-Reiher
743 m²

- offene Trauffassade
- Satteldach 10°
- 2-schaliger Dachaufbau

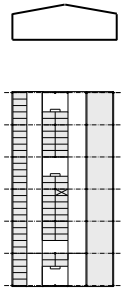
Ergebnisse - Einflussfaktoren

Gebäudegeometrie

- Auswirkung von Dachoberlichtern / Lichtfirst



10°



3-Reiher
743 m²

- **28 Oberlichter 1,5 x 1,5 m (Lichtfirst b = 1,45 m)**
- **Verschattung Fassade 50%**
- offene Trauffassade
- Satteldach 10°
- 2-schaliger Dachaufbau

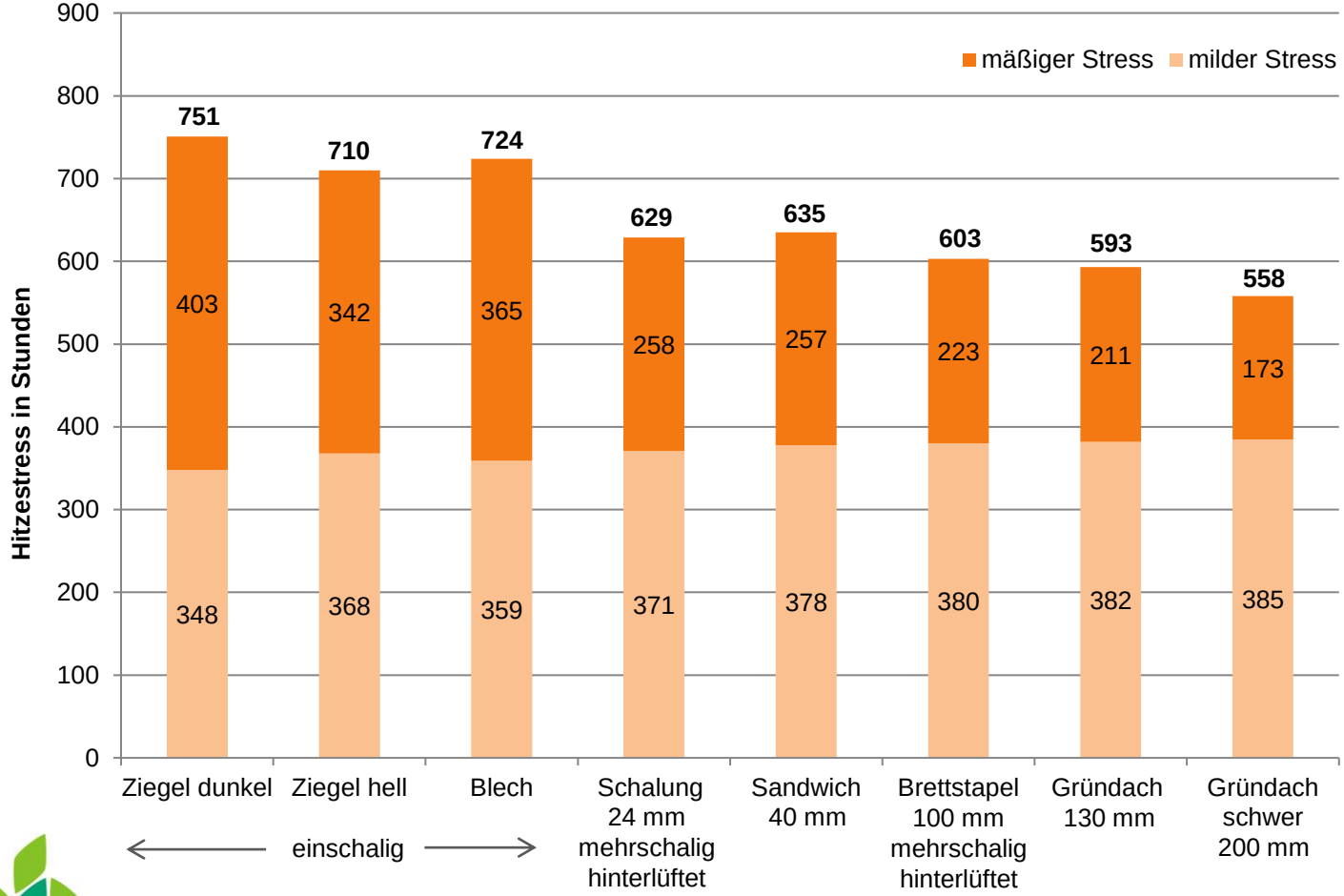
Übersicht

- **Problemstellung**
- **Methode**
  - Hygrothermische Bauteil- und Raumklimasimulation
  - operative Temperatur
  - Berechnung von Hitzestress
- **Ergebnisse Einflussfaktoren**
  - Gebäudegeometrie
  - Gebäudekonstruktion
  - Gebäudebetrieb
