

Die städtische Wärmeinsel und die städtische Kälteinsel: Einige Beispiele aus den großen Ballungsräumen der USA

geschrieben von Chris Frey | 30. April 2026

Roy W. Spencer, Ph. D. from his [Global Warming Blog](#)

In den letzten Monaten habe ich unsere neuartige Methode zur Quantifizierung des städtischen Wärmeinseleffekts (UHI) auf die Lufttemperatur angewendet, wobei ich nun den auf Landsat-Daten basierenden Anteil versiegelter Flächen (IS) als Indikator für die Urbanisierung herangezogen habe. Dies ist eine Anpassung unserer veröffentlichten [Forschungsarbeit](#), in der wir die Bevölkerungsdichte (population density; PD) als Proxy für die Urbanisierung verwendeten und zeigten, dass etwa 60 % des Erwärmungstrends in den USA seit Ende des 19. Jahrhunderts in städtischen und vorstädtischen Gebieten auf den Anstieg der Bevölkerungsdichte zurückzuführen sind. In dieser Studie verwendeten wir nicht homogenisierte (Roh-)Temperaturdaten des GHCN; es bleibt unklar, inwieweit die von der NOAA, Berkeley BEST und anderen durchgeführten Homogenisierungsverfahren diesen verfälschenden Erwärmungseffekt beseitigt haben.

Ein wichtiger Aspekt der auf der Bevölkerungsdichte basierenden Forschung war, dass der UHI-Effekt auf die Erwärmungstrends in den USA nach etwa 1960 weitgehend verschwand. Wir haben für diese Studie die Bevölkerungsdichte herangezogen, da es globale Rasterdatensätze zur Bevölkerungsdichte mit einer räumlichen Auflösung von etwa 10 km gibt, die mehrere Jahrhunderte zurückreichen. Es handelte sich also um eine Entscheidung aufgrund der Datenverfügbarkeit.

Der physikalisch direktere Indikator für die Urbanisierung im Zusammenhang mit dem UHI-Effekt ist jedoch der Anteil der Fläche, der von undurchlässigen Oberflächen (hauptsächlich Straßen, Parkplätze, Gebäude usw.) bedeckt ist. Es gibt mittlerweile Landsat-basierte Datensätze zur IS-Bedeckung in den USA mit hoher räumlicher Auflösung (~30 m), allerdings erst seit 1985, als die Qualität der Landsat-Daten für solche Auswertungen ausreichend war. Dieser Beitrag befasst sich mit einigen Ergebnissen, die auf diesen IS-Daten basieren. Hier ist ein Beispiel für IS-Daten für den Großraum New York im Jahr 2024:

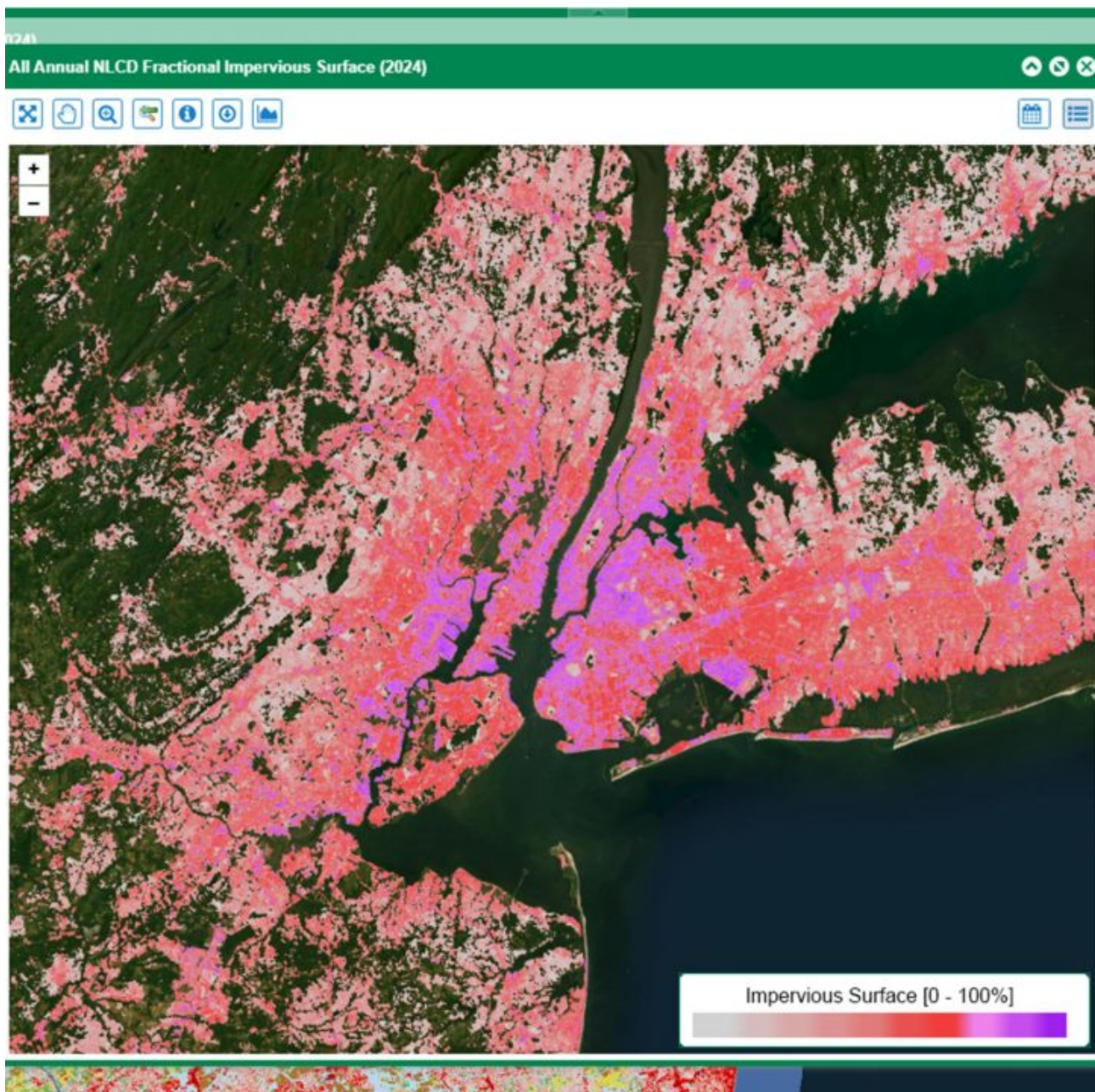


Abb. 1: Auf Landsat-Daten basierender Anteil versiegelter Flächen (IS) im Großraum New York City, basierend auf Daten aus dem Jahr 2024. (Quelle: <https://www.mrlc.gov/viewer/>).

Konkret untersuche ich die nach Gesamtbevölkerung geordneten größten statistischen Metropolregionen (MSAs), um die durchschnittlichen Auswirkungen des städtischen Wärmeinseleffekts (UHI) im Sommer (JJA) auf die täglichen Höchsttemperaturen (T_{\max}) und Tiefsttemperaturen (T_{\min}) zu quantifizieren. Ich berechne diese Effekte getrennt für extrem heiße Tage (~97. Perzentil) und nicht extrem heiße Tage, was zu einigen interessanten Ergebnissen führt. Die Analysen basieren auf allen verfügbaren GHCN-Tagesdaten aus den Sommern von 1985 bis 2025 in einem Umkreis von 40 bis 100 km um den ungefähren geomittigen Mittelpunkt der großen Ballungsräume.

Die (für mich) überraschenden Auswirkungen von Höhenlage, nächtlicher Bewässerung sowie Tagesbrisen vom Meer und von Seen

Höhenlage

Was mir an der Analyse großer Datensätze besonders gefällt ist, wenn ich etwas entdecke, das mich überrascht ... auch wenn es mich eigentlich nicht hätte überraschen dürfen. Der erste Effekt betraf die Höhe. Wir alle wissen, dass die Temperatur in der Troposphäre mit zunehmender Höhe abnimmt. Aus diesem Grund haben andere UHI-Studien gefordert, dass städtische Messstationen auf Höhen liegen, die sich nicht wesentlich von denen ländlicher Standorte unterscheiden. Als „Goldstandard“ galt ein Höhenunterschied von höchstens 10 m oder 30 m.

Das Problem bei diesem Standard ist, dass er die Anzahl der verfügbaren GHCN-Stationen stark einschränkt, die analysiert werden können. Da sich der UHI-Effekt oft nicht wesentlich von stationsspezifischen Verzerrungen aufgrund anderer Faktoren unterscheidet, benötigt man so viele Stationen wie möglich, um das Rauschen zu unterdrücken und das UHI-Signal herauszufiltern. Ich habe bisher einen eher lockeren Wert von 100 m bis 250 m verwendet, aber mir wurde nach und nach klar, dass dies zu einer Verzerrung der Ergebnisse führte.

Warum eine Verzerrung und nicht einfach nur Rauschen aufgrund von Höhenunterschieden? Als ich die Liste der größten US-Metropolen durchging, stellte ich fest, dass praktisch alle eines gemeinsam haben: Sie liegen im Durchschnitt auf einer niedrigeren Höhe als die umliegenden ländlichen Gebiete. Historisch gesehen macht dies Sinn, da Großstädte ursprünglich in der Nähe großer Gewässer entstanden, um den Transport zu erleