

Wegstreckenintegrierende CO₂-Messungen in Essen, NRW

Dipl.-Landschaftsökologe Christian Büns

Einführung und Zielsetzung

Städte stellen aufgrund der hohen Dichte an Emittenten (Straßenverkehr, Industrie, Hausbrand) und der deutlich verringerten Anzahl an Senken eine wesentliche Quelle für CO₂ dar (Kordowski & Kuttler 2010). Die urbane CO₂-Konzentration ist dabei eine sehr uneinheitliche und räumlich heterogene Größe (Henninger 2005; Ptak 2009).

Wegstreckenintegrierende Fernmessverfahren über solch heterogenen urbanen Flächen bieten hier die Möglichkeit, die räumliche und zeitliche Repräsentativität der CO₂-Messung zu verbessern. Im Stadtzentrum von Essen, NRW (570.000 Einwohner) wurde eine Wegstrecke zur langfristigen Erfassung der CO₂-Konzentration in der urbanen Grenzschicht installiert. Einflüsse der Meteorologie sowie der CO₂-Quellen und -Senken auf die urbane CO₂-Konzentration werden analysiert.

Untersuchungsgebiet und Methodik

Von Februar 2010 bis Februar 2011 wurde im dicht besiedelten und hoch verdichten Stadtzentrum von Essen (**Abb. 1+2**) kontinuierlich die CO₂-Konzentration mithilfe eines wegstreckenintegrierenden Messverfahrens erfasst.

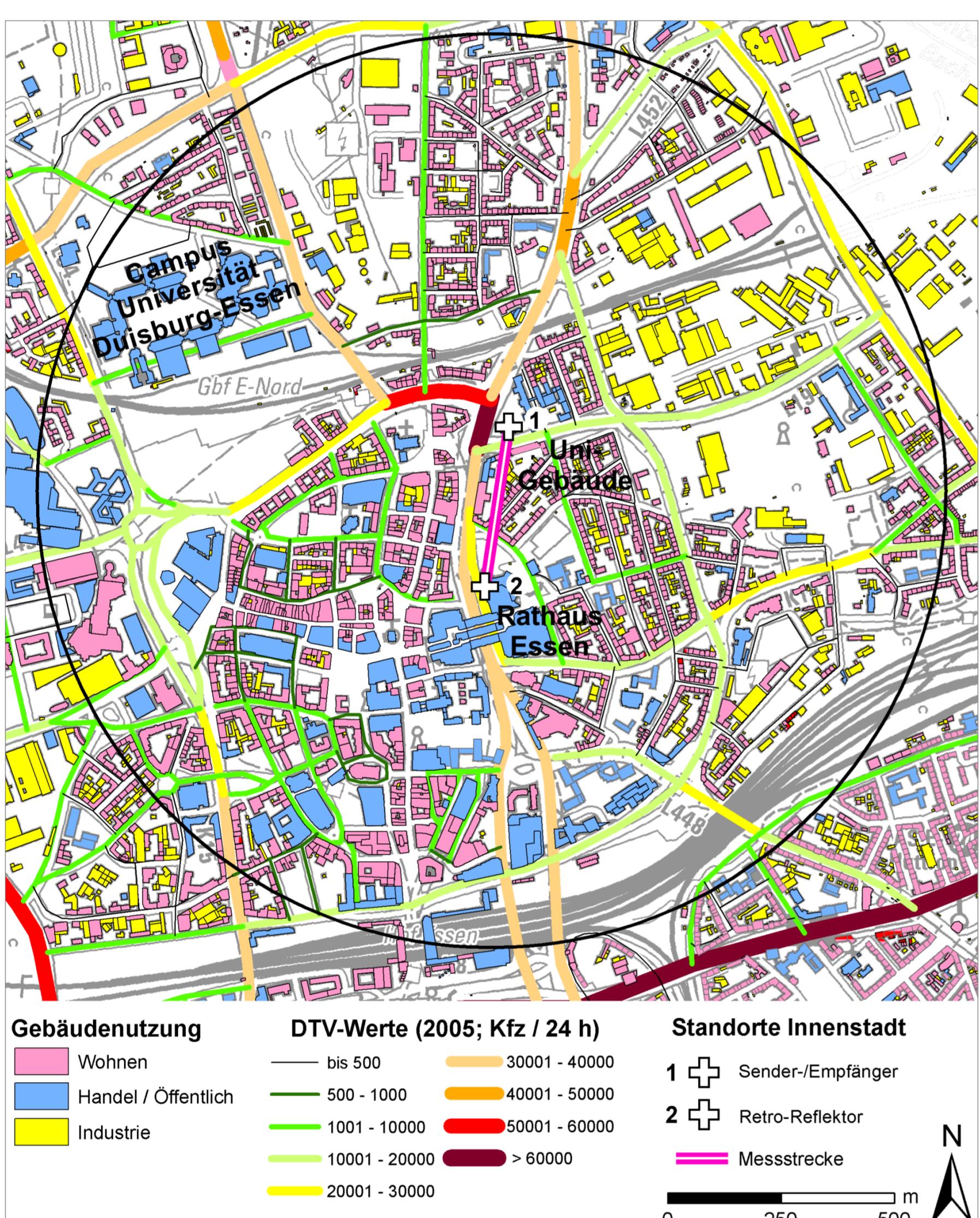


Abb. 1: Gebäudenutzung und Verkehrsstärken am urbanen Messstandort in der Innenstadt Essens. Der Kreis markiert einen Radius von 1 km Umkreis um die Messstrecke.

Das hierzu genutzte Messgerät (LasIR SB210; Unisearch Ass., Kanada) sendet einen nahinfraroten Strahl ($\lambda = 1.581 \text{ nm}$, Wellenzahl $6.325,1 \text{ cm}^{-1}$) auf eine 704 m lange ($2 \times 352 \text{ m}$ über einen Retro-Reflektor) offene Messstrecke. Über die Absorption an den CO₂-Molekülen wird so die CO₂-Konzentration bestimmt werden.

Die offene horizontale Messstrecke verläuft auf einer Höhe von 34 m ü. Gr., wobei sich Sende-/Empfangeinheit sowie Retro-Reflektor auf den Dächern unterschiedlicher Gebäude mit der gleichen Höhe befinden. Die Umgebung der Messstrecke ist geprägt durch Hauptverkehrsstraßen mit hohen Verkehrsängen (bis zu $>60.000 \text{ Kfz/d}$) sowie durch eine Mischung aus städtischer Wohnbebauung, Gewerbenutzung und Industrieflächen (**Abb. 1+2**). Grünflächen machen einen nur geringen Anteil von etwa 5 % aus.

Eine Punktmessung in Bodennähe (2 m ü. Gr.) an einem suburbanen Standort in etwa 5 km Entfernung westlich der Essener Innenstadt dient als (größtenteils urban unbeeinflusste) Vergleichsgröße.