- **Vergleich von 4 Gebäudetypen**
- **Technische Maßnahmen**
- **Fazit**
- **Ausblick**
  - Kostenvergleich technische u. bauliche Maßnahmen

Ergebnisse -Einflussfaktoren

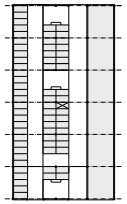
Gebäudekonstruktion

- Dachaufbauten



0°

10°



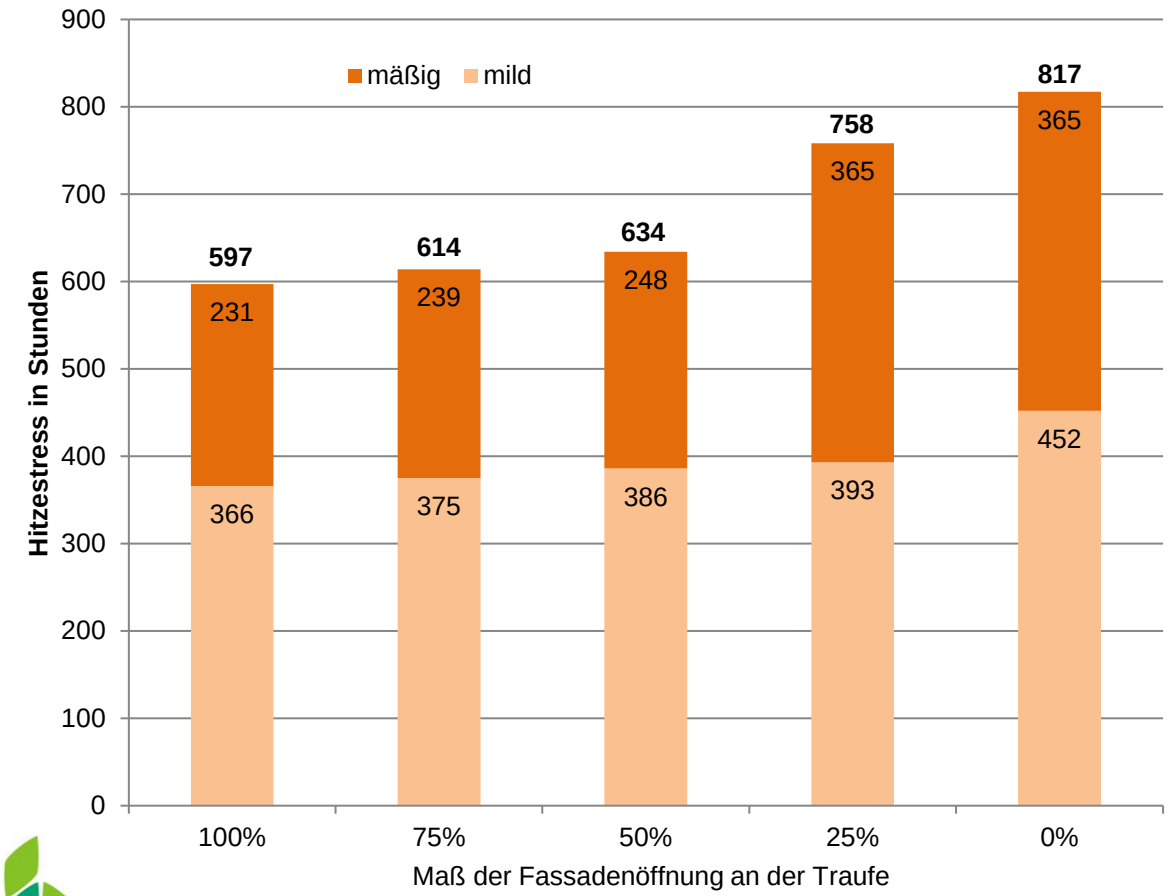
3-Reiher
743 m²

- offene Trauffassade
- Dachüberstand 1,5 m
- First W-O

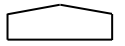
Ergebnisse -Einflussfaktoren

Gebäudekonstruktion

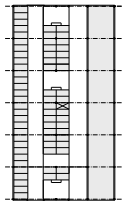
- Fassadenöffnungen an der Traufseite



10°



3-Reiher
743 m²



- Satteldach 10°
- 2-schaliger Dachaufbau
- Dachüberstand 1,5 m
- Leckagefläche 32 m²
- First W-O

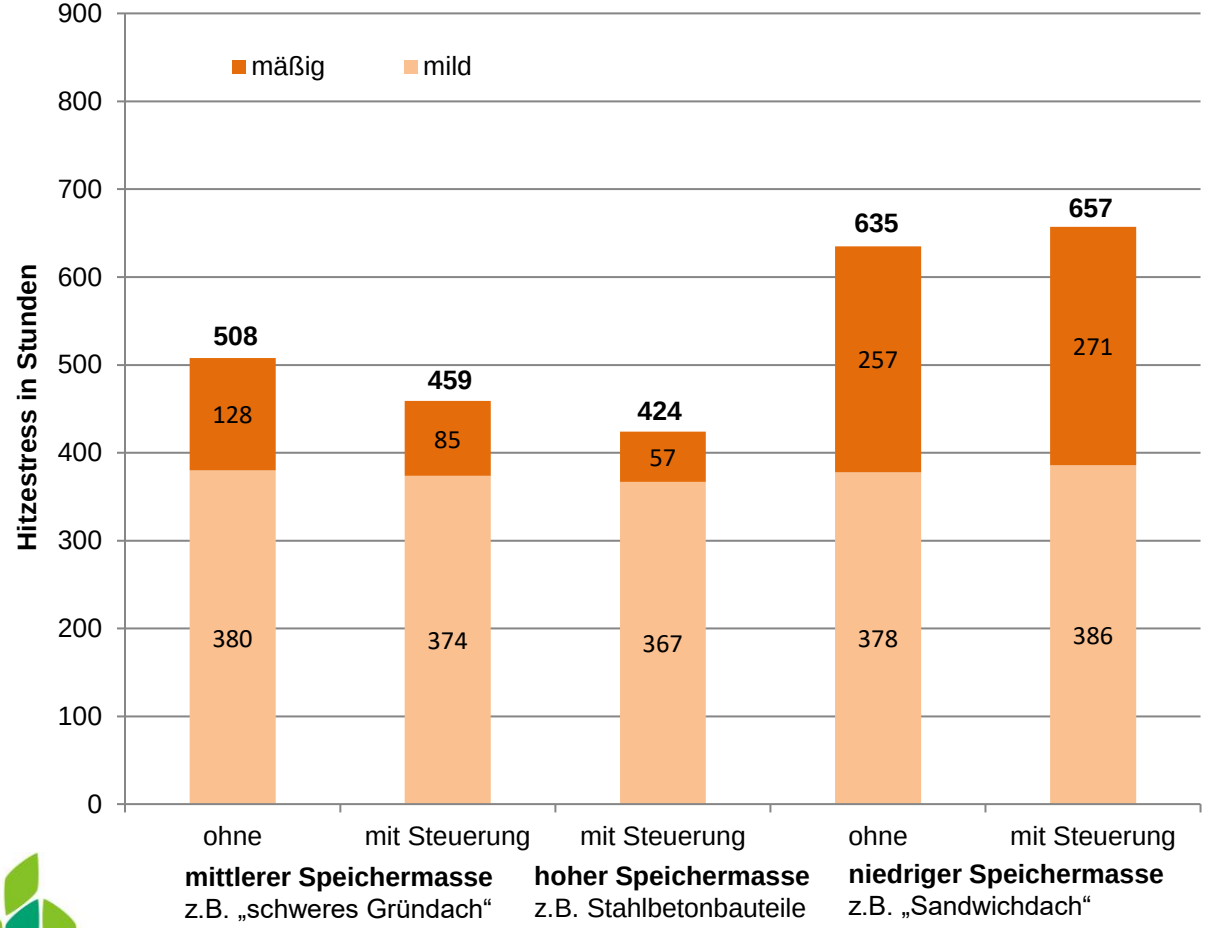
Übersicht

- **Problemstellung**
- **Methode**
  - Hygrothermische Bauteil- und Raumklimasimulation
  - operative Temperatur
  - Berechnung von Hitzestress
- **Ergebnisse Einflussfaktoren**
  - Gebäudegeometrie
  - Gebäudekonstruktion
  - Gebäudebetrieb
- **Vergleich von 4 Gebäudetypen**
- **Fazit**

