

Semi-intensive Dachbegrünung – ein innovatives Instrument zur Anpassung an den Klimawandel und zum Umweltschutz.



Prof. Dr. Oleg Panferov (o.panferov@th-bingen.de)

Team



Biodiversität

Prof. Dr. Elke Hietel



Wasserbilanz

Prof. Dr.-Ing. Ute Rößner



Feinstaub

Dr. Klemens Seelos



Mikroklima

Prof. Dr. Oleg Panferov

Acknowledgements



Statistik

Prof. Dr. Cornelia Lorenz-Haas



*Installation
Messungen*

Dipl.-Biol. Ben Warnecke



*Installation
Messungen*

M.Sc. Jan Wustmann



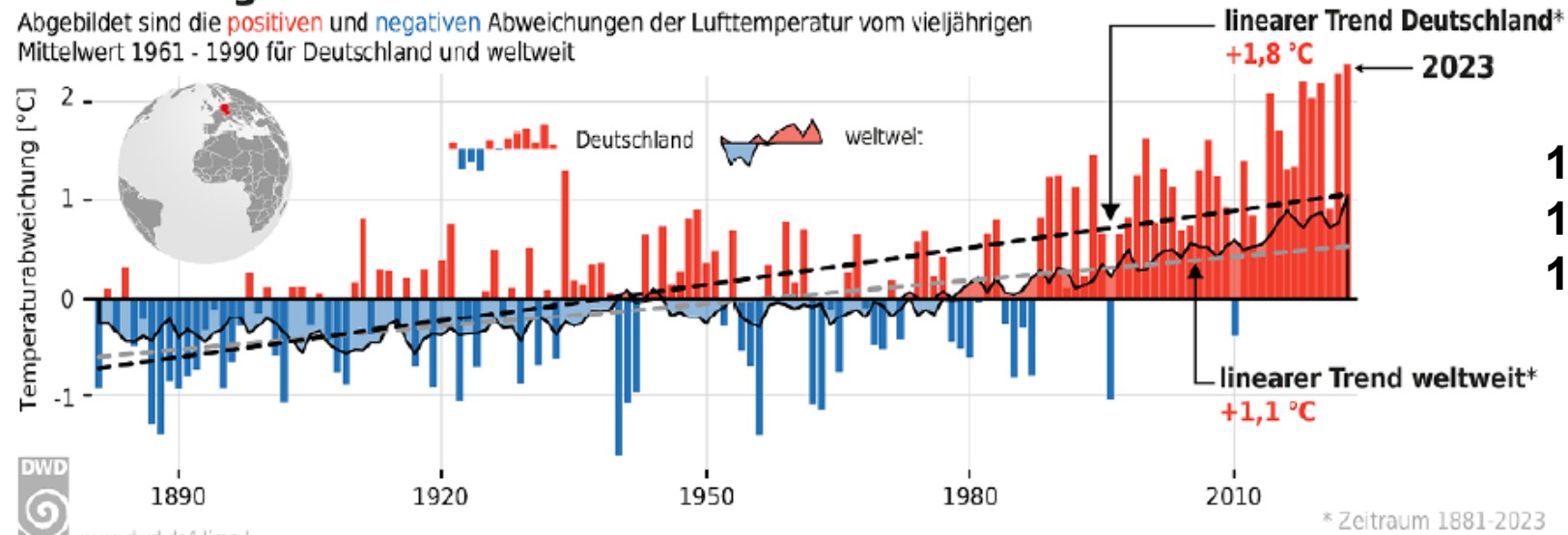
M. Bernhard – *Drohnenaufnahmen*



Schlechte Nachrichten: Globale Erwärmung!

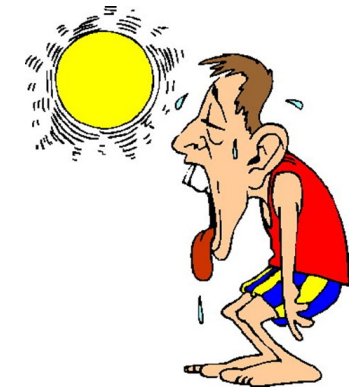
Erwärmungstrend in Deutschland stärker als weltweit

Abgebildet sind die **positiven** und **negativen** Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1961 - 1990 für Deutschland und weltweit



1991-2020
1981-2010
1971-2000

9,3° C
8,9° C
8,6° C

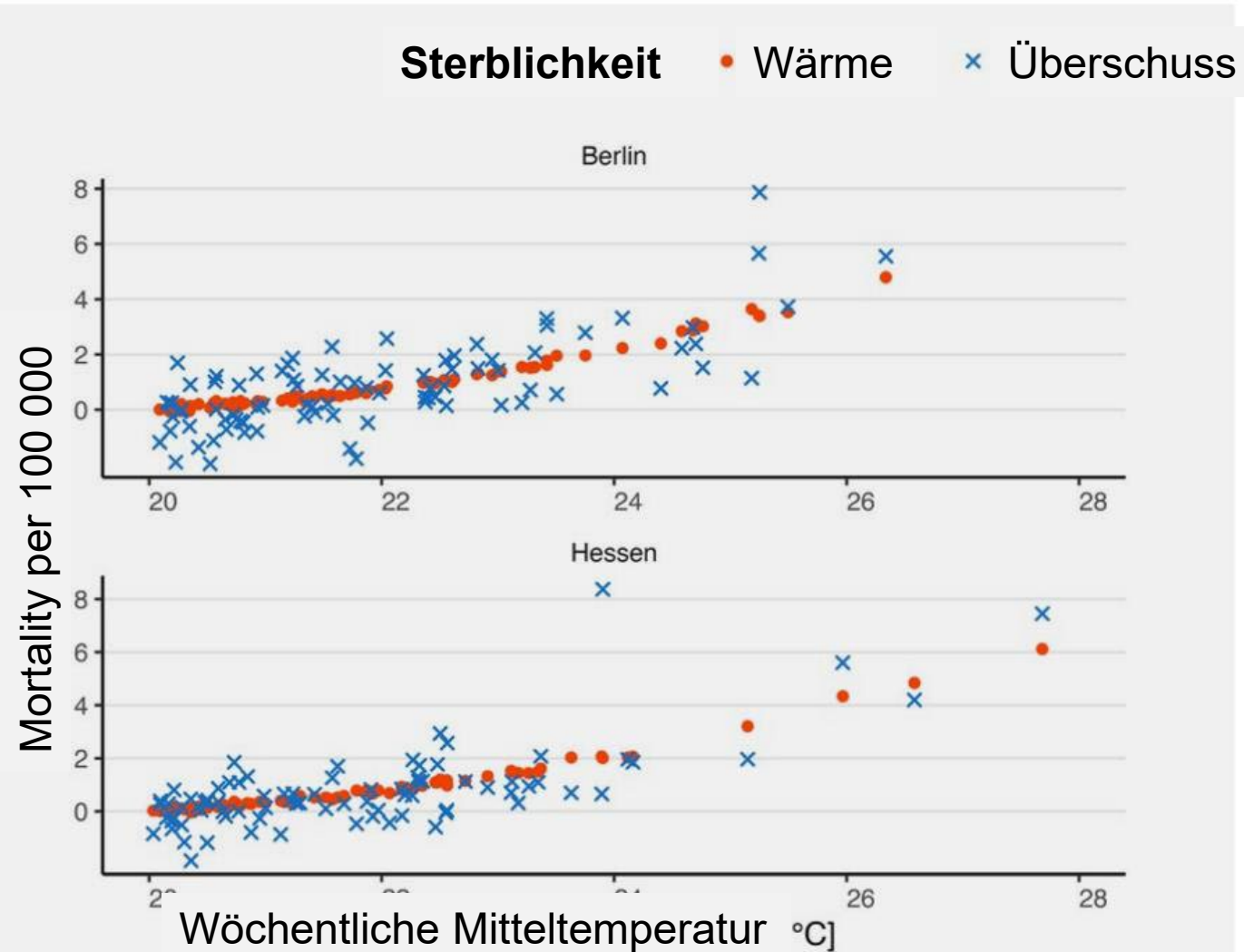


DWD
www.dwd.de/klima |
2024 Quelle: Deutschland: DWD, Global: NOAA

Abb. 15: Vergleich der Temperaturentwicklung weltweit (Quelle: NOAA) und dem Gebietsmittel für Deutschland seit 1881. Die Geraden zeigen jeweils den linearen Trend im Gesamtzeitraum. Näheres zum Vergleich der globalen und nationalen Temperaturentwicklung findet sich unter www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20200128_vergleich_de_global.pdf

„Das Temperaturmittel erreichte im Jahr 2023 erstmals **10,6 Grad Celsius** (° C) und lag damit um 2,4 Grad über dem Wert der international gültigen Referenzperiode 1961 bis 1990 (8,2 ° C).“

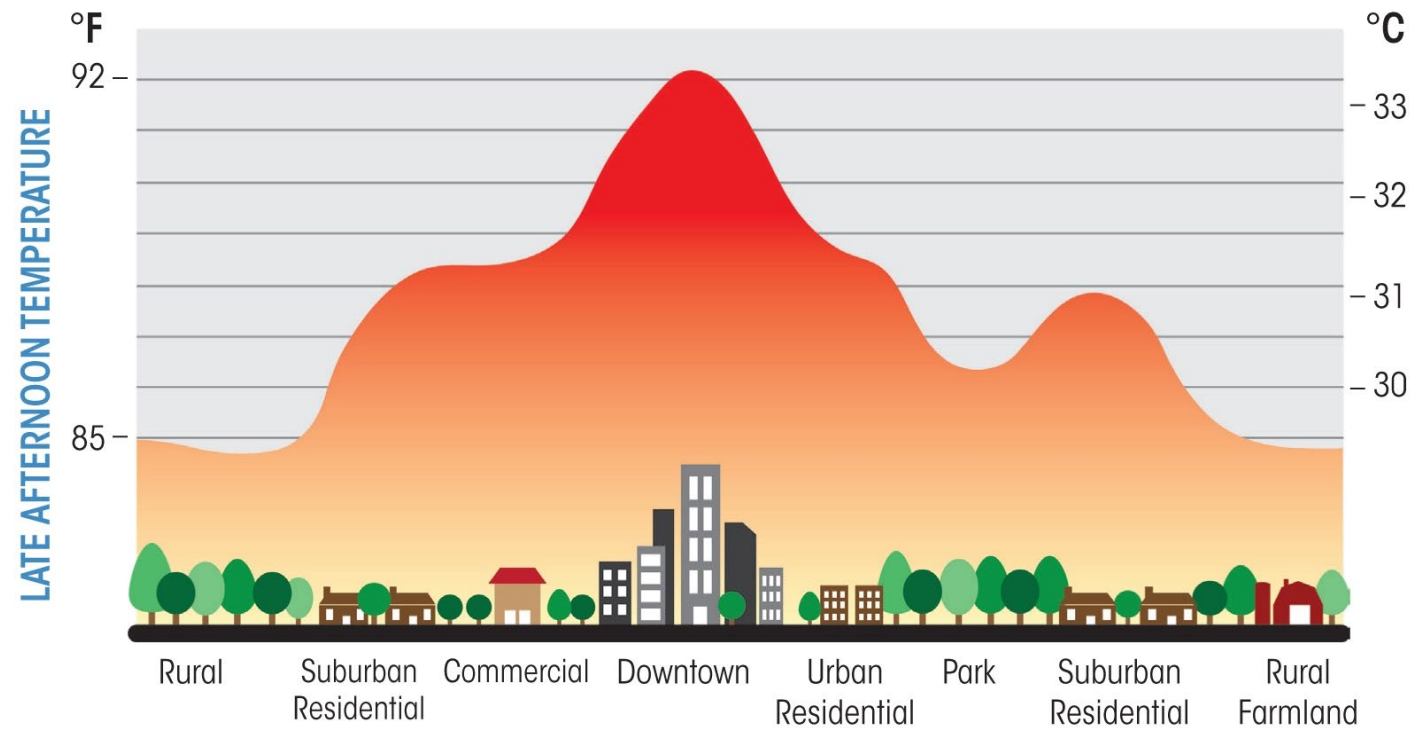
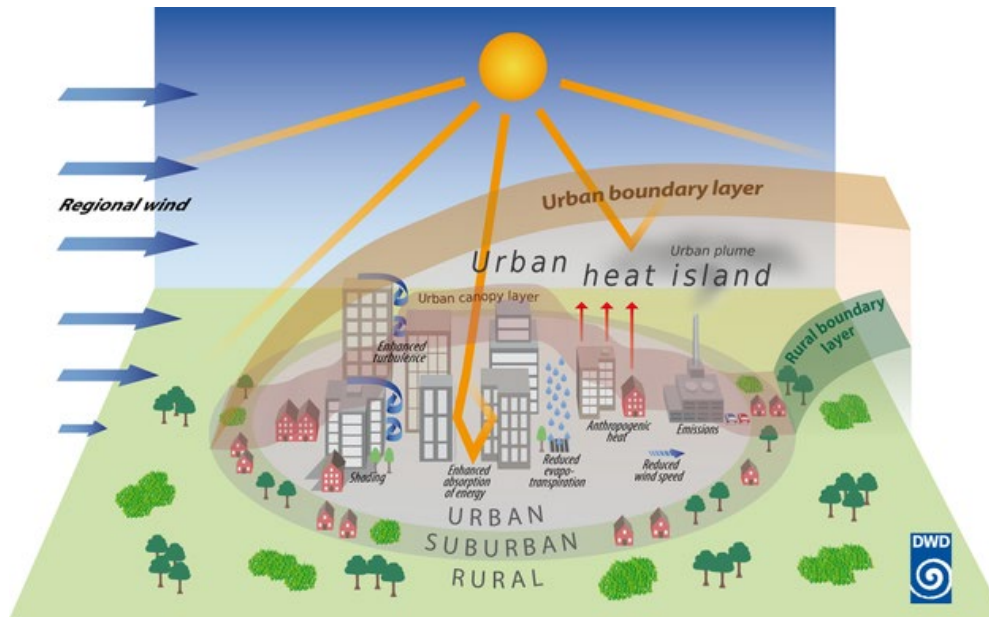
Heiße Extreme und erhöhte Sterblichkeit



Heiden, Buchholz, & Uphoff, 2020.

Stadt-Effekte

Erhöhte Hitzebelastung und urbane Wärmeinsel



eco-intelligent.com



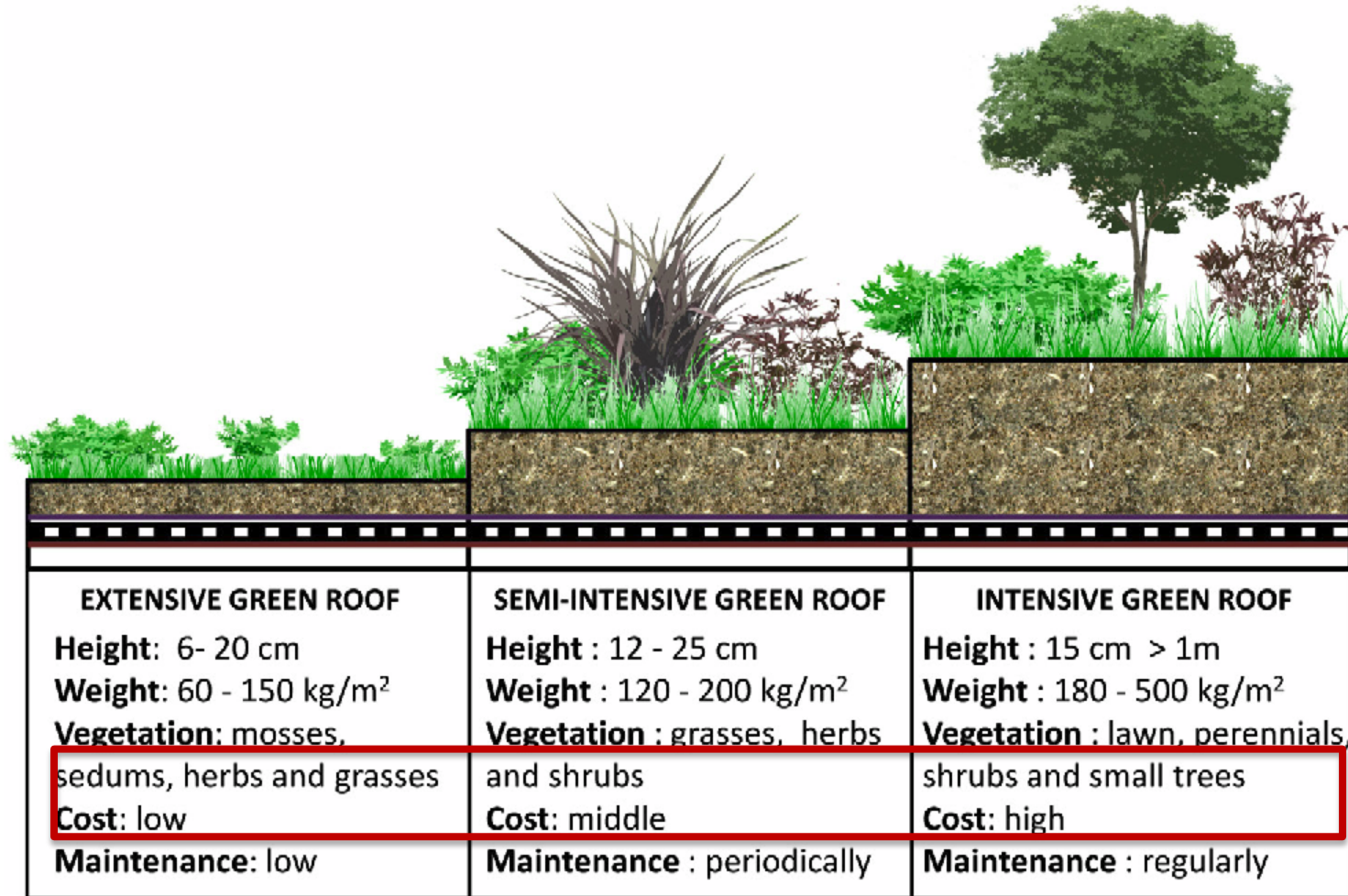
**Die Anpassung an den Klimawandel ist
extrem notwendig!**

Lösungen?

Dachbegrünung



Unterschiedliche Varianten – unterschiedliche Effekte und Ressourcen



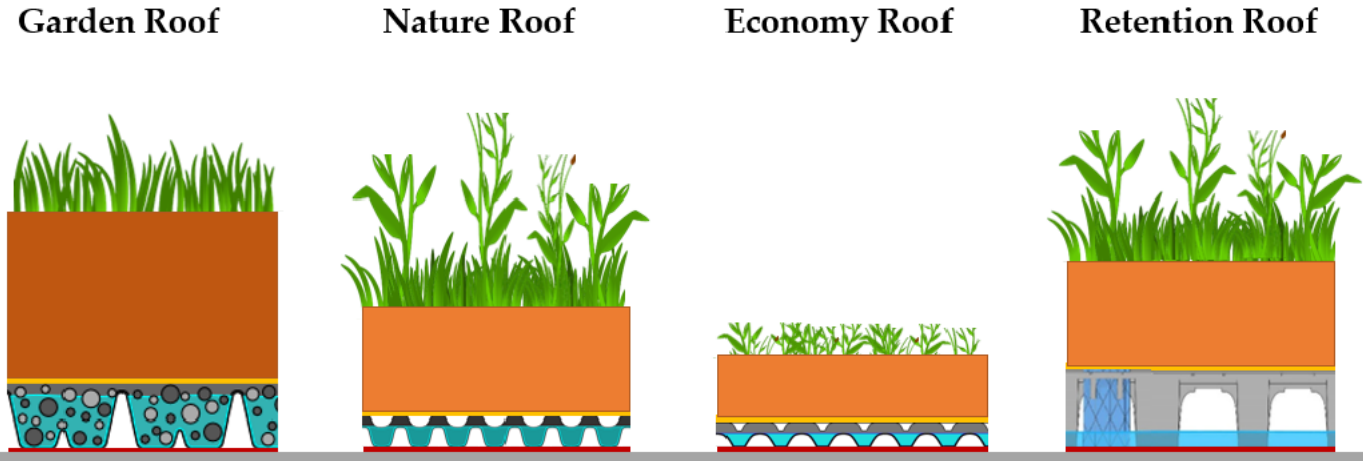
Wasser?

Intensive
Bewässerung

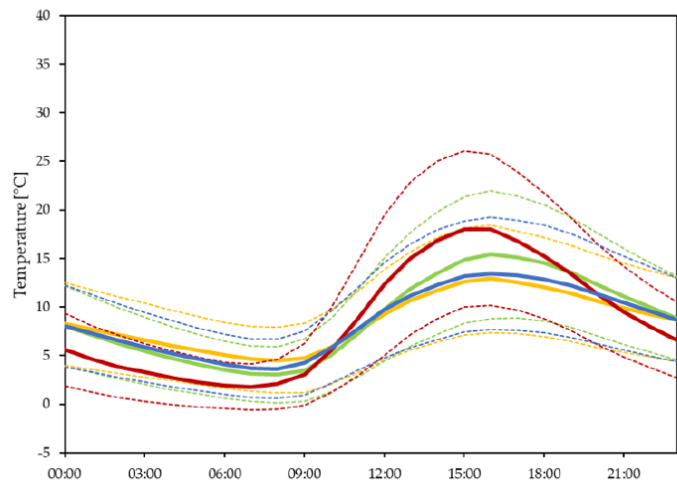
Konkurrenz

R. Fernández-Cañero et al., 2013

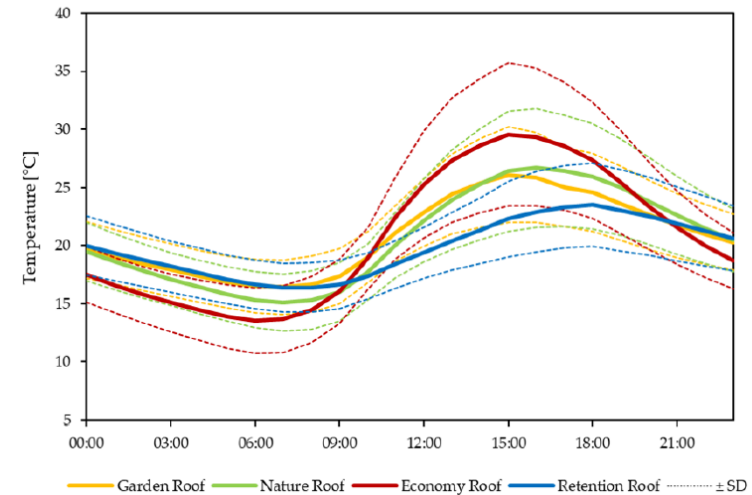
Unterschiedliche Varianten – unterschiedliche Effekte und Ressourcen



Substrate Temperature on a Typical Day in April



Substrate Temperature on a Typical Day in June



Gößner, et al, 2021

Where it works, but is not really needed

Hobbiton, Shire



Foto: Alexander Ehlers

Skogar, Iceland



Dreamsite.com



Wo es nötig ist: Dachbegrünung in Deutschland



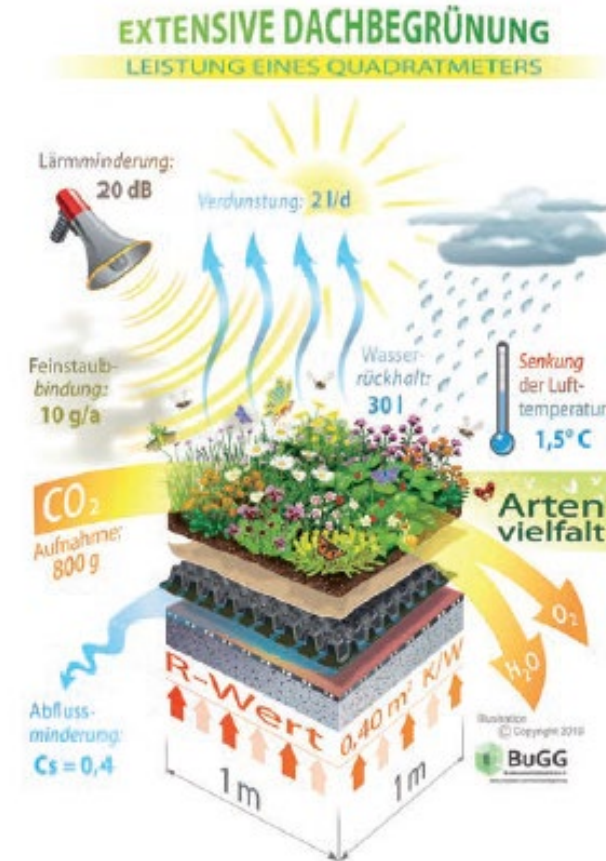
BUGG, 2022, Fig. 4

- Gesamtfläche Gründach (GD), Deutschland: 120-150 Mio. m².
- Neue Fläche in 2021: 8.681.416 m² davon 82,5 % extensiv
- Extensive GD: 8-15 cm Substratschicht, 80-170 kg/m²
- Pflegeleicht, trockenheitsresistent

BUGG, 2022

Potentielle Vorteile

- Kühlende Effekte
- CO₂-Sequestrierung
- Erhöhung der Artenvielfalt
- Regenwasserrückhaltung
- Ablagerung von Schadstoffen
- Geräuschreduzierung



BUGG, 2022, Fig. 1

Quantifizierung der Effekte?

Unsere ersten Ergebnisse: Extensives GD vs. Schotter



Extensives GD: 9 cm, Sedum, 2011



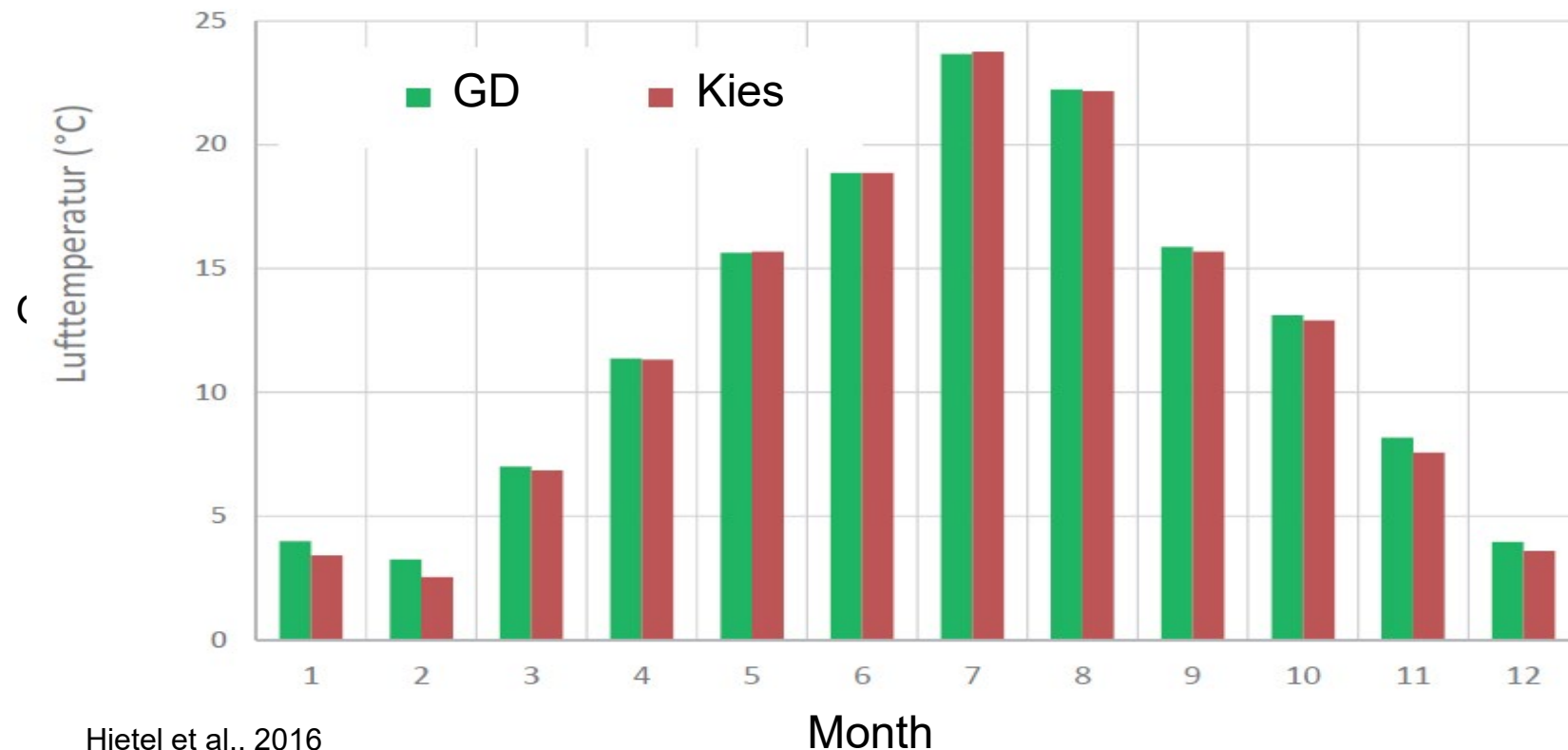
Bitumen and 3 - 5 cm Kies

Hietel et al., 2016



Gründach Effizienz

- Mikroklima – geringer Wirkungsgrad (statistisch nicht signifikant): niedrige ET (Sedum + Substrat), geringe Albedo-Differenzen. Höhere Temperaturkontraste auf GD.
- Höhere Artenvielfalt auf GD.
- Bessere Regenwasserrückhaltung ($>0,7$ Rückhaltekoeffizient für trockenen Untergrund)



Hietel et al., 2016

GD-Effizienz

Ähnliche Ergebnisse in anderen Studien

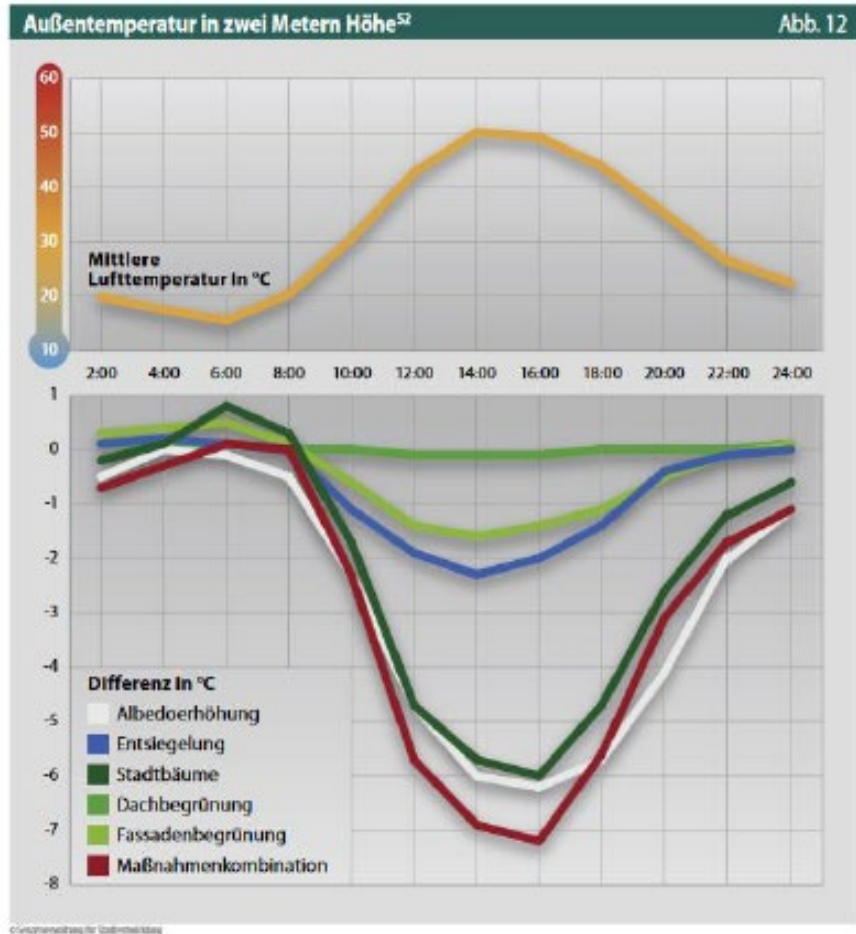
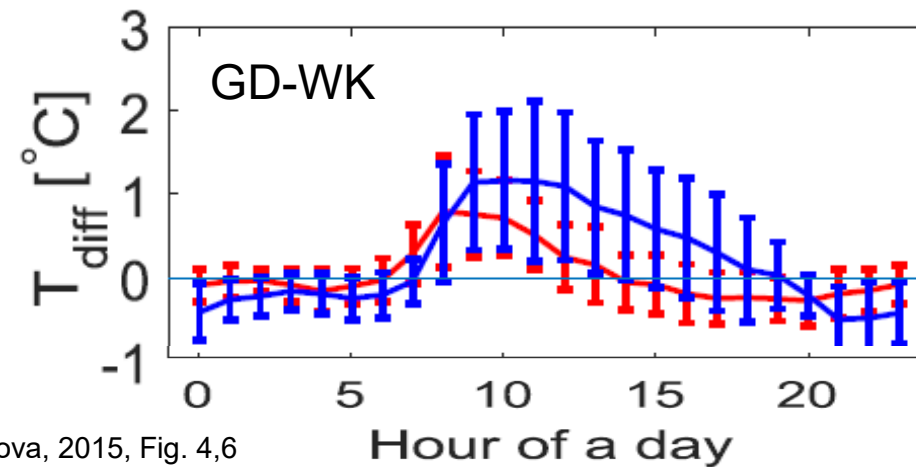
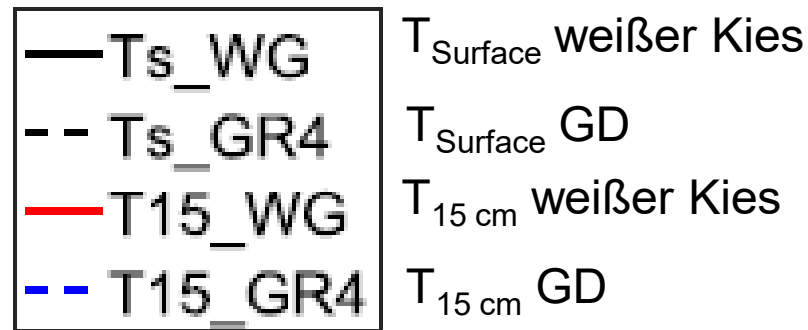
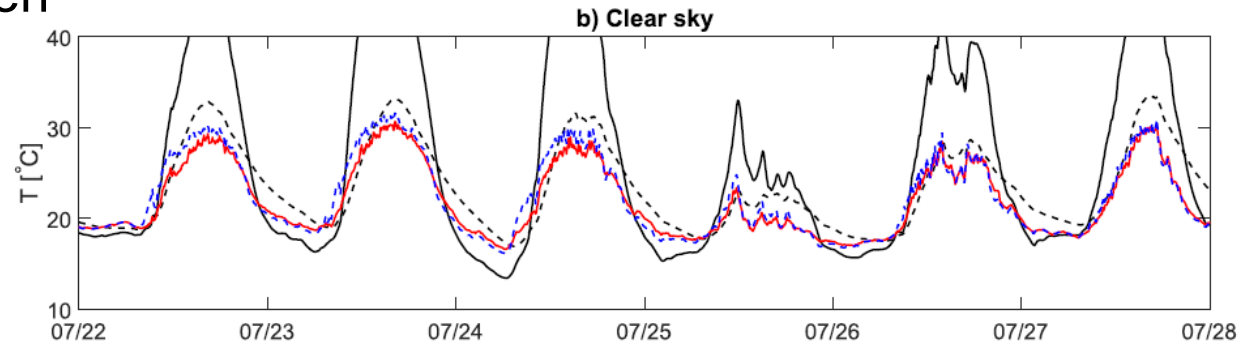