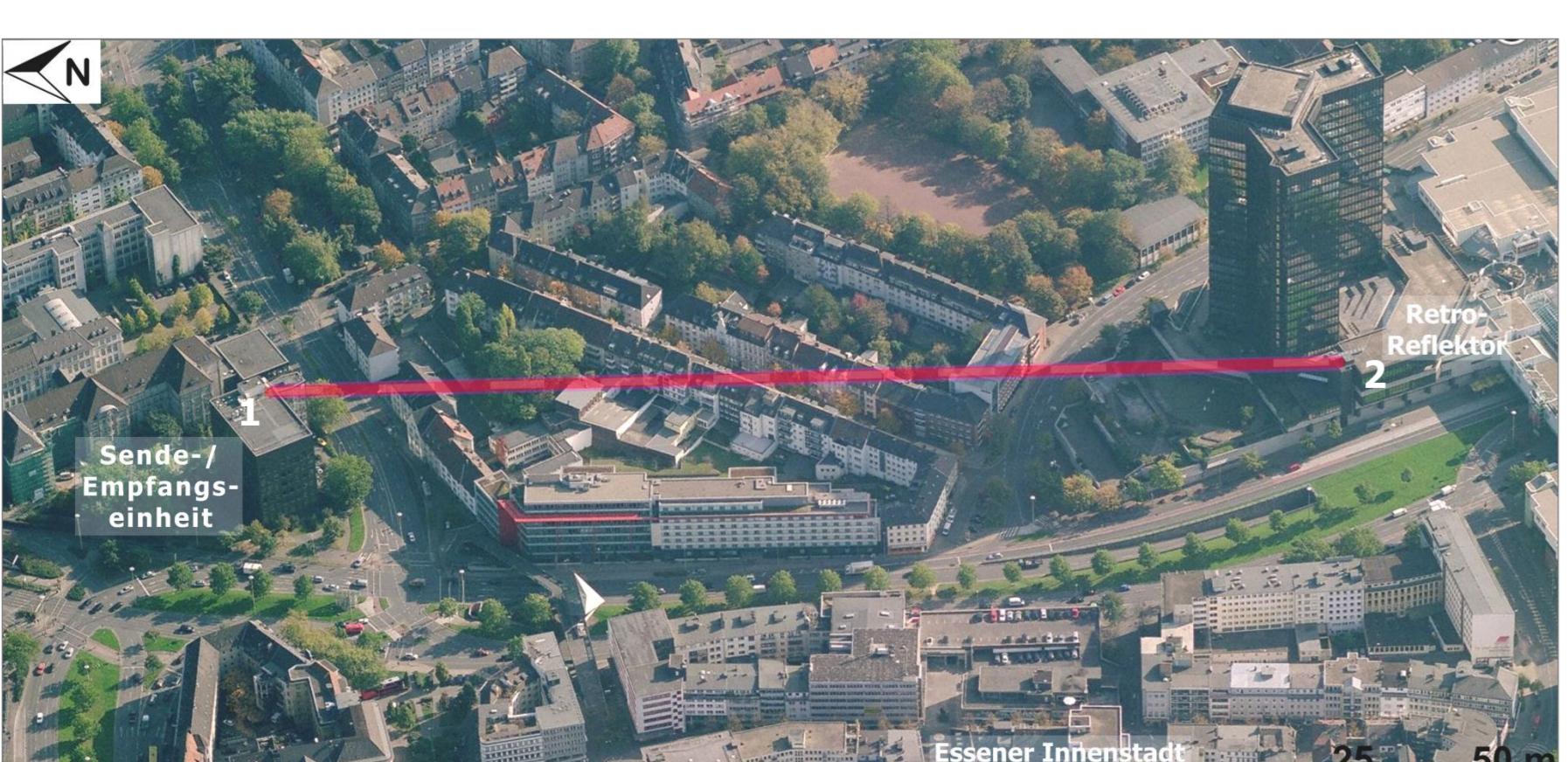


Abb. 2: Schrägangsicht der Messstrecke der wegstreckenintegrierenden CO₂-Messung in der Innenstadt Essens. Die Messstrecke (rote Linie) hat eine Länge von $2 \times 352 \text{ m} = 704 \text{ m}$ in einer Höhe von 34 m ü. Gr.

Ergebnisse

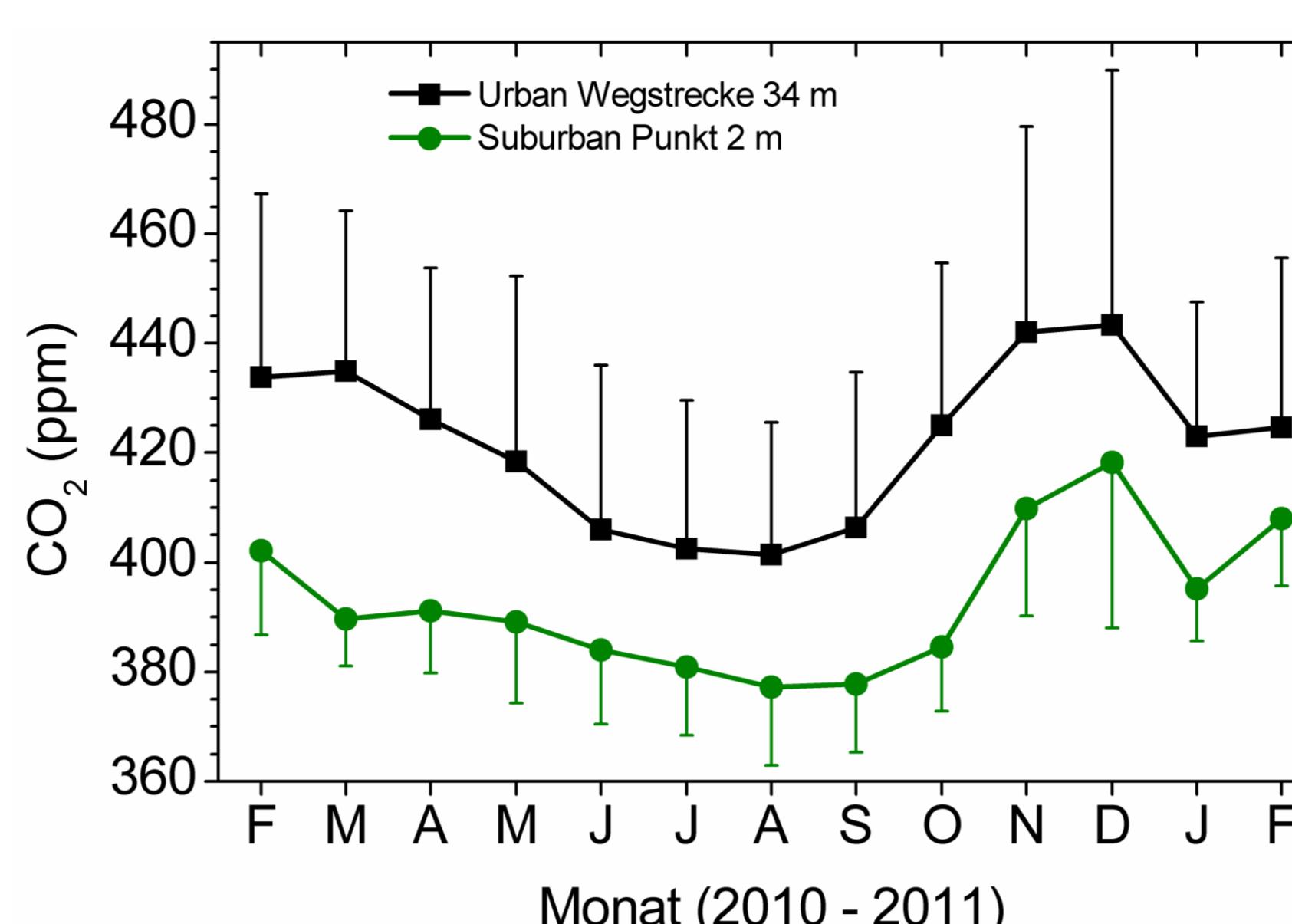


Abb. 3: Monatsmittelwerte und einfache Standardabweichungen der CO₂-Konzentration der urbanen wegstreckenintegrierenden Messung und einer Punkt-Vergleichsmessung in suburbaner Umgebung am Stadtrand von Essen für den Messzeitraum Februar 2010-Februar 2011.

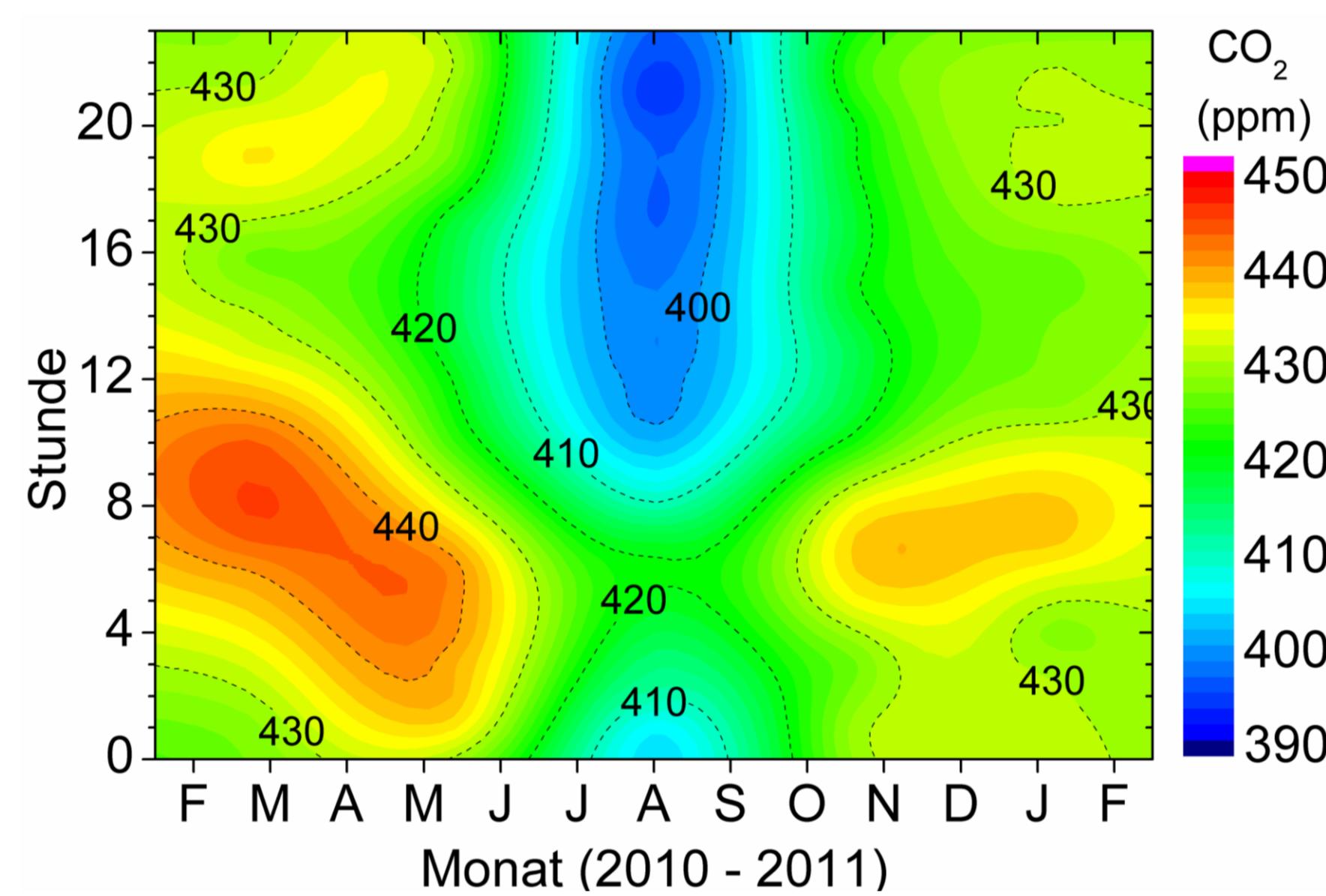


Abb. 4: Diurnaler Verlauf der mittleren CO₂-Konzentration der urbanen wegstreckenintegrierenden Messung im Jahresgang für den Messzeitraum Februar 2010 - Februar 2011.

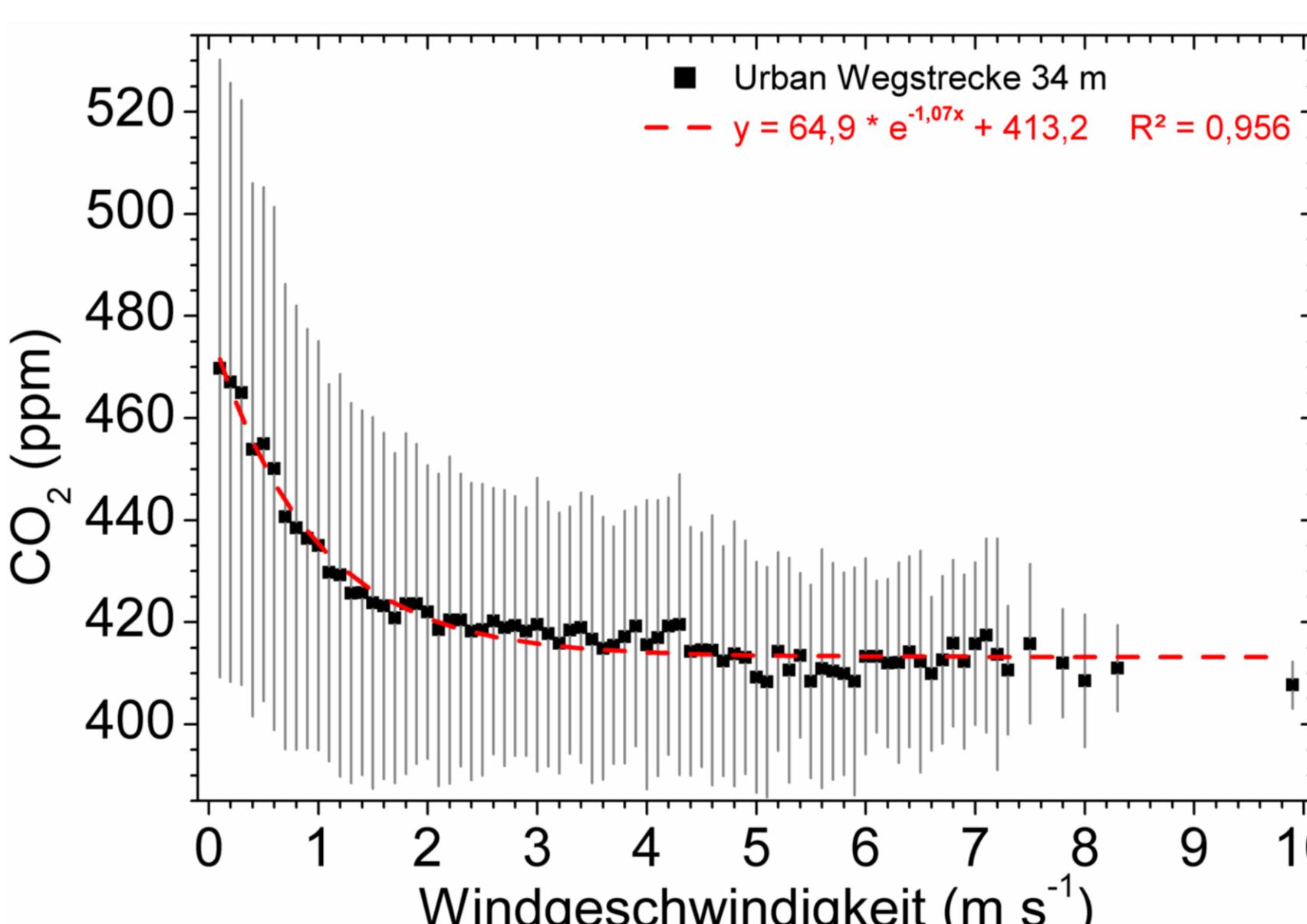


Abb. 5: Mittelwerte und einfache Standardabweichungen der CO₂-Konzentration der urbanen wegstreckenintegrierenden Messung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit für den Messzeitraum Februar 2010-Februar 2011.