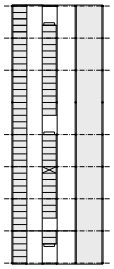
Ergebnisse - Ausblick

Gebäudebetrieb

- Lüftungssteuerung (ohne Berücksichtigung der Schadgaskonzentration)



0°



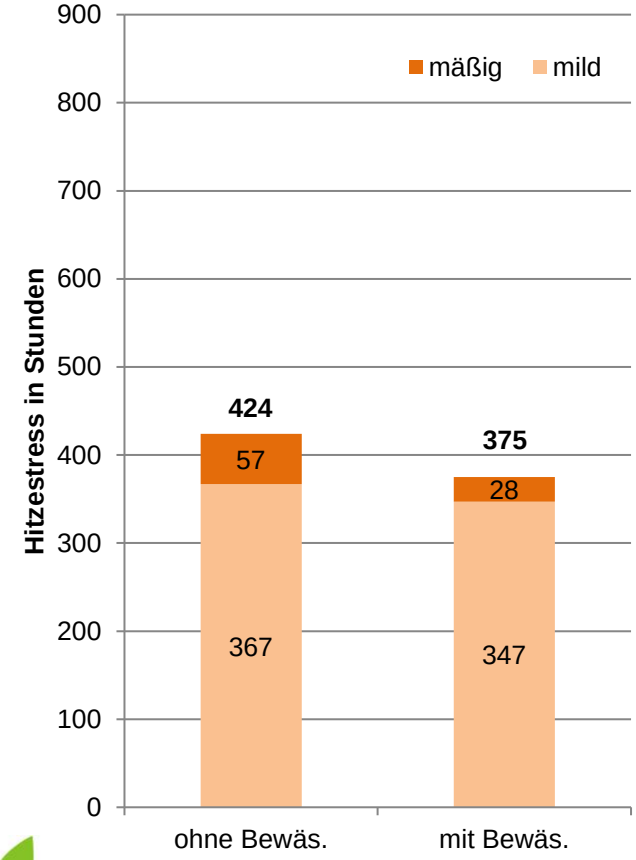
2-Reiher
885 m²

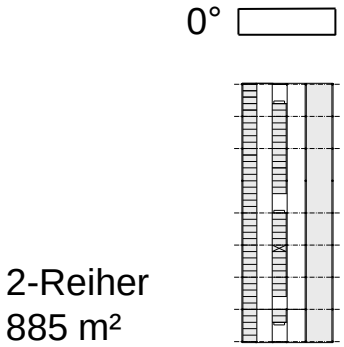
- Dachüberstand 3,5 m
- First W-O
- Leckagefläche 37 m²
- **Lüftungssteuerung: Fassadenverschluss von ca. 6 Uhr bis ca.15 Uhr an 52 Tagen (9 % des Zeitraums 01.04. – 30.09.)**

Ergebnisse - Ausblick

Gebäudebetrieb

- Bewässerung des Gründachs





- Dachüberstand 3,5 m
- First W-O
- Leckagefläche 37 m²
- schweres Gründach
- massive Aussenwände
- Lüftungssteuerung: Fassadenverschluss von ca. 6 Uhr bis ca.15 Uhr an 52 Tagen

Bauliche Maßnahmen - Zusammenfassung

- **erheblicher Einfluss**
  - Dachaufbau
  - Verschattung (Schutz vor direkte Sonneneinstrahlung)
  - Luftwechselrate (Größe der Lüftungsöffnung)

- **mittlerer Einfluss**
  - Helligkeit der Oberflächen (Absorptionzahl der Dachfläche)
  - Typologie (Gebäudeform)

- **geringen / keinen Einfluss**
  - Gebäudeluftvolumen (Dachneigung)
  - Orientierung (Standortabhängig)

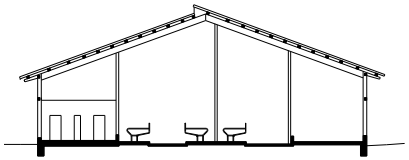
- **passive Kühlmaßnahmen mit erheblichen Einfluss (Forschungstätigkeit)**
  - Bewässerung (bei Gründächern)
  - Lüftungssteuerung (nur bei Gebäuden mit höherer Speichermasse)

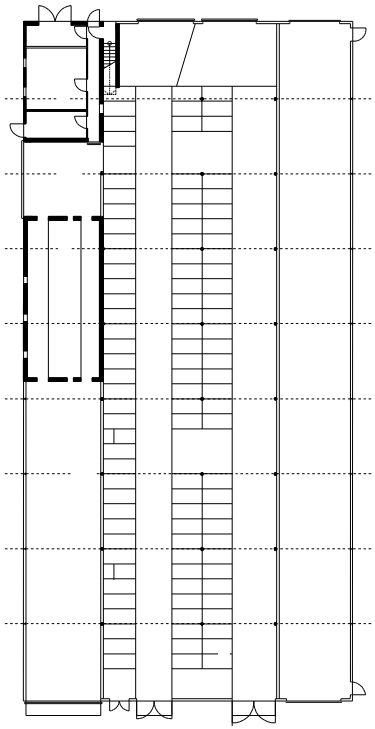
Übersicht

- **Problemstellung**
- **Methode**
  - Hygrothermische Bauteil- und Raumklimasimulation
  - operative Temperatur
  - Berechnung von Hitzestress
- **Ergebnisse Einflussfaktoren**
  - Gebäudegeometrie
  - Gebäudekonstruktion
  - Gebäudebetrieb
- **Vergleich von 4 Gebäudetypen**
- **Fazit**

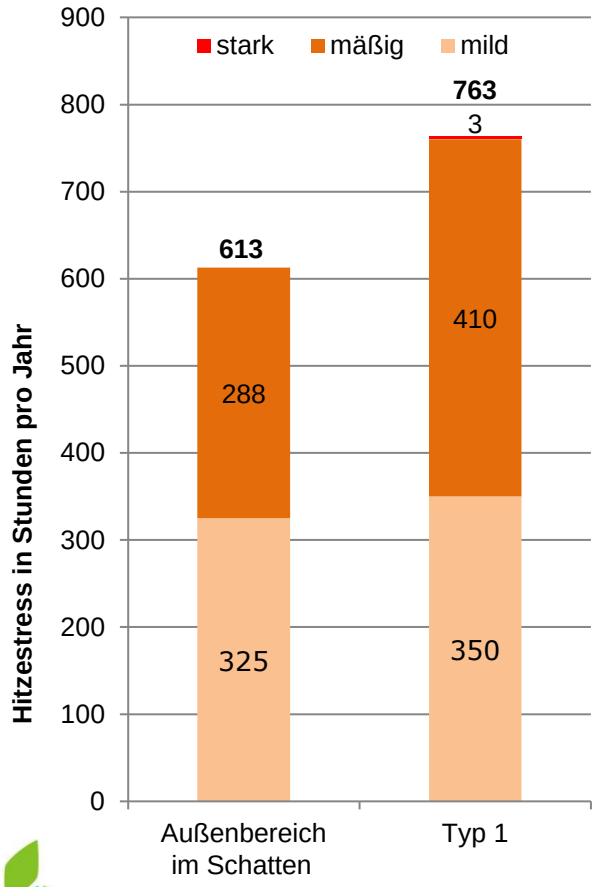
Vergleich

Praxisbetrieb G. mit konventionellem einschaligem Dachaufbau



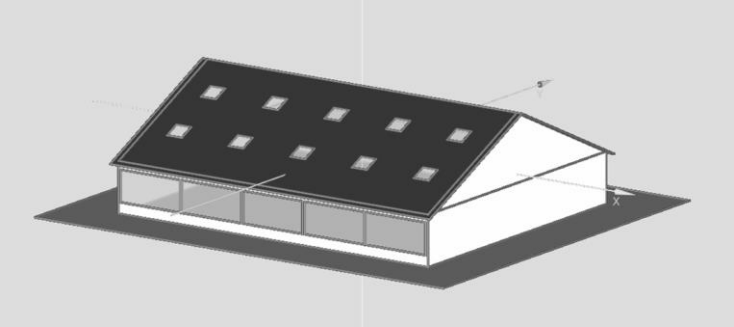


Vergleich

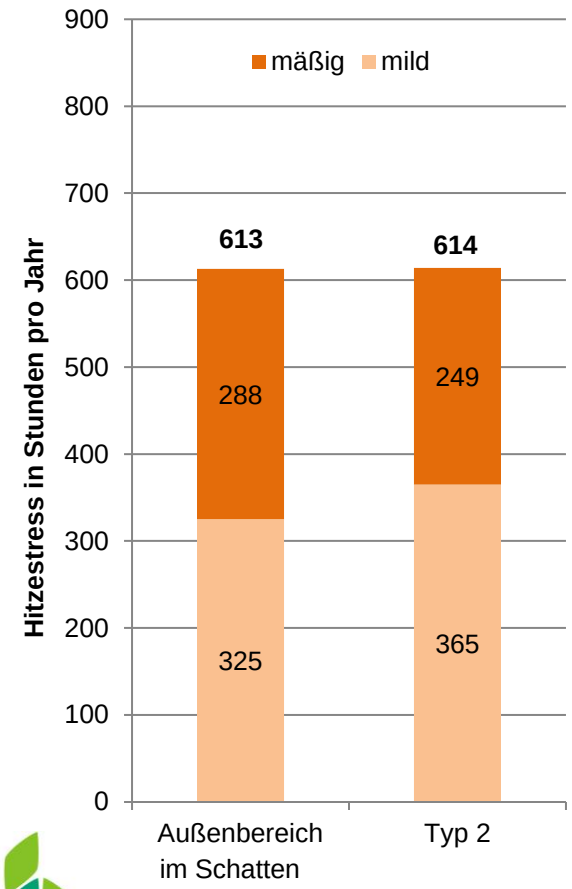


Typ1

- 4- (3-) reiher Typ
- First in Ost-West Richtung
- einschalige Blechdeckung
- DN 25 °
- zusätzliche Dachoberlichter
- knapper Dachüberstand (0,5 m)
- eingeschränkte Belüftungsflächen

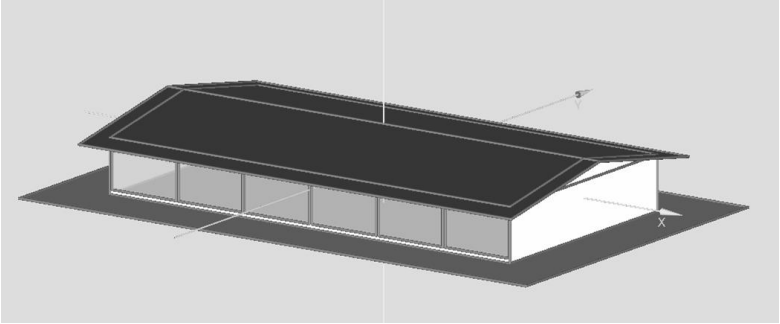


Vergleich



Typ 2

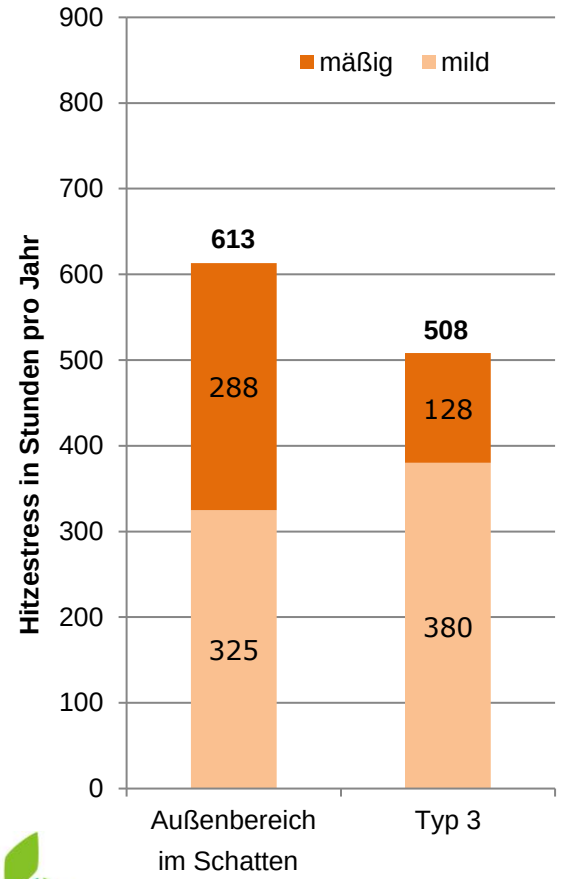
- 3-reiher Typ
- First in Ost-West Richtung
- zweischaliger Aufbau mit Holzschalung
- DN 10 °
- Dachüberstand 1,5 m
- optimale Belüftungsflächen



Vergleich

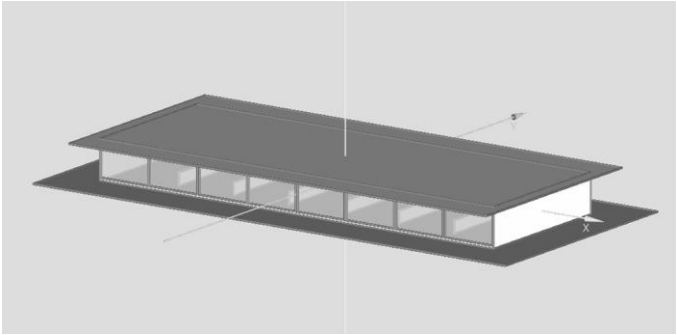
Praxisbetrieb Z. mit Gründach

Vergleich

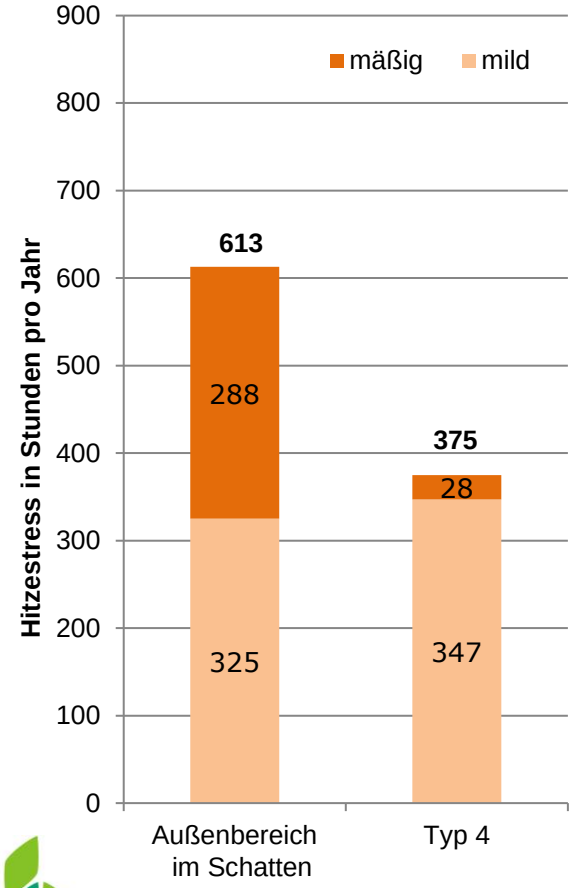


Typ 3

- 2-reiher Typ
- optimale Belüftungsflächen
- First in Ost-West Richtung
- schweres Gründach
- DN 3-5%
- Dachüberstand 3,40 m

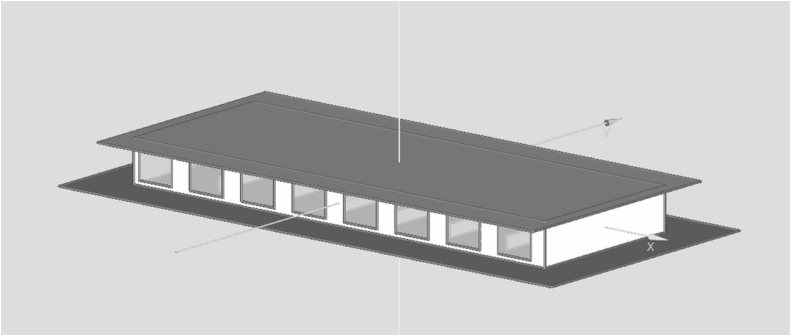


Ausblick



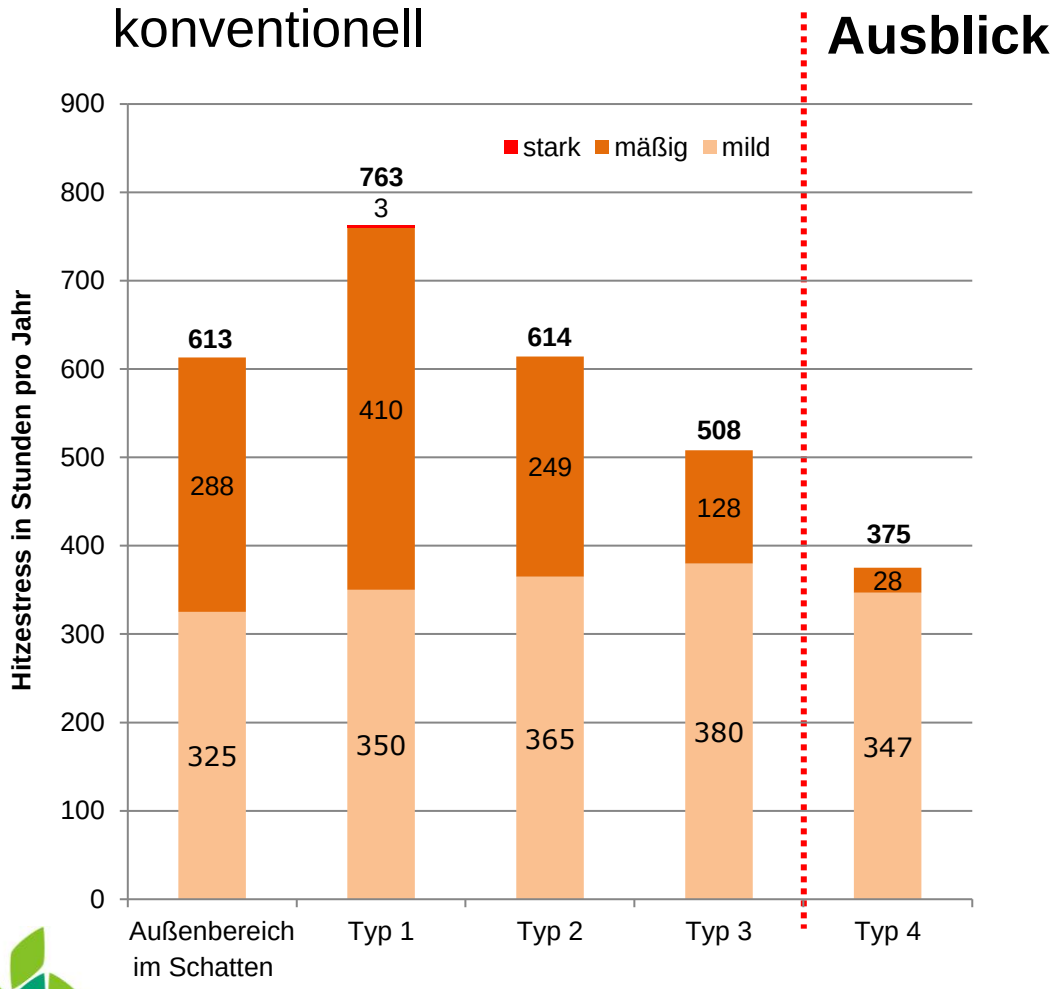
Typ 4 (Forschungstätigkeit)

- wie Typ 3 zusätzlich
- **Lüftungssteuerung** (Schadgaskonzentrationen nicht berücksichtigt)
- **Hohe Speichermassen**
- **Bewässerung des Gründachs**



Vergleich

Vergleich Übersicht



- **Aufbau von Gründächern**
- **Bewässerung von Gründächern**
- **Lüftungssteuerung**
  Praxistauglichkeit
  – Sensorik Schadgase
  – Leckraten

Fazit

- Es fehlen **validierte Schwellenwerte** für den Grad der Hitzebelastung unter Berücksichtigung von
  - Rasse, Körperkondition, Gesundheitsstatus
  - Lufttemperatur, -geschwindigkeit, -feuchte und Strahlungswärme

- Die **Planung von Stallanlagen** wird auf Grund der Hitzestressproblematik anspruchsvoller
  - lokalklimatische Fragen
  - Zusammenspiel von aktiven und passiven Maßnahmen

- Als **Entscheidungsgrundlage** werden, neben den Baukosten, die Betriebskosten (Lebenszykluskosten) und die Umweltwirkung (Kompensationsumfang bei Gründächer, Ökobilanzierung) wichtiger