Abbildung 31 Einfluss verschiedener Klimaanpassungsmaßnahmen auf die lokale Außentemperatur (Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2014)

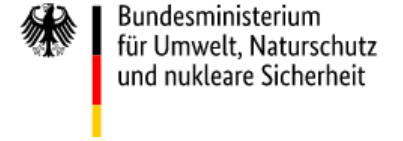
WOM Report, 2020



Solcerova, 2015, Fig. 4,6

Lösung: semi-intensive Begrünung, Bewässerung

2019 - 2022: Effiziente innovative Begrünung – semi-intensives System mit Regenwasserbewässerung (Effin-Grün)



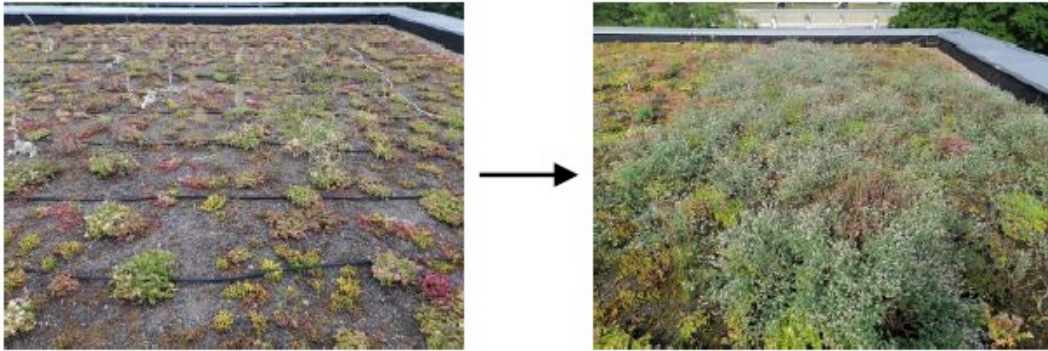
67DAS148

Ziel:

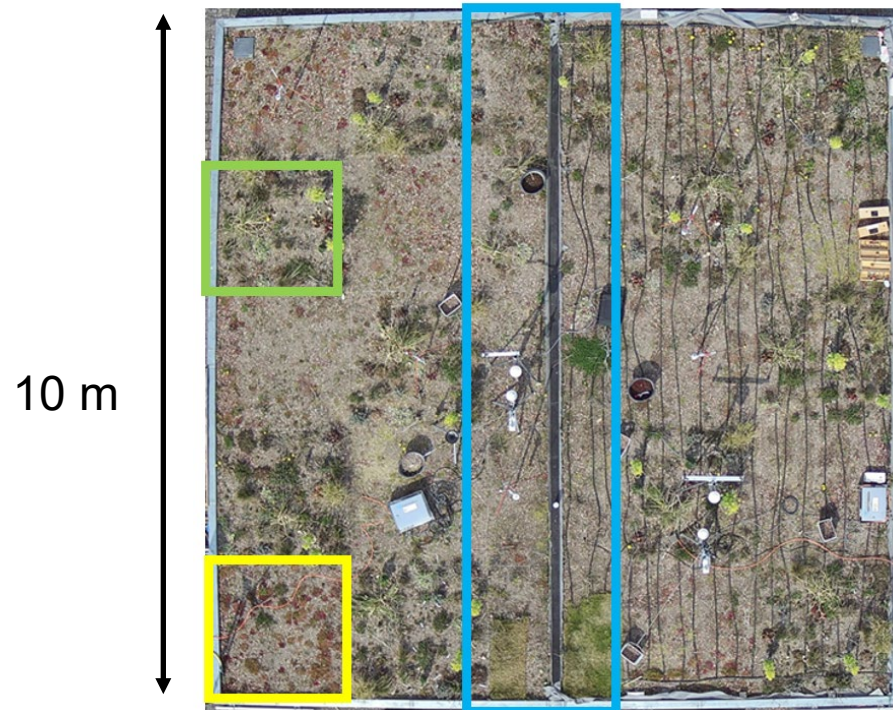
Anpassung an den Klimawandel: Entwicklung eines kühlenden semi-intensiven Gründachs mit Regenwasserbewässerung, die mit Solarenergie gepumpt wird



Transformation Extensiv -> Semi-intensiv



ZinCo GmbH: Struktur+Substrat



Implementierung

Automatische Tropf-/Rieselregenwasserbewässerung (gepumpt mit PV)

Durchschnittliche Bewässerung: 2 mm pro Tag

Angepflanzt: 26 Arten

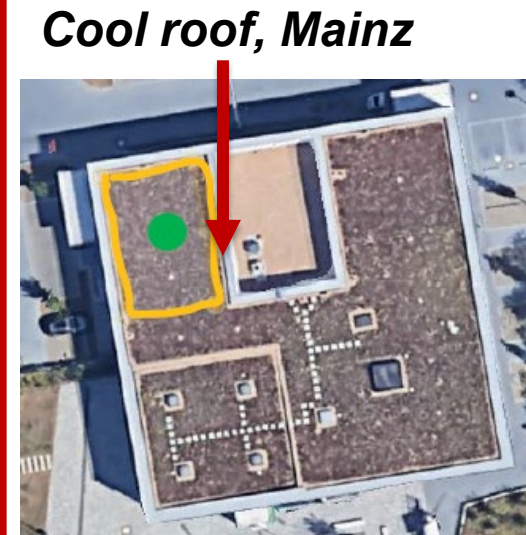
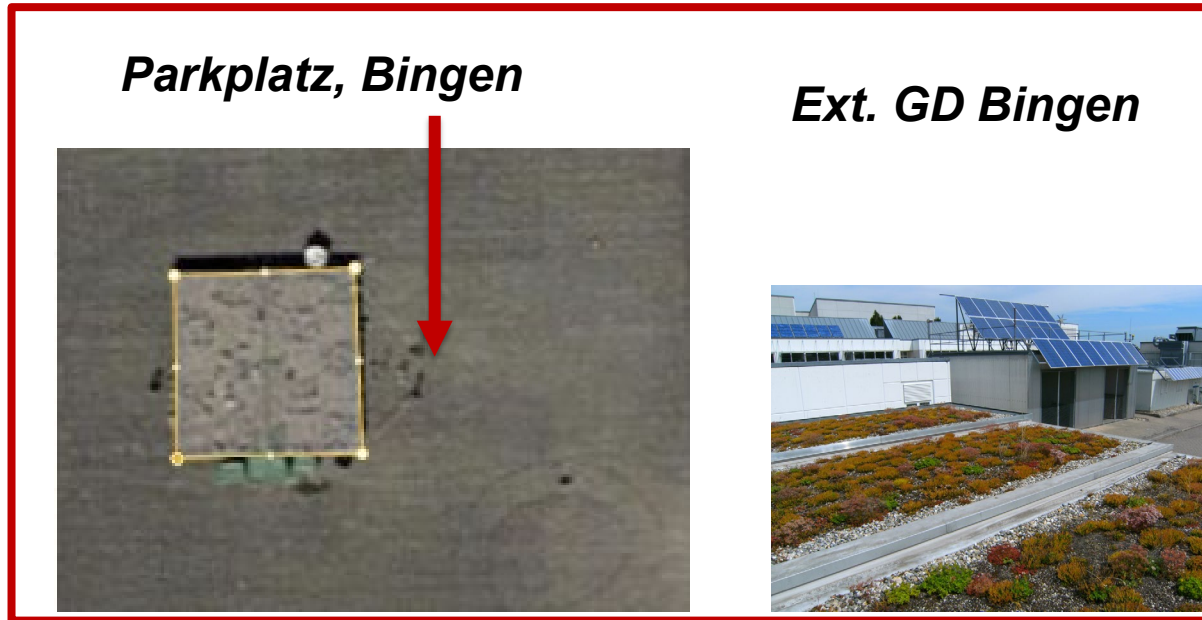
Messungen:

- Automatische Wetterstationen (t0.5, RH, GR, WD, WS, P)
- Messung der THG-Flüsse CO₂, H₂O, CH₄ (Bodenkammermethode, LI-COR 6800, UGGA Los Gatos)
- Drohnenaufnahmen
- Simulation von Starkregenereignissen
- Messung der Abflusswasser-Qualität
- Simulation der Energieflüsse im Gebäude
- Identifizierung von Arthropoden als Indikatorarten
- Measurement of particulate matter on plants (Particle detection software RADIUS)



Vergleich

Semi-intensive Gründächer vs unterschiedlichen Referenzflächen:



EFFin-Grün, Final Report, 2022

Vortragsfokus: Gründach vs. Parkplatz und Ext. Dach in Bingen

Ergebnisse: Biodiversität

Umstellung: Extensive -> semi-intensive Begrünung
Pflanzung ist effizienter als Aussaat: Schnelle und gezielte Begrünung

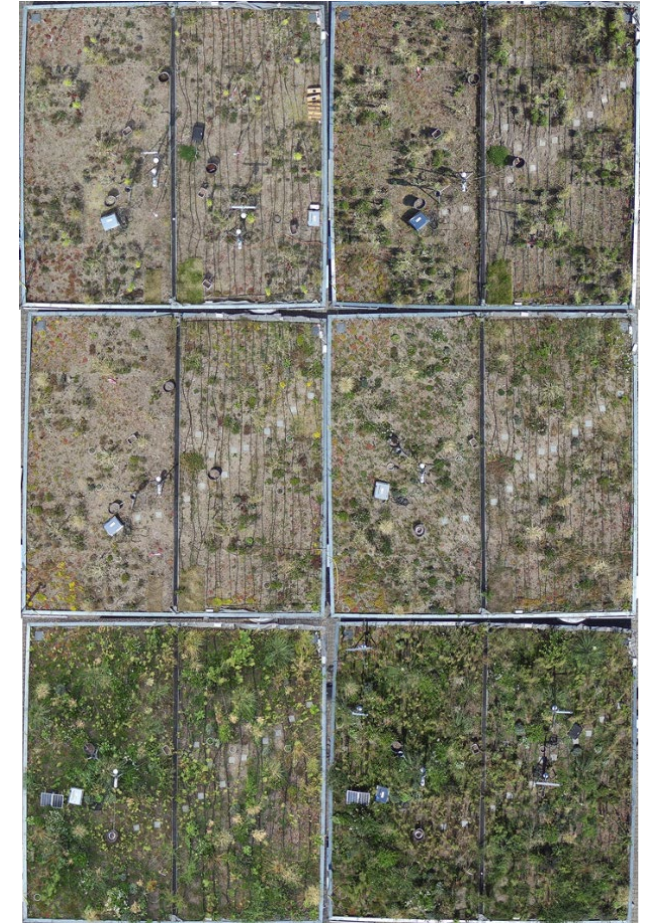
Spontanes Wachstum:

- 34 verschiedene Pflanzenarten, 6 Neophyten
- Hohe Abdeckung und hohe Biodiversität.
- Schnelle Lückenfüllung

Semi-intensives GD:

Artenreicher und besserer reproductive Habitat.
Deutlich längere Blütezeit im Vergleich zu extensiven Sedumdächern fördert bestäubende Insekten.

May



October

EFFin-Grün, Final Report, 2022

Ergebnisse: Biodiversität

Bewässert semi-intensives GD

Gesamtindividuen korr. si:		
Familie	Summe korr.	Anteil% korr.
Ameisen (<i>Formicidae</i>)	717	21,10064744
Asseln (<i>Isopoda</i>)	1639	48,23425544
Käfer (<i>Coleoptera</i>)	47	1,383166569
Spinnen (<i>Arachnida</i>)	223	6,562683932
Schnecken (<i>Gastropoda</i>)	107	3,148911124
Mücken (<i>Nematocera</i>)	322	9,476162448
Fliegen (<i>Brachycera</i>)	109	3,207769276
Larven	12	0,353148911
Zikaden (<i>Cicanida</i>)	44	1,294879341
Regenwürmer (<i>Lumbricidae</i>)	4	0,117716304
Wanzen (<i>Hemiptera</i>)	1	0,029429076
Motten (<i>Tineidae</i>)	3	0,088287228
Wespen (<i>Vespinae</i>)	5	0,14714538
		0
unbestimmt	165	4,855797528
Gesamtindividuen korr.	3398	100

Extensives GD

Gesamtindividuen e:		
Familie	Summe	Anteil %
Ameisen (<i>Formicidae</i>)	12	2,36
Käfer (<i>Coleoptera</i>)	63	12,38
Spinnen (<i>Arachnida</i>)	30	5,89
Mücken (<i>Nematocera</i>)	116	22,79
Fliegen (<i>Brachycera</i>)	27	5,30
Zickaden (<i>Auchenorrhyncha</i>)	43	8,45
Motten (<i>Tineidae</i>)	2	0,39
Asseln (<i>Isopoda</i>)	10	1,96
Larven	1	0,20
		0,00
		0,00
		0,00
		0,00
		0,00
unbestimmt	205	40,28
Gesamtindividuen	509	100,00

Buchta, 2024

Ergebnisse: Wasserhaushalt und -qualität

- **Total Wasserretention:** 60L m⁻².
- **Wasserretention:** semi-intensives GD mit Bewässerung: 30-35L m⁻².
- Abflusskoeffizient: 0,22 wurde für ein extensives Gründachmodell mit unbegrüntem Substrat erreicht.
- Bei Pflanzen: keine Erhöhung der Wasserspeicherkapazität. Aber: Niederschlagsabfangen (Interzeption) und Verdunstung.
- **Qualität:** Abfließendes Wasser erfüllt die Anforderungen der Trinkwasserverordnung für: pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Ammonium, Nitrit und Nitrat.
- El. Leitfähigkeit: bepflanztes Gründach höher als das unbepflanzte.
- Nitrat: bepflanztes Gründach ist deutlich niedriger als unbepflanzte - erhöhter Denitrifikationsprozess.

Ergebnisse: Wasserhaushalt und -qualität

Für 100 m² semi-intensives Dach

- Bei Bewässerung 2 L m⁻²d⁻¹ erforderliches Volumen von 1,4 m³ pro Woche
- $P_{\text{ann}} = 400$ mm und Abflusskoeffizient von 0,3: bis zu 12 m³ Abflusswasser können für ein 100 m² Dach pro Jahr gespeichert werden.
- Bewässerungsbereich von 60 Tagen.

EFFin-Grün, Final Report, 2022

Bewässerungsproblem in trockenen Regionen, wie z.B. Bingen ($P_{\text{ann}} = 488$ mm a⁻¹).

Data: DLR RLP, 2023 <https://www.wetter.rlp.de/Agrarmeteorologie/Wetterdaten/Alphabetisch/AM101>

Ergebnisse: Feinstaub

Bedingungen:

Windgeschwindigkeit, $V = 0.8 \text{ m s}^{-1}$,

Staub pro Pflanze: $6 * 100 \text{ mg} / 10\text{-min Intervall}$

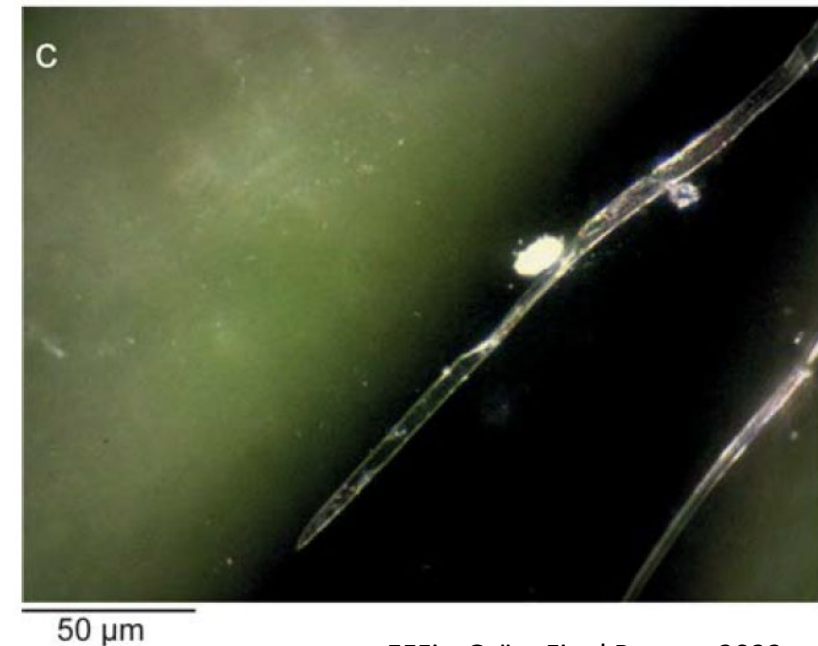
Hauptfaktoren:

Oberflächenstruktur der Blätter: glatt (höchste Partikeldichte), rau, gefaltet;

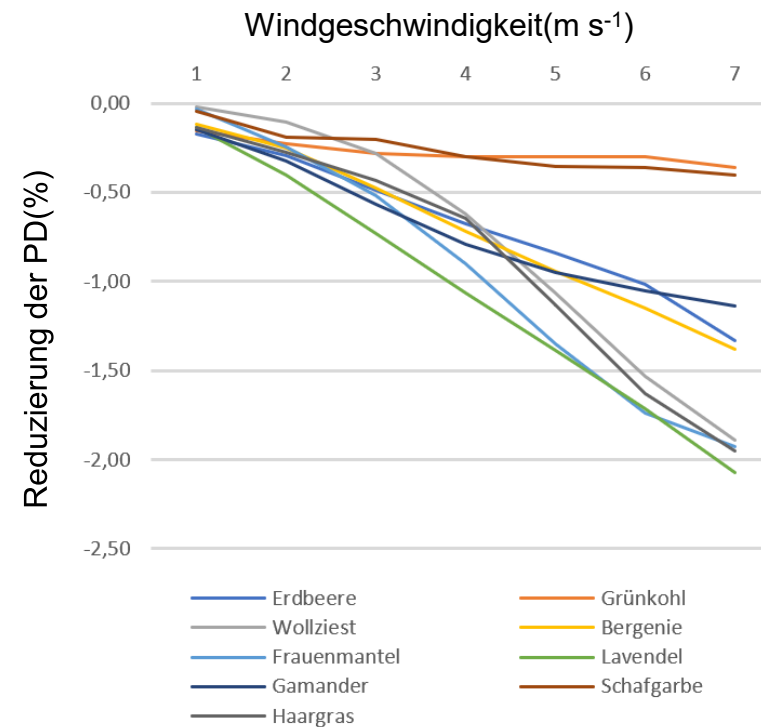
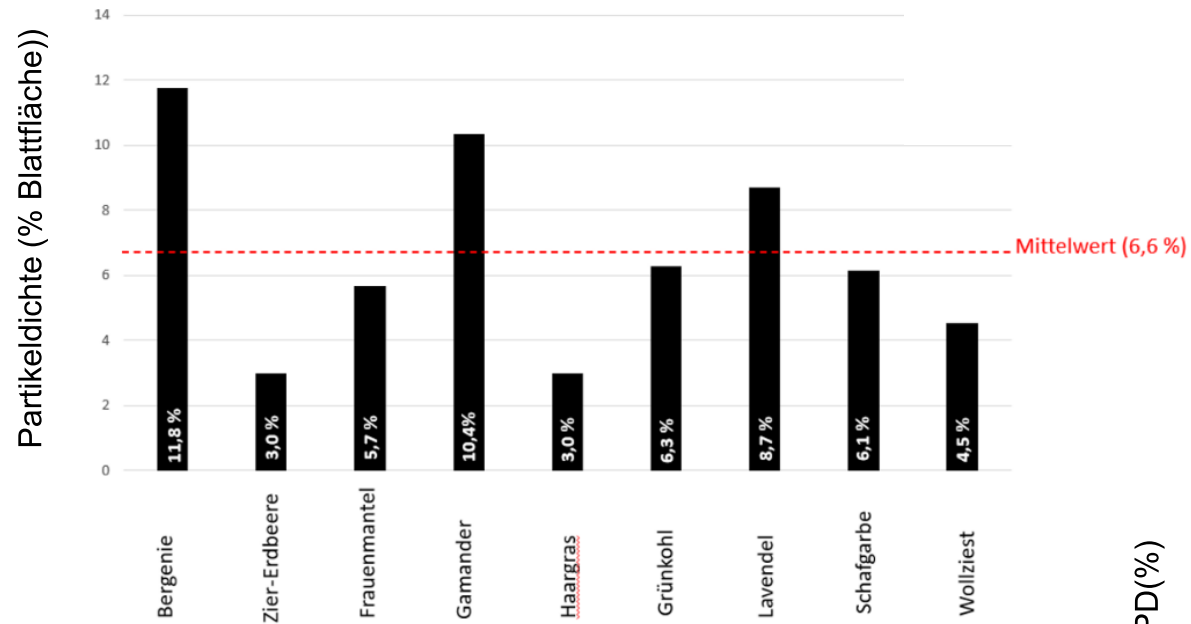
Anzahl und Form der Pflanzenhaare: behaart – weniger PD

Fassungsvermögen bei höherem V : gefaltete Struktur

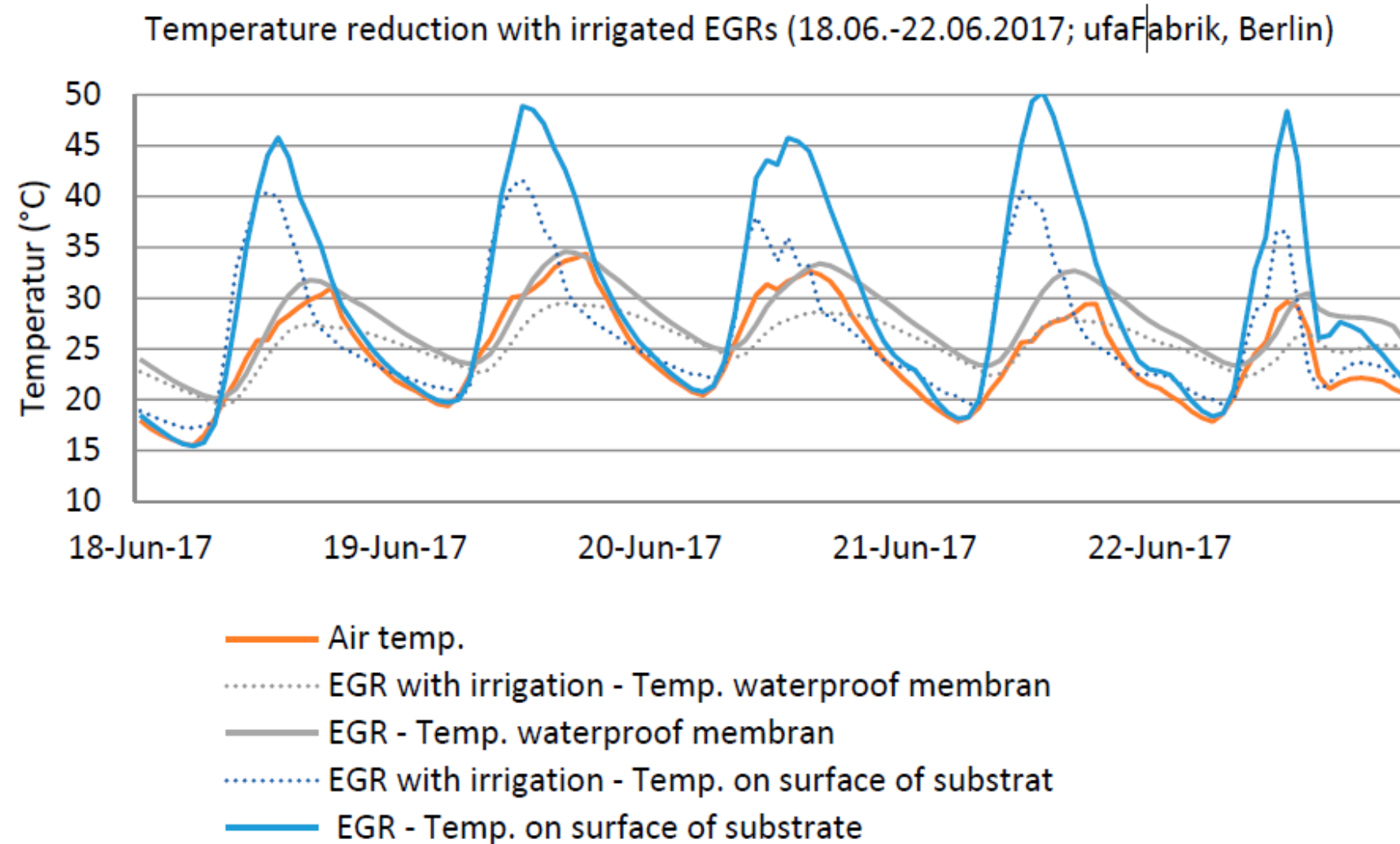
Keine der getesteten Pflanzen erfüllt alle Anforderungen optimal.



Ergebnisse: Feinstaub



Ergebnisse: Mikroklima



Kaiser et al, 2019

Ergebnisse: Mikroklima

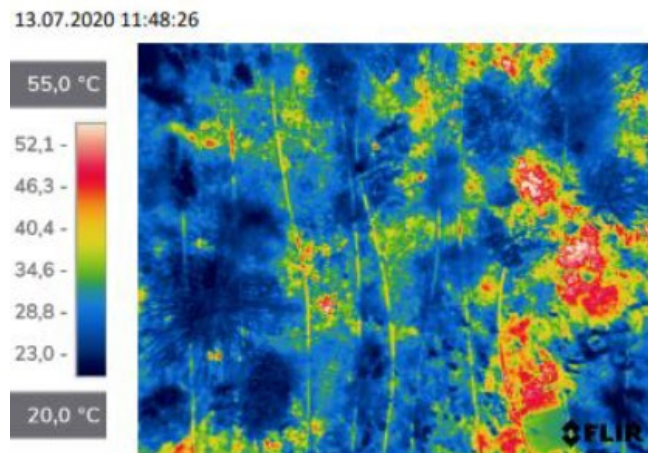
Albedo (Frühling - Sommer)

Begrüntes Dach 0.15 – 0.174 (Sedum 0,16 – 0,172)

