



Technische
Universität
Braunschweig



INSTITUT FÜR GEOÖKOLOGIE
Klimatologie und
Umweltmeteorologie

Mikrometeorologische Quantifizierung der Energiebilanz, der Verdunstung und des CO₂- Austausches eines extensiven Gründaches



Jannik Heusinger und Stephan Weber

Impressionen



Impressionen



Ein Gründach – viele Wirkungen

- Thermische Belastung
 - Niedrigere Oberflächentemperaturen
 - Minderung d. Lufttemperatur
- Lufthygiene
 - PM
 - Stickoxide
- Wasserrückhalt
 - Geringere Gefahr von Überschwemmungen
- Biodiversität
 - Habitat für seltene Tierarten
- Gebäudeklima/Energieeinsparung



Städtische Wärmeinsel (UHI)

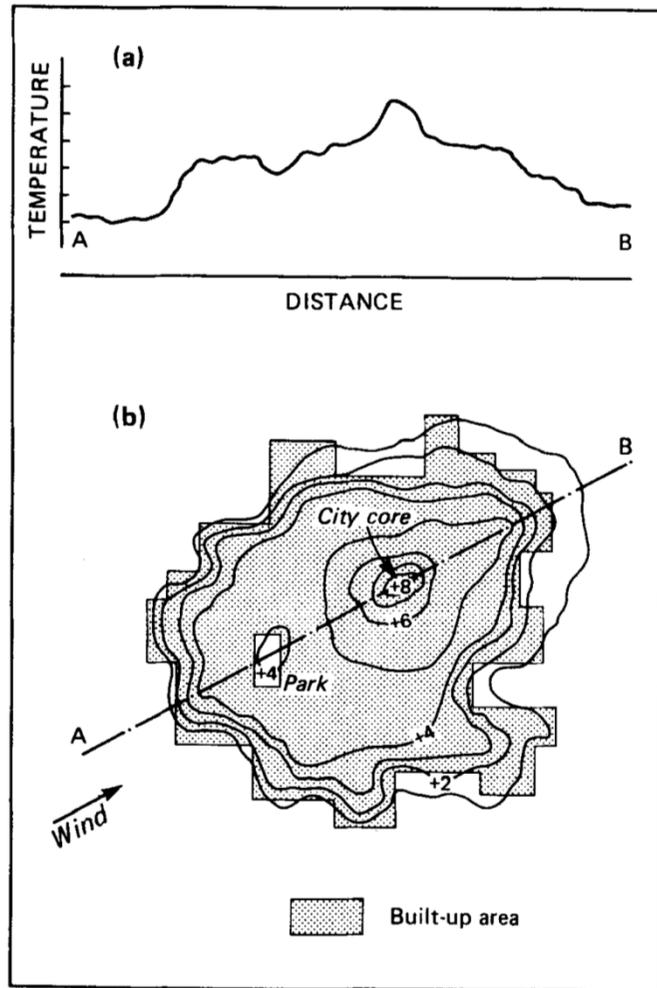


Abb.1: Veranschaulichung der städtischen Wärmeinsel.

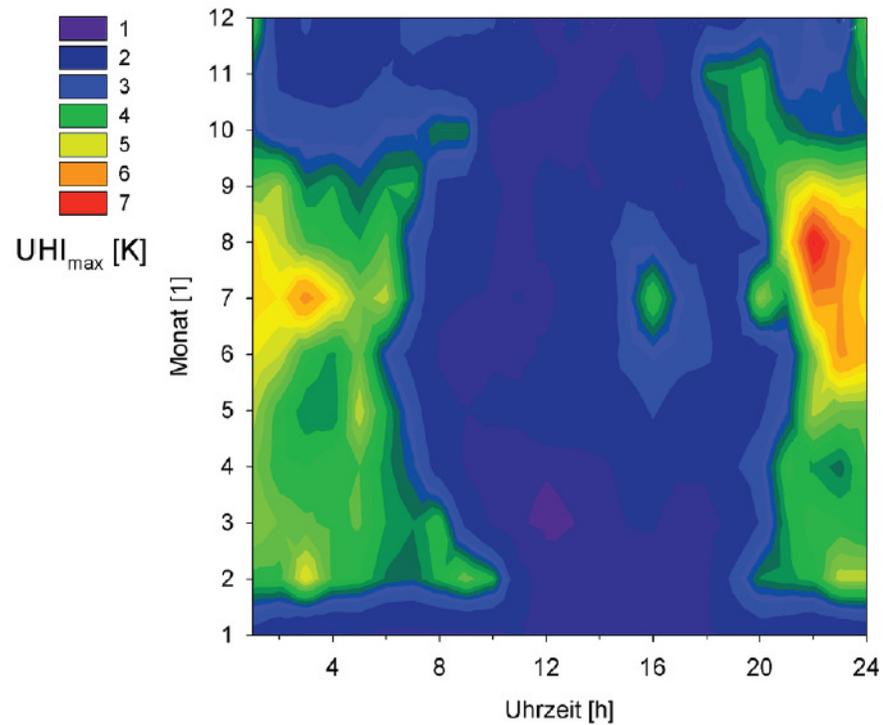


Abb.2: Thermoisoplethendiagramm der Wärmeinselintensität zwischen einer städtischen und einer Umlandklimastation in Braunschweig 2012.