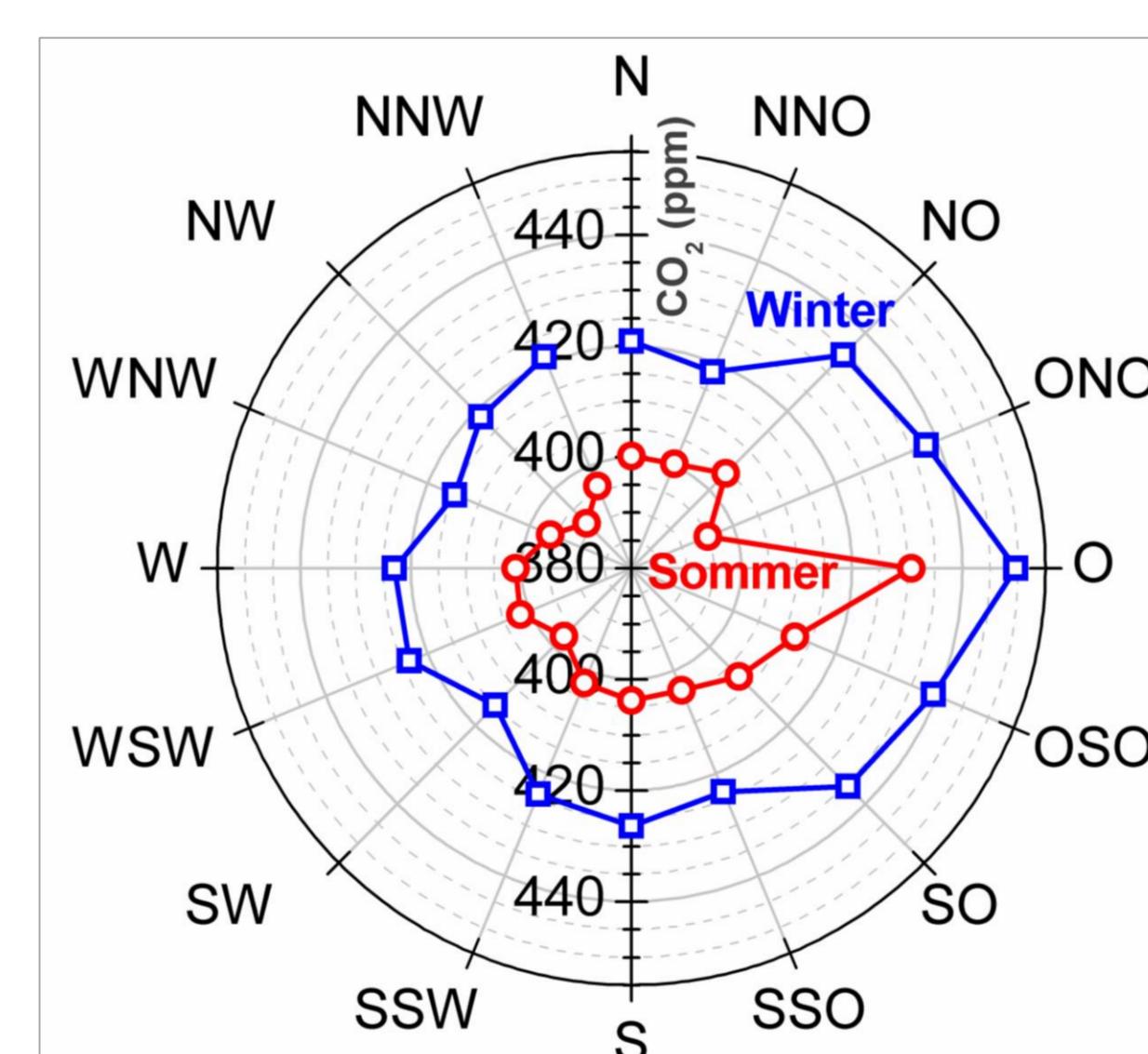


Abb. 6: Mittelwerte der CO₂-Konzentration der urbanen wegstreckenintegrierenden Messung in Abhängigkeit zur Windrichtung im Vergleich Winter (Feb 2010; DJF 2010/11) zu Sommer (JJA 2010).

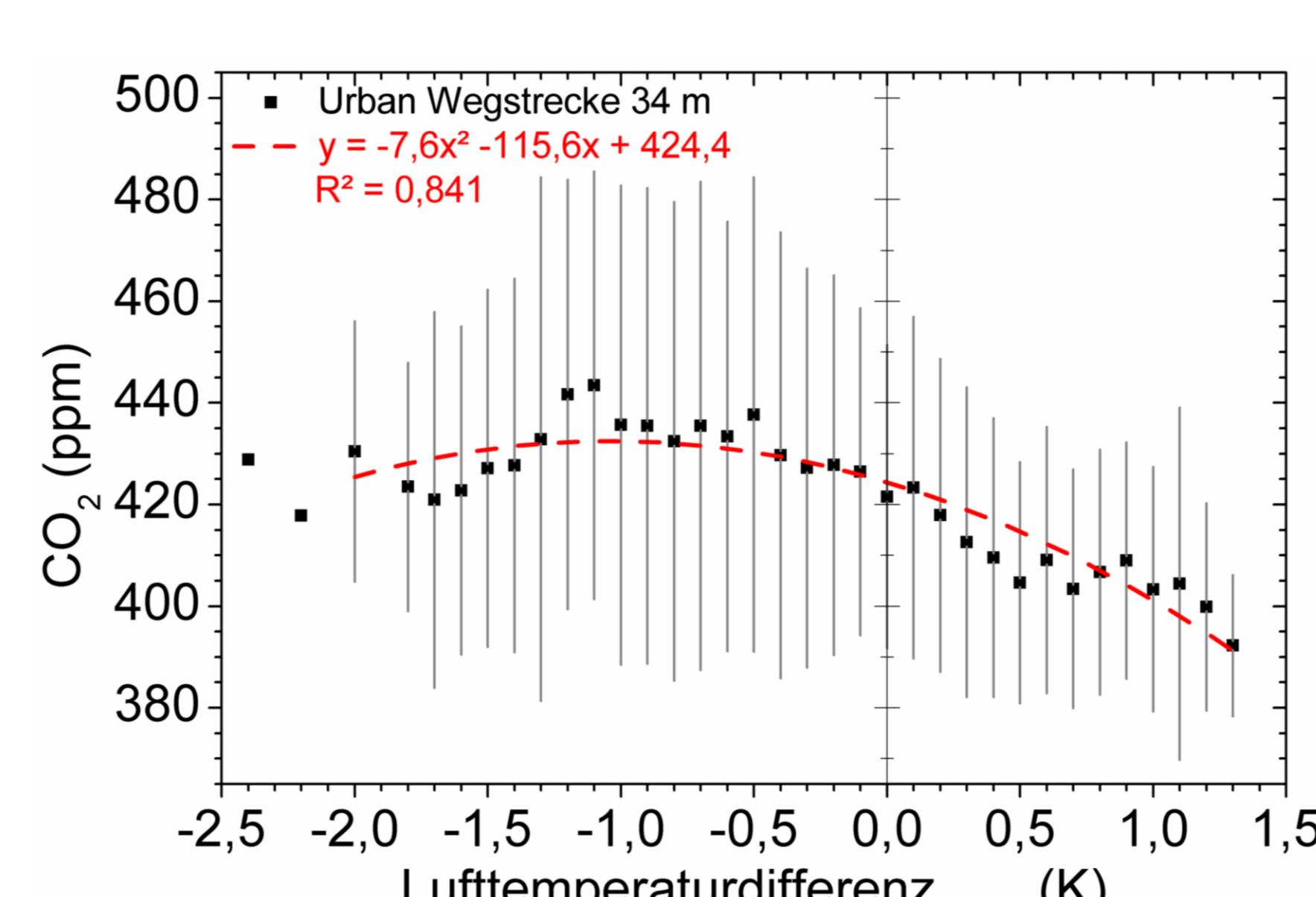


Abb. 7: Mittelwerte und einfache Standardabweichungen der CO₂-Konzentration der urbanen wegstreckenintegrierenden Messung in Abhängigkeit von der Lufttemperaturdifferenz 2-10 m für den Messzeitraum Februar 2010 - Februar 2011.

Über die 13-monatige Messphase ergab sich ein typischer Jahresgang der CO₂-Konzentration mit Monatsmittelwerten zwischen 401 und 443 ppm mit höheren Werten in den Wintermonaten und niedrigeren im Sommer (**Abb. 3**). Die vergleichende Punktmessung am suburbanen Standort liefert einen ähnlichen Verlauf der Werte, allerdings auf einem deutlich geringeren Konzentrationsniveau (urban etwa 7 % höhere Werte im Mittel für den Gesamtzeitraum).

Im Tagesverlauf lagen die höchsten CO₂-Konzentrationen in den frühen Morgenstunden, zumeist kurz vor Sonnenaufgang, das tägliche Minimum wurde am Nachmittag, im Sommer auch in den Abendstunden erreicht (**Abb. 4**). Diese diurnalen und annuellen Verläufe spiegeln in erster Linie die photosynthetische Aktivität der Vegetation im Jahres- und Tagesrhythmus wider. Hinzu kommen im urbanen Bereich die CO₂-Quellen, vor allem der Straßenverkehr und im Winter zusätzlich der Hausbrand. Im Tagesverlauf spielt aber auch die atmosphärische Stabilität eine Rolle, die nachts bei stabiler Schichtung zur Akkumulation emittierter Kohlendioxids führt und tagsüber bei labiler Schichtung in einer mächtigeren Mischungsschicht zu einem Verdünnungseffekt.

Unter den meteorologischen Größen kann besonders die Windgeschwindigkeit die gemessene urbane CO₂-Konzentration stark beeinflussen. Je höher die Windgeschwindigkeit, desto mehr nähern sich die CO₂-Werte einem relativ niedrigen Hintergrundwert an (**Abb. 5**).

Die Windrichtung kann für einen Transport von mit CO₂ angereicherter Luft in die Messstrecke sorgen. Am urbanen Standort zeigen sich vor allem bei östlicher Anströmung erhöhte CO₂-Konzentrationen (**Abb. 6**). Hier befinden sich größere Industrieanlagen mit hohen jährlichen Emissionsmengen von CO₂ (**Abb. 1**).

Der vertikale Temperaturgradient der bodennahen Luftsicht – hier von 2 bis 10 m ü. Gr., gemessen am Campus der Universität Duisburg-Essen (**Abb. 1**) – liefert Aussagen zur thermischen Schichtung und damit zur Stabilität. Negative Differenzen zeigen Temperaturinversionen, die zu weiten Teilen den vertikalen Austausch von Luft und ihren Inhaltsstoffen unterbinden.

Mit Zunahme der thermischen Stabilität ($\Delta T < 0 \text{ K}$) nimmt die CO₂-Konzentration an der urbanen wegstreckenintegrierenden Messung auch in 34 m ü. Gr. zu. Bei besonders starken Inversionen zwischen 2 und 10 m ü. Gr. ($\Delta T < -1,2 \text{ K}$) erreicht das CO₂ aus den bodennahen Quellen (Respiration der Vegetation, des Bodens sowie Straßenverkehr) die Messung in 34 m ü. Gr. jedoch nicht mehr und es treten vergleichsweise geringere Konzentrationen auf (**Abb. 7**).

Schlussfolgerungen

Lokale innerstädtische CO₂-Quellen (Industrie, Hausbrand, Straßenverkehr) sorgen generell für eine Erhöhung der urbanen CO₂-Konzentration gegenüber dem Umland, meteorologische Größen können diesen Einfluss jedoch dämpfen oder verstärken. Während Punktmessungen nur einen geringen räumlichen Bereich der urbanen CO₂-Konzentration erfassen können, ermöglicht das wegstreckenintegrierende Messverfahren die Qualität der Aussagen zur räumlichen Verteilung der urbanen CO₂-Konzentration deutlich zu verbessern.

Literatur

Büns, C. & Kuttler, W. (2012): Path-integrated measurements of carbon dioxide in the urban canopy layer. *Atmospheric Environment* 46, 237-247.

Henninger, S. (2005): Analyse der atmosphärischen CO₂-Konzentrationen am Beispiel der Stadt Essen. In: *Essener Ökologische Schriften*, Bd. 23, Westarp-Wissenschaften, 192 S.

Kordowski, K. & Kuttler, W. (2010): Carbon dioxide fluxes over an urban park area. *Atmospheric Environment* 44 (23), 2722-2730.

Ptak, D. (2009): Bodennahe CO₂-Konzentrationen in zwei Städten unterschiedlicher Topographie. In: *Essener Ökologische Schriften*, Bd. 28, Westarp-Wissenschaften, 165 S.

Kontakt:

Dipl.-Landschaftsökologe Christian Büns (Christian.Buens@uni-due.de)
Universität Duisburg-Essen, Campus Essen
Fakultät für Biologie: Angewandte Klimatologie und
Landschaftsökologie
Schützenbahn 70, 45127 Essen
<http://www.uni-due.de/klimatologie>