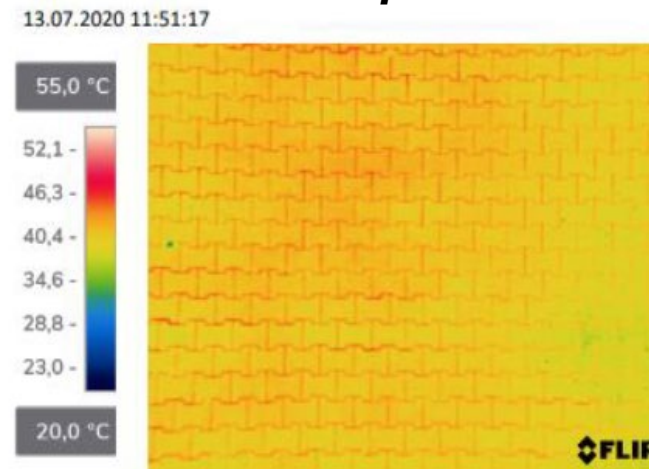
Parkplatz 0.139 – 0.145

Oberflächentemperatur

Semi-int. Begrüntes Dach



Parkplatz



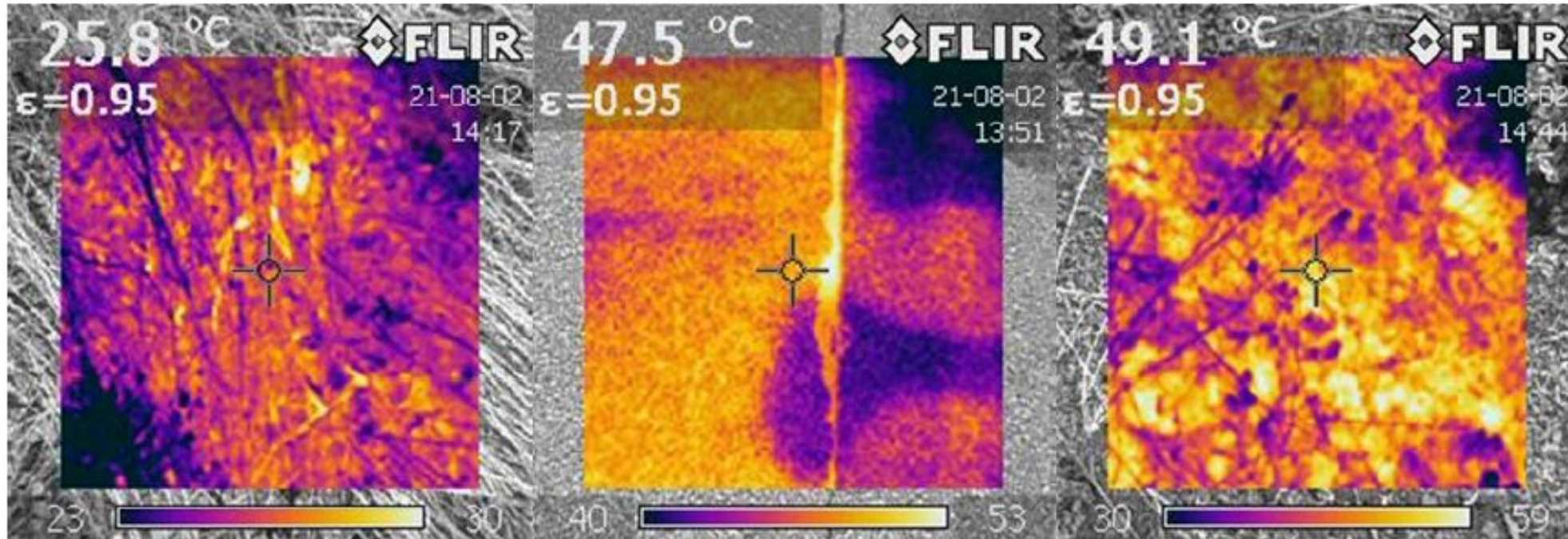
NR01 Hukseflux

Ergebnisse: Mikroklima, Effekt der Bewässerung

Bewässert semi-intensives GD

Bitumen-Dach

Extensives GD



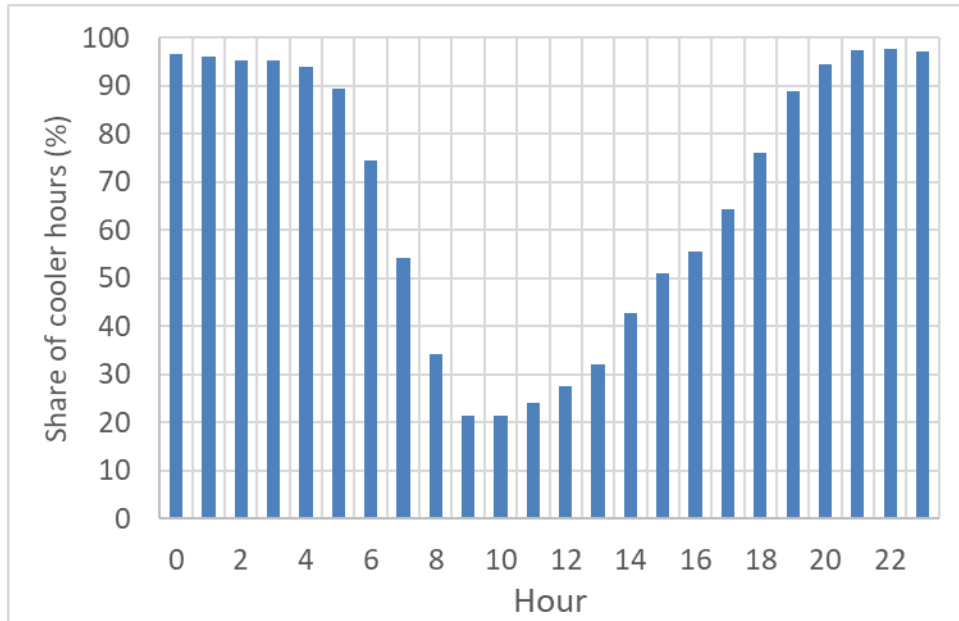
EFFin-Grün, Final Report, 2022

Ergebnisse: Lufttemperatur

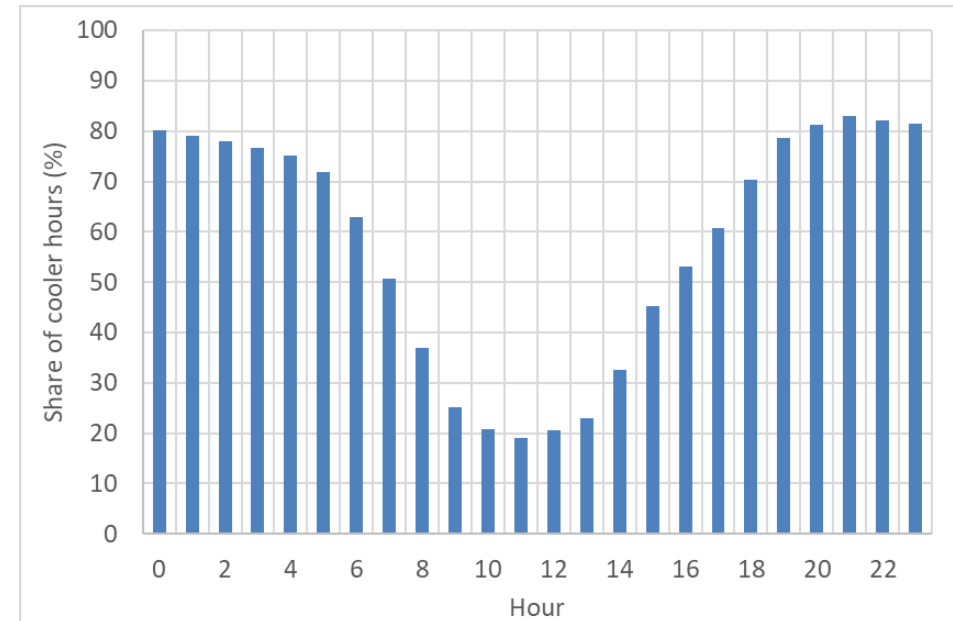
Grünes Dach vs. Parkplatz

Anteil der Stunden, wann Gründach kälter ist als Parkplatz (Luft_T 0,5 m über Boden)

Summer



Winter



Ergebnisse: Lufttemperatur

Begrüntes Dach:

Parkplatz:

Tag, Sonnenstrahlung > 5 W m⁻²

$T_{\text{day, mean}} \quad 15.85 \pm 8.1^{\circ}\text{C} \quad 15.95 \pm 8.2^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{day, max}} \quad 36.4^{\circ}\text{C} \quad 38.8^{\circ}\text{C}$

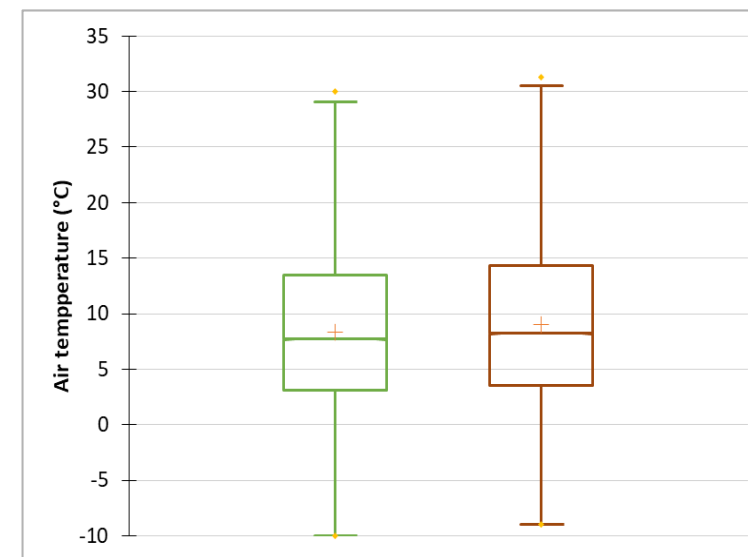
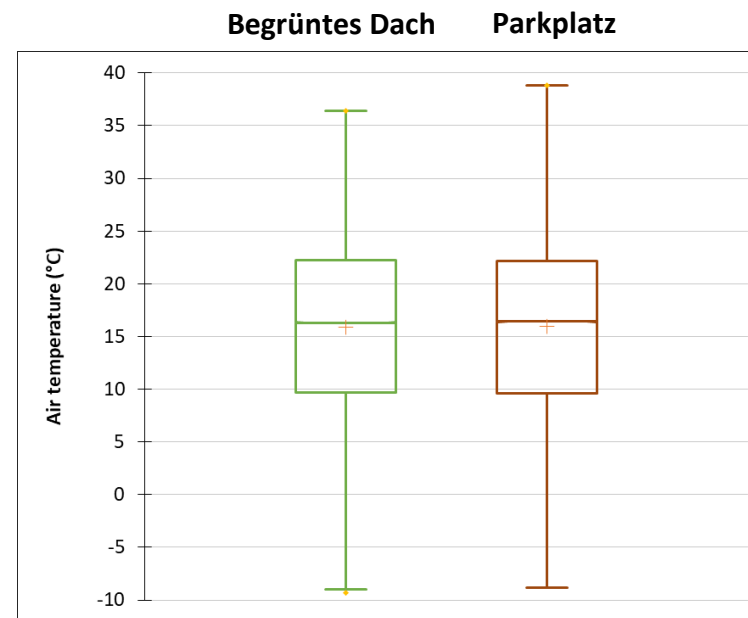
$T_{\text{day, min}} \quad -9,3^{\circ}\text{C} \quad -8,8^{\circ}\text{C}$

Nacht, Sonnenstrahlung < 5 W m⁻²

$T_{\text{night, mean}} \quad 8.4 \pm 6.5^{\circ}\text{C} \quad 9.01 \pm 6.8^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{night, max}} \quad 30.0^{\circ}\text{C} \quad 31.3^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{night, min}} \quad -10.0^{\circ}\text{C} \quad -9,1^{\circ}\text{C}$



Ergebnisse: Lufttemperatur

windstiller Tag (Sonnenstrahlung > 5 W m⁻², V < 0,2 m s⁻¹)

	n	T _{min}	T _{max}	T _{mean}	StDev
Begrüntes Dach:	6197	-8,2	29,9	10,5	6,7
Parkplatz:		-7,625	32,77	10,952	6,878

p < 0.001

windstiller Nacht (Sonnenstrahlung > 5 W m⁻², V < 0,2 m s⁻¹)

Begrüntes Dach:	32015	-10,0	27,8	8,13	6,4
Parkplatz:		-8,71	31,11	8,95	6,697

Theis, 2022

Results: Air temperature

Sommertag($t_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$)

	n	T_{min}	T_{max}	T_{mean}	StDev
Begrüntes Dach:	36559	25,0	36,4	28,16	2,23
Parkplatz:	36559	25,00	38,81	29,02	2,609

Heißer Tag($t_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)

Begrüntes Dach:	6397	30,0	36,4	31,87	1,403
Parkplatz:	6397	30,03	38,81	33,43	1,824

$p < 0.001$

Theis, 2022

Results: Air temperature and RH

windstiller Sommertag ($t_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$, $V < 0,2 \text{ m s}^{-1}$)

	n	T_{min}	T_{max}	T_{mean}	StDev
Begrüntes Dach:	87	25,00	29,00	26,77	1,34

Parkplatz:	87	25,54	32,77	29,34	1,67
-------------------	----	-------	-------	-------	------

	n	RH_{min}	RH_{max}	RH_{mean}	StDev
--	---	------------	------------	-------------	-------

Begrüntes Dach:	87	37,30	81,60	54,55	10,13
------------------------	----	-------	-------	-------	-------

Parkplatz:	87	31,05	64,73	42,67	7,20
-------------------	----	-------	-------	-------	------

$p < 0.001$

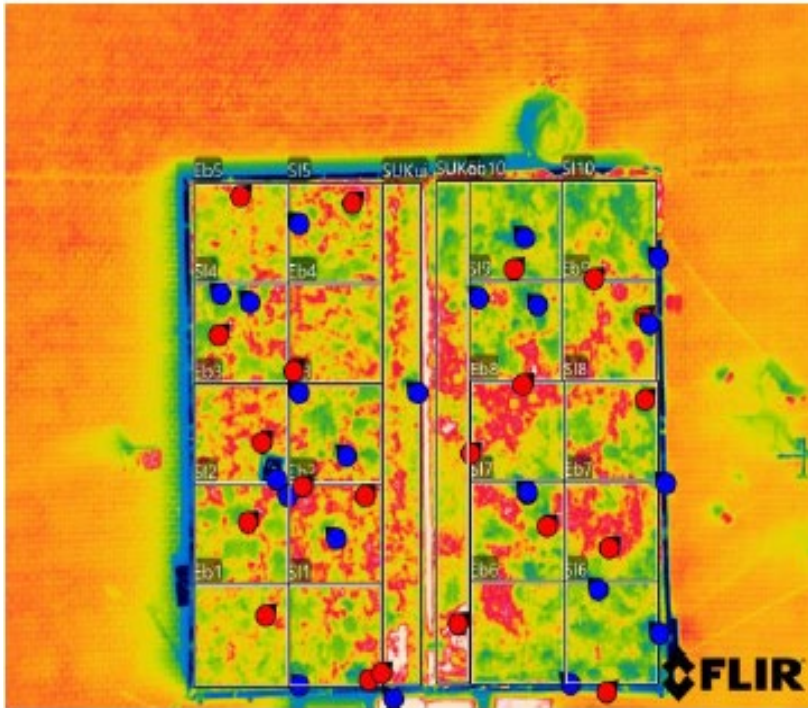
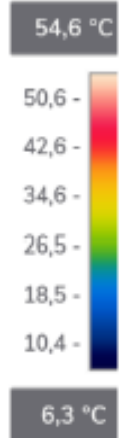
Theis, 2022

Ergebnisse: Kühlende Pflanzen

Drohne Thermalaufnahme

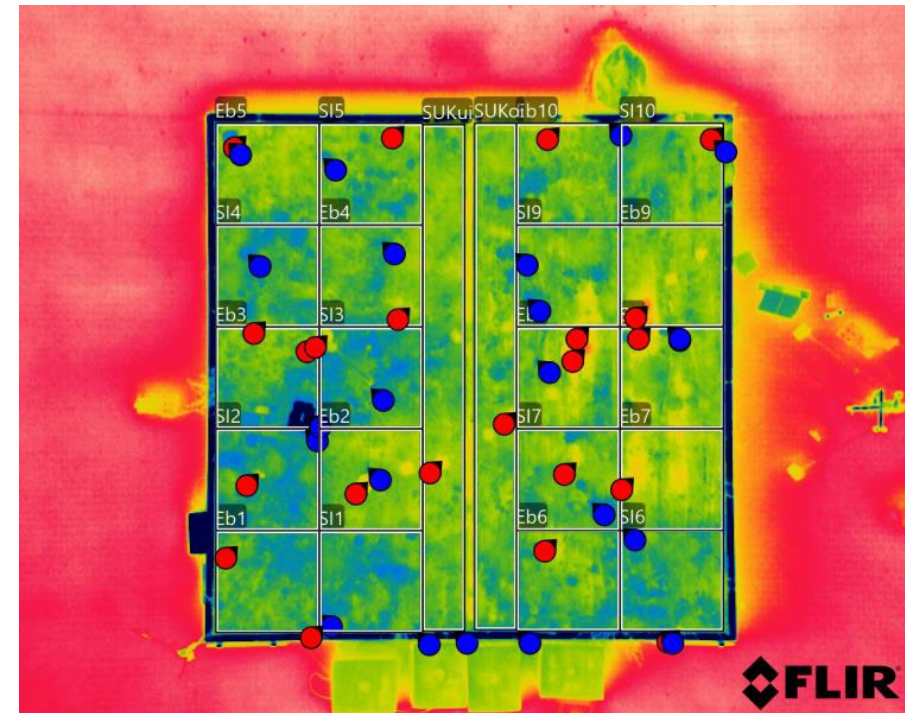
13.07.2020

12:21 Uhr



19.08.2020

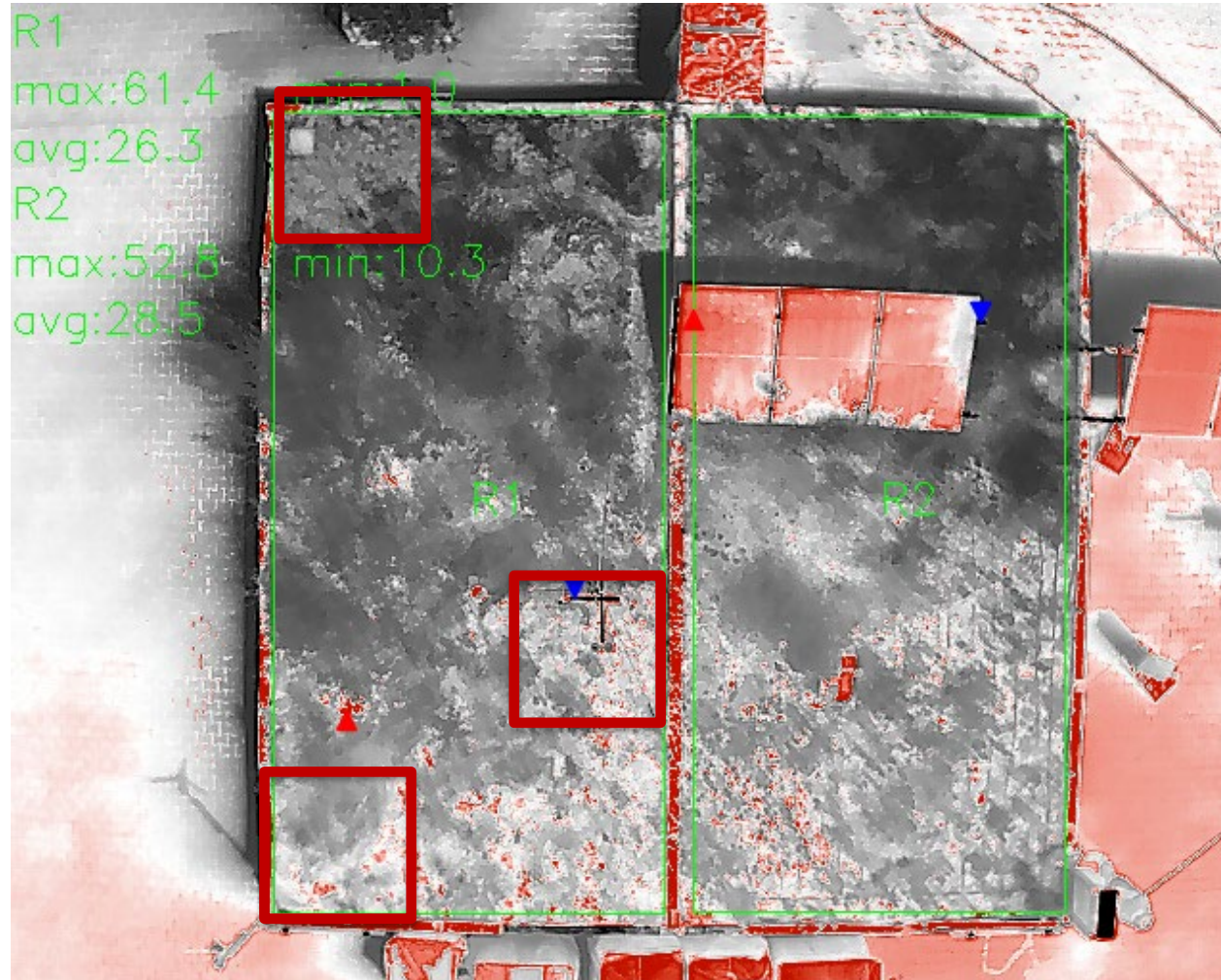
19:06 Uhr



Kühlene Pflanz: Pampasgrass, Schafgarbe, Ysop, Zittergrass, Lavendel und Frauenmantel

Ritter, 2022

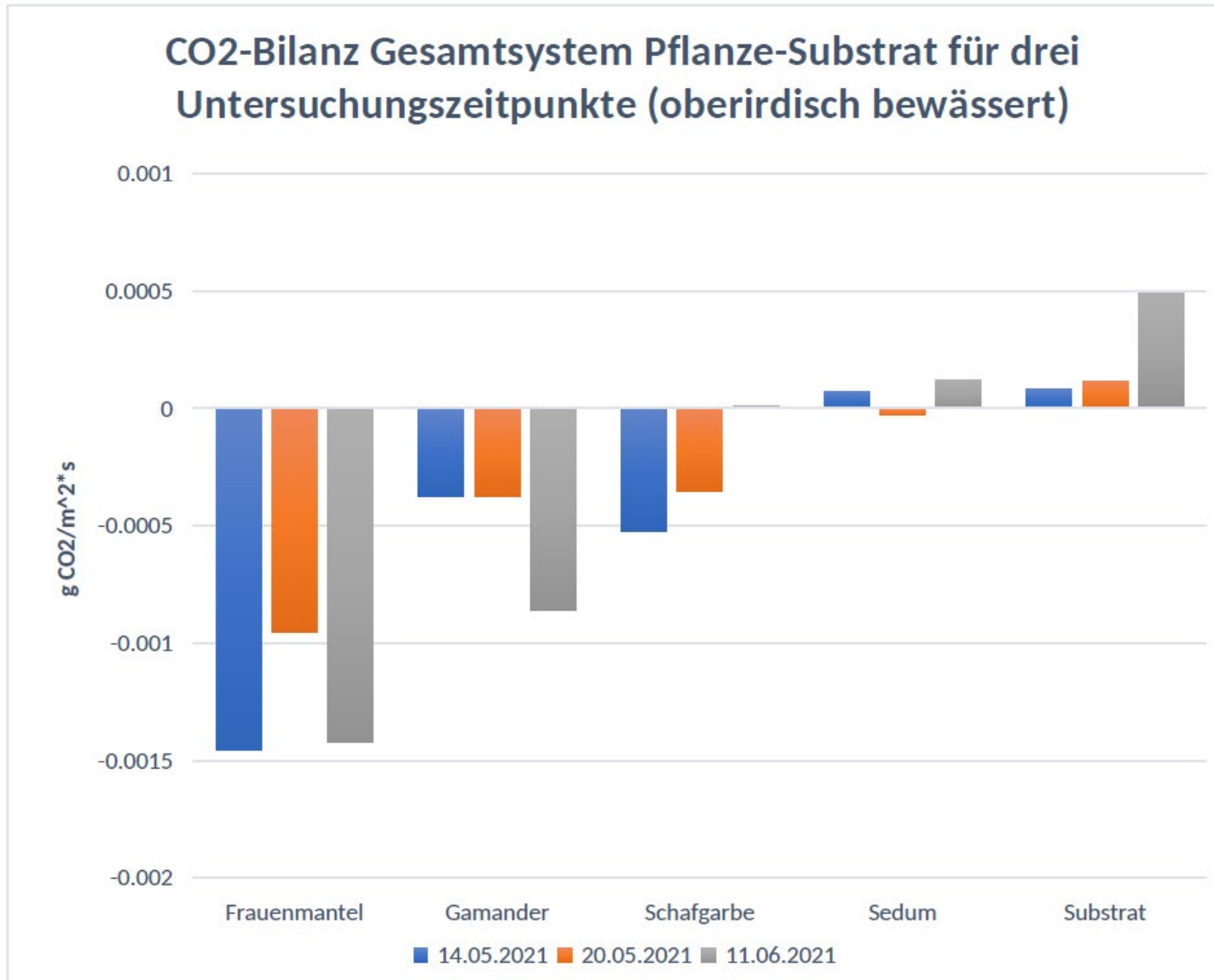
Ergebnisse: Kühlende Pflanzen



IR-Aufnahme: M. Bernhard, TH Bingen, 2024



Ergebnisse CO₂-Fluss



Zusammenfassung

Semi-intensive Dachbegrünung – zahlreiche Vorteile und höhere Effizienz im Vergleich zum extensiven GD

- Die automatisierte Regenwasserbewässerung ist relativ einfach zu installieren.
- Kühlende Effekte, besonders an heißen Tagen und Sommernächten
- Höhere Artenvielfalt
- Ablagerung von Luftschadstoffen
- Retention vom Regenwasser

Hauptproblem in trockenen Regionen: Verfügbarkeit von Regenwasser

Mögliche Lösungen: Nutzung von Wasser aus Nachbardächern, alternative Bewässerungswasserquellen z.B. Grundwasser, Grauwasser

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**