Grüne Infrastruktur - Lufttemperatur



	Lokale Lufttemperatur (T_{lokal})	Lokale Lufttemperatur (T_{lokal})	Lokale Lufttemperatur (T_{lokal})	Lokale Lufttemperatur (T_{lokal})	Lokale Lufttemperatur (T_{lokal})
Daten aus Fallstudien	Geringer als an unbegrünter Fassaden (Reduktion max. 1,3 °C fassadengebunden und 0,8 °C bodengebunden)	 -0,8 -0,4 0 0,4 °C	 -2 -1,5 -1 -0,5 0 °C	 -4 -3 -2 -1 0 °C	 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 (°C)
Quellen	(Wong et al. 2010)	(Heusinger 2013)	(Speak et al. 2013) - Messung in 30 cm über Dachniveau	(Gulyás et al. 2006; Georgi & Dimitriou 2010; Kjølgrøn & Montague 1998; Armson et al. 2012; Mayer et al. 2009; Ng et al. 2012; Taha et al. 1991; Shashuabar et al. 2010)	(Oded Potchter et al. 2006; Spronken-Smith & Oke 1998; Bongardt 2005; Bowler et al. 2010)

Gründach versus Bitumendach

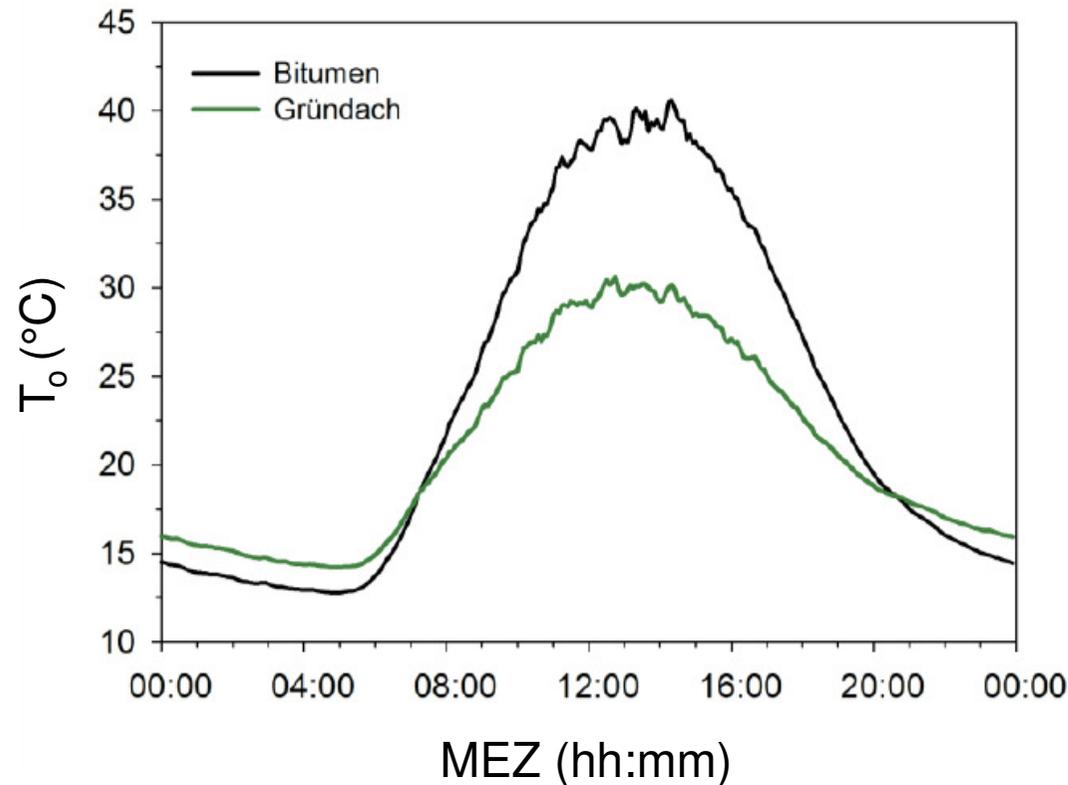
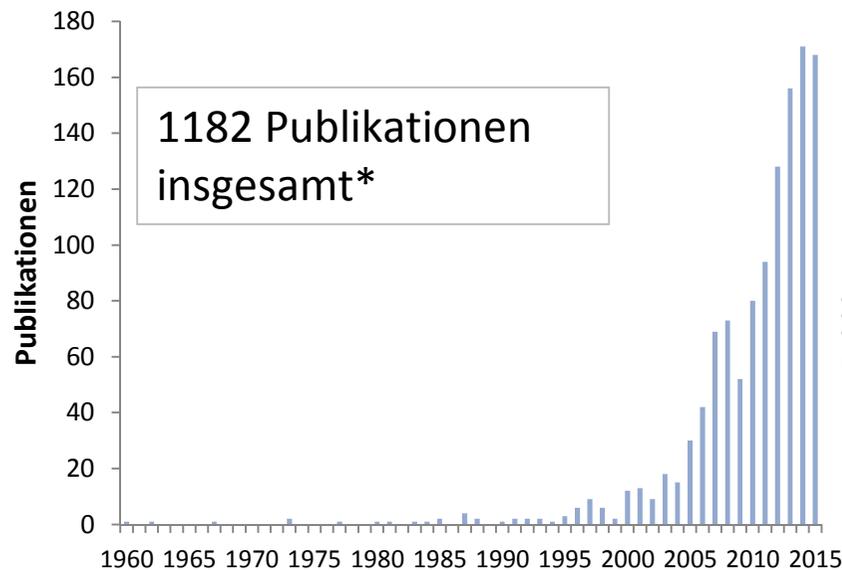


Abb.3: Oberflächentemperaturen eines auf dem Braunschweiger Rathaus befindlichen Gründaches verglichen mit denen eines benachbarten Bitumendaches im Tagesmittel für August 2012.

- unterschiedliche Energiebilanz und unterschiedliche thermische Materialeigenschaften der beiden Dachbedeckungen

Motivation

- Literatur besagt, dass Gründächer Wärme- und CO₂ Senken darstellen – empirische Quantifizierungen sind aber kaum vorhanden.



*basierend auf einer Scopus Datenbankrecherche. Begriffe wurden in Titel, abstract und keywords gesucht.

Ziel

- Inwiefern kann Dachbegrünung als Maßnahme zur Mitigation (CO₂-Aufnahme) und Anpassung (Verdunstungskühlung) an den Klimawandel in Städten dienen?
 - Können positive Eigenschaften der Begrünung während heißer und trockener Perioden aufrecht erhalten werden?
- Messung der Energiebilanz und des Austausches von CO₂ mittels Eddy-Kovarianz.

Untersuchungsgebiet

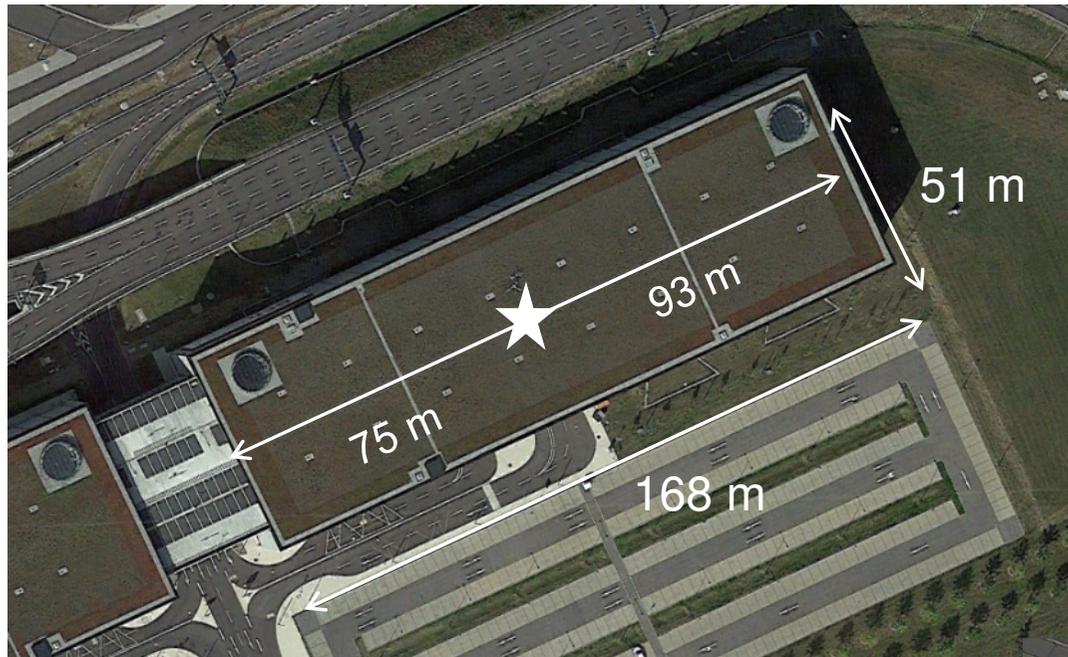
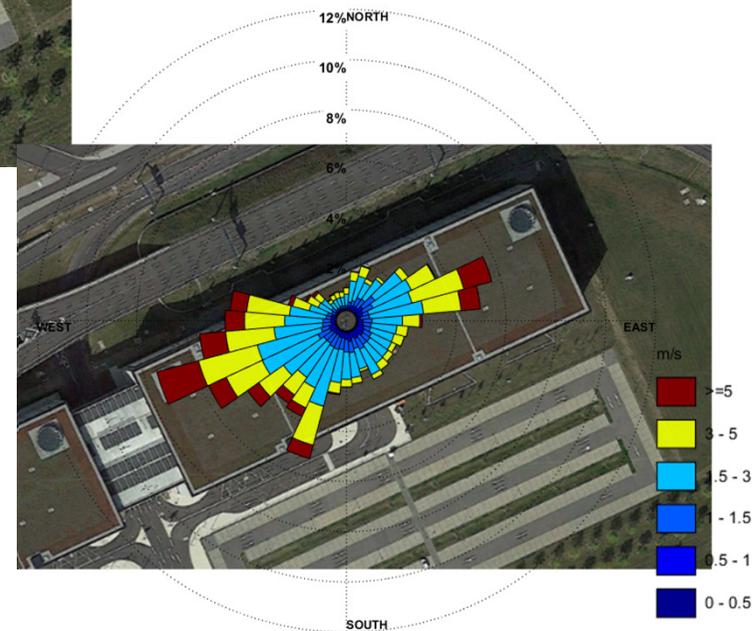


Abb.4: Luftbild und Größenangaben des Gründaches (Google Earth).

Parkhaus P7 BER
 Schönefeld
 Größe: ca. 8.600 m²
 Installation: Mai 2012
 Sedum und krautige Pflanzen



Heusinger und Weber (2017) 10

Messmethodik – Eddy Kovarianz



- Direkte Methodik zur Messung der Energiebilanz und des Austausches von CO_2 .
- Wie stark trägt das Untersuchungsgebiet zur Erwärmung (sensible Wärme) bzw. Kühlung (Verdunstung) der darüber streichenden Luftschichten bei?

Meteorologische Einordnung

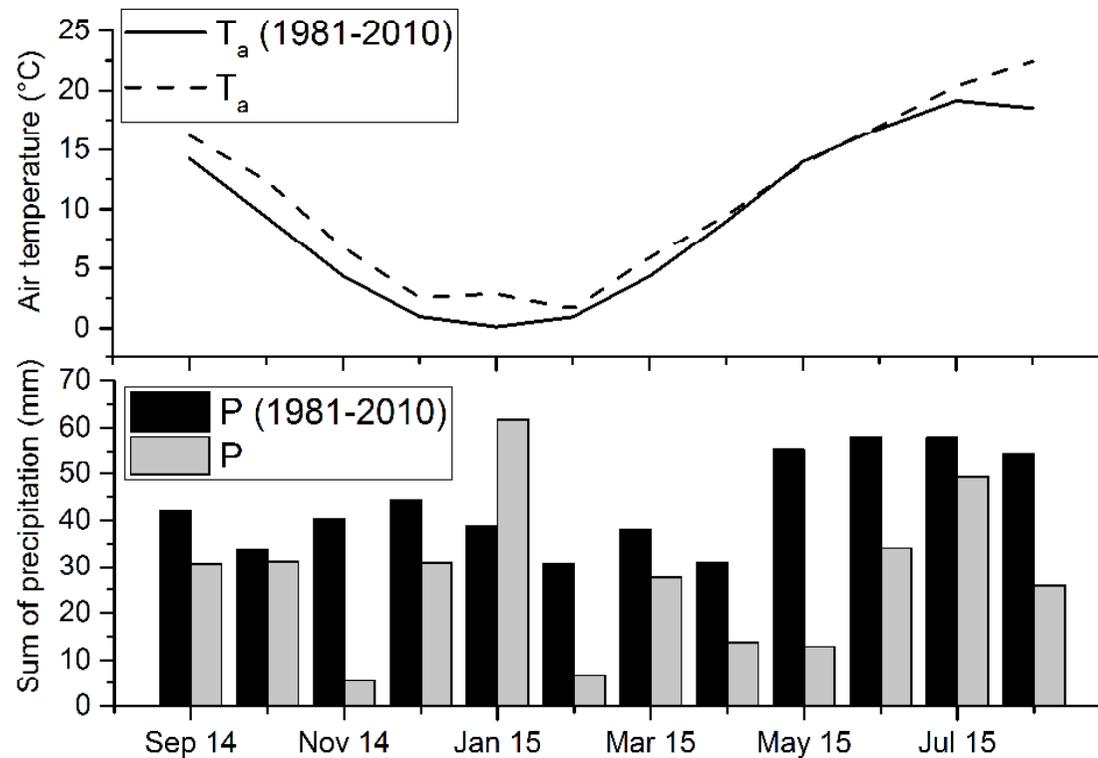


Abb.5: Niederschlag und Lufttemperatur verglichen mit langjährigem Mittel (1981-2010) in Berlin Schönefeld.

- Niederschlag: 63 % verglichen mit 1981-2010 (Schönefeld)
- Lufttemperatur: 1,6 °C höher als 1981-2010

Energiepartitionierung

Bowen-Verhältnis (Bo) = Verhältnis aus sensibler und latenter Wärme

$$Bo = \frac{Q_H}{Q_E}$$

Urban > 1 (bspw. Grimmond and Oke, 1995)

Rural < 1

Tab.1: Mittlere Tagessummen der Wärmebilanzglieder ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), ET (mm d^{-1}) und Bowen-Verhältnis.

	Q^*	Q_H	Q_E	Q_G	Bo	ET
JJA	7.53	4.59	2.22	0.05	2.07	1.09
Jahr	3.05	1.55	1.60	-0.07	0.97	0.77



Saisonaler Verlauf - Wärmeflüsse

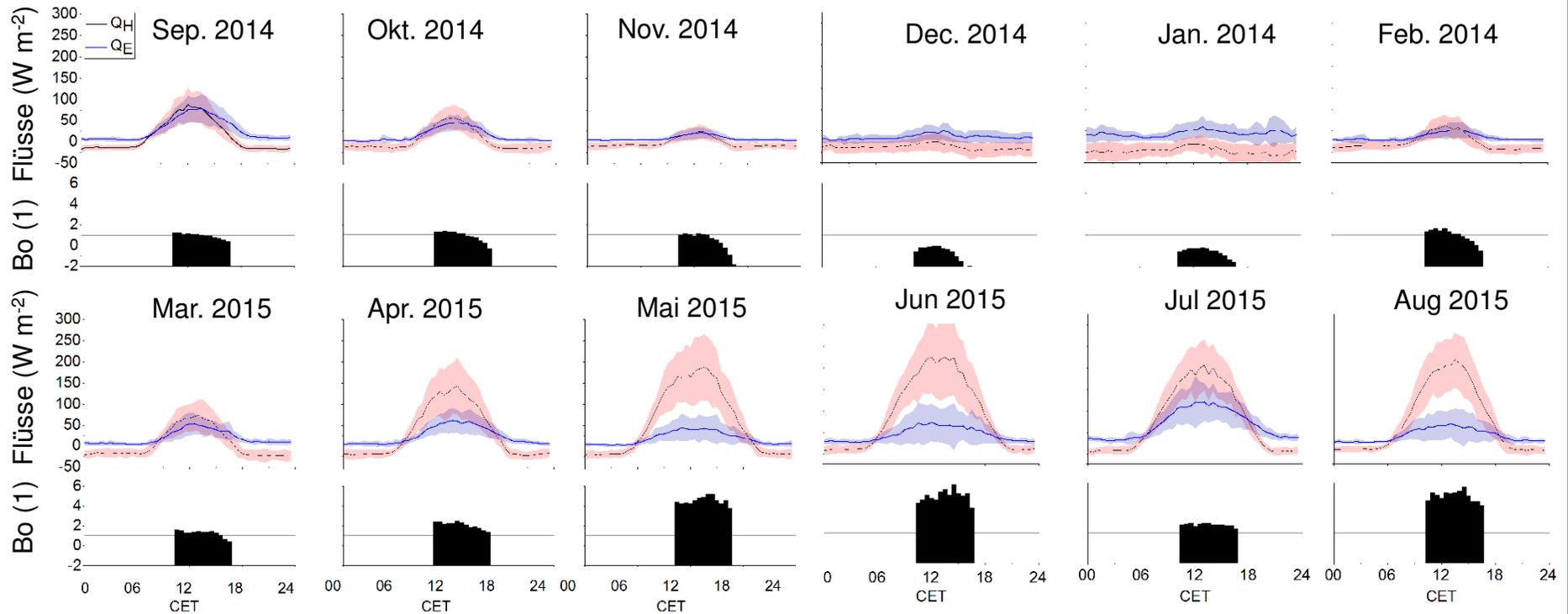
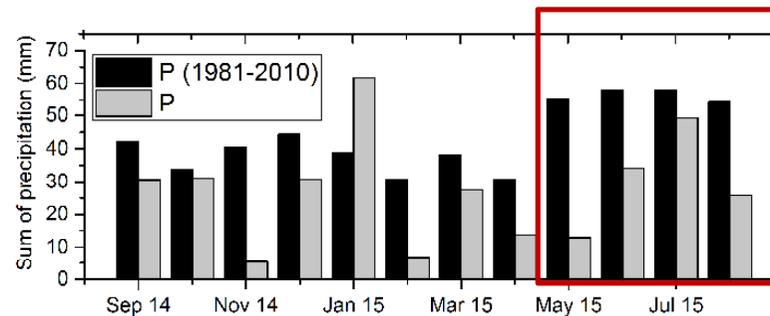


Abb.6: Mittlerer Tagesgang von Q_H , Q_E und Bowen-Verhältnis (Bo ; 10-16 CET) von Sep 2014 bis Aug 2015.



Fallstudie – Trocken-/Nassperiode

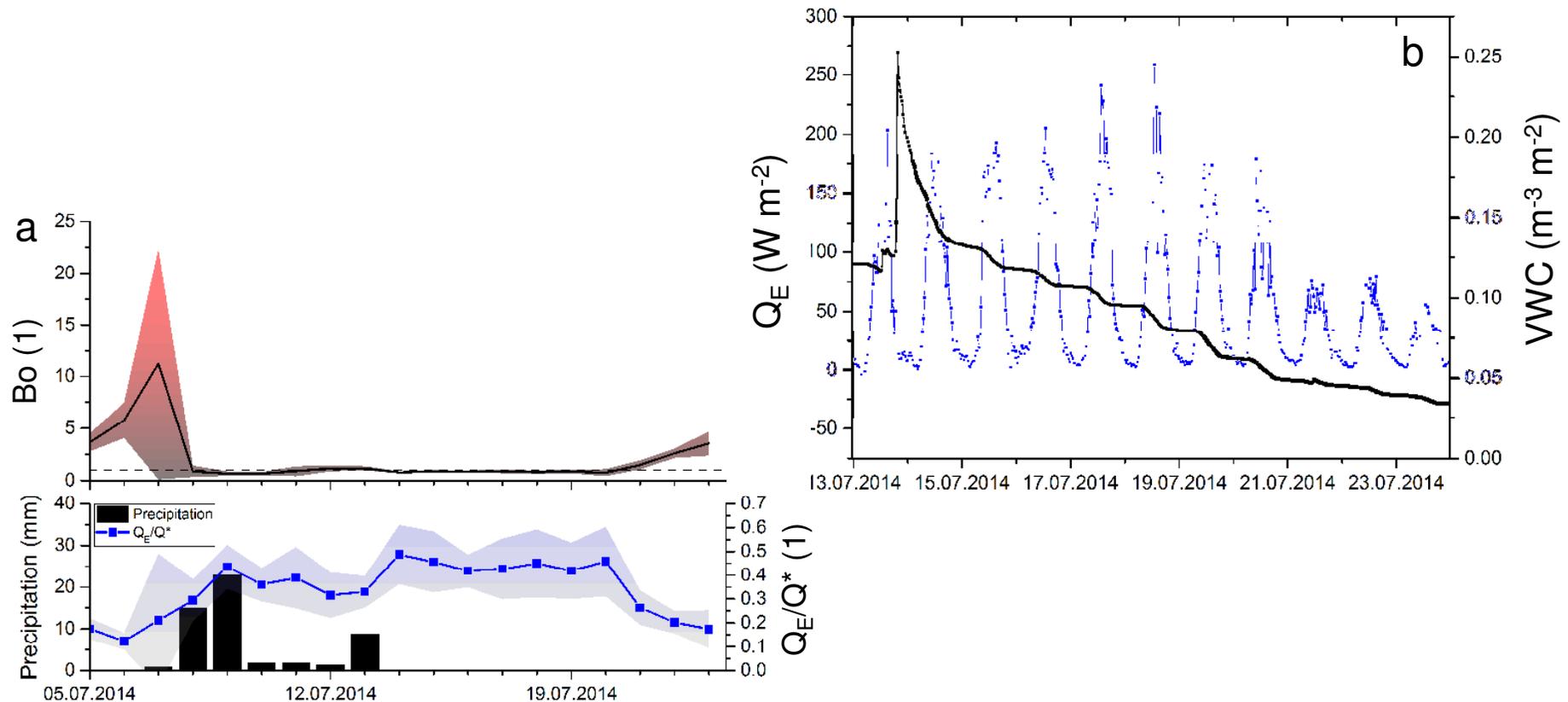


Abb.7: (a) Verlauf des Bowen-Verhältnisses (10-16 CET), Niederschlag und Q_E/Q^* (10-16 CET) während einer Nassperiode. (b) Verlauf von Q_E und Bodenfeuchte während Abtrocknungsphase.

- 17.07. 2014: $ET_{\max} = 3.24 \text{ mm d}^{-1}$
- $ET_{\max} = 3 \pm 3.9 \text{ mm d}^{-1}$

Fallstudie – Heiße Tage/Sommertage

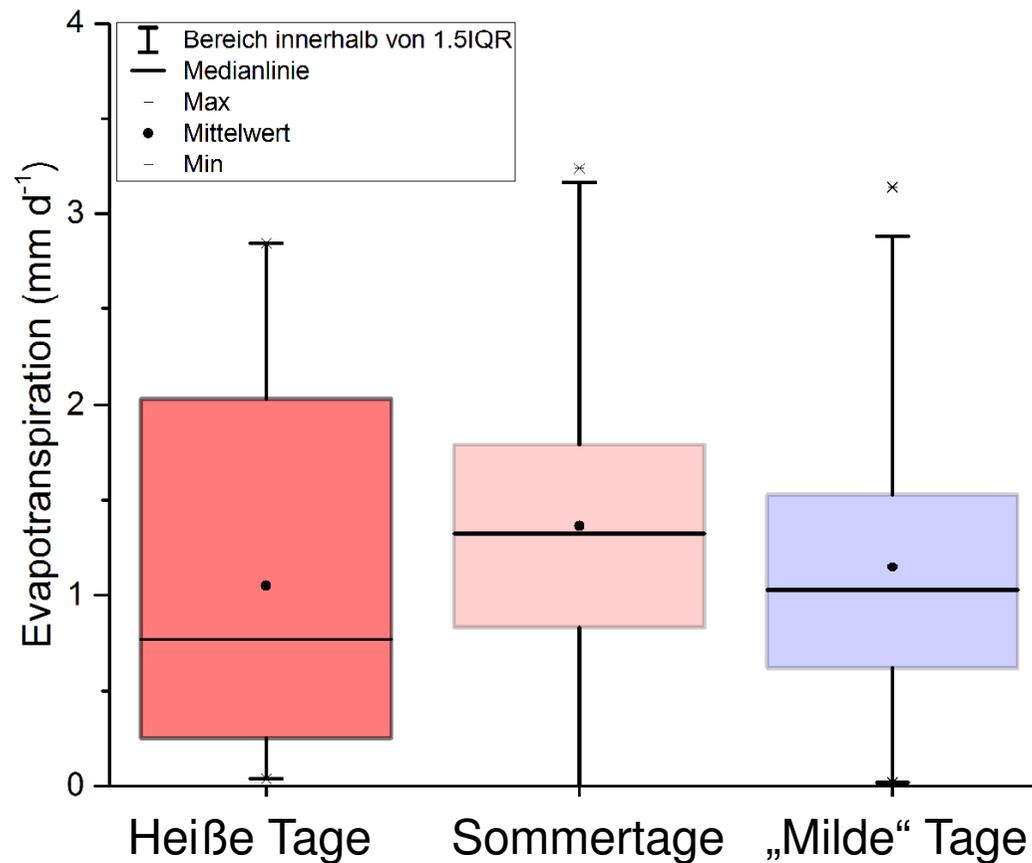


Abb.8: Verlauf der Evapotranspiration während heißer Tage (a), Sommertage (b) und „milde“ Tage (c).

Saisonaler Verlauf – CO₂

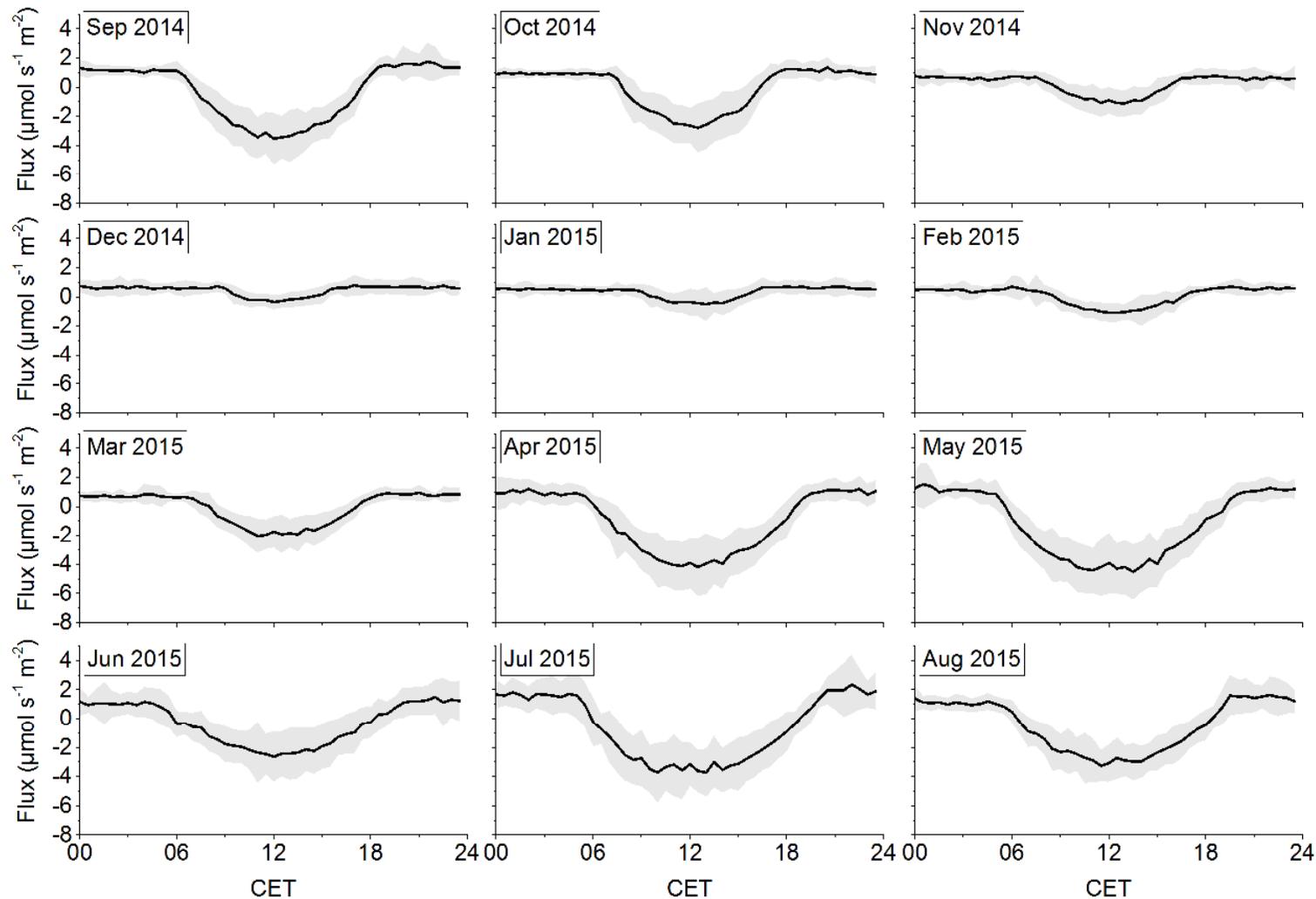
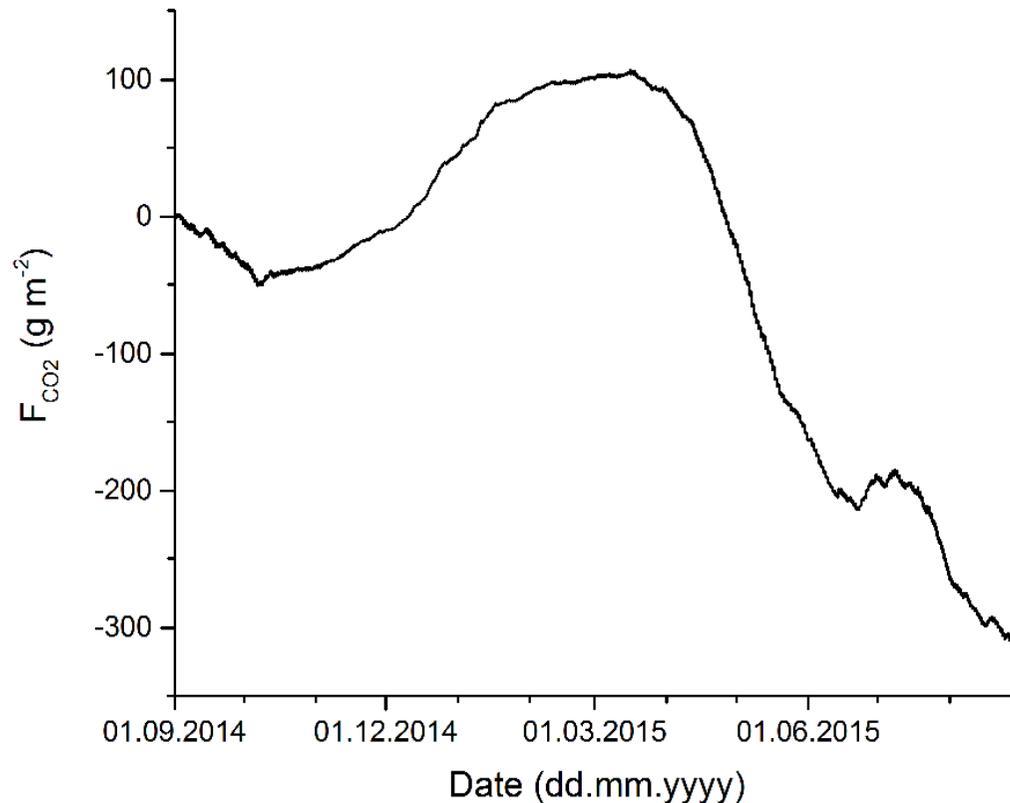


Abb.9: Mittlerer diurnaler Verlauf von CO₂-Flüssen von Sep 2014 bis Aug 2015.

Nettoökosystemaustausch – CO₂



➤ -85 g C m⁻² Jahr⁻¹

Vergleichswerte:

➤ Gründäcker:
-187.5 g C m⁻² Jahr⁻¹

➤ Waldstandorte:
-308 g C m⁻² Jahr⁻¹

➤ Graslandstandorte:
-150 g C m⁻² Jahr⁻¹

Abb.10: Nettoökosystemaustausch (g CO₂ m⁻²) von CO₂ im Laufe von 12 Monaten.

Zusammenfassung und Ausblick

- Erstmalige Eddy-Kovarianz Messung des Oberfläche-Atmosphäre Austausches eines Gründaches über ein Jahr.
- Energiebilanz wird in Sommermonaten durch sensible Wärme dominiert.
- Bo während Nassperioden <1 , steigt nach Unterschreiten eines Bodenfeuchte-Schwellwertes schnell auf urban-typische Werte an.
- Bo ist durch (nachhaltige) Bewässerung deutlich reduzierbar.
- Gründach ist eine CO₂-Senke ($-83 \text{ g C m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$).
- Keine Flächenkonkurrenz im Vergleich zu anderen Konzepten grüner Infrastruktur.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Literatur

Crawford, B., Grimmond, C. S. B., & Christen, A. (2011). Five years of carbon dioxide fluxes measurements in a highly vegetated suburban area. *Atmospheric Environment*, 45(4), 896-905.

Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental science & technology*, 43(19), 7564-7570.

Gilmanov, T. G., Soussana, J. F., Aires, L., Allard, V., Ammann, C., Balzarolo, M., ... & Cescatti, A. (2007). Partitioning European grassland net ecosystem CO₂ exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 121(1), 93-120.

Heusinger (2013). Untersuchung mikroklimatischer Aspekte von Dachbegrünungen mittels Messung und Modellierung. Masterarbeit. p. 98

Heusinger, J., & Weber, S. (2017). Surface energy balance of an extensive green roof as quantified by full year eddy-covariance measurements. *Science of The Total Environment*, 577, 220-230.

Marasco, D. E., Culligan, P. J., & McGillis, W. R. (2015). Evaluation of common evapotranspiration models based on measurements from two extensive green roofs in New York City. *Ecological Engineering*, 84, 451-462.

Pfoser N., Jenner N., Henrich J., Heusinger J., Weber S. (2013), Gebäude Begrünung Energie - Potenziale und Wechselwirkungen, Forschungsgesellschaft Landschaftsbau Landschaftsentwicklung e.V. (FLL), Bundesinstitut für Bau-,Stadt und Raumforschung (BBSR), p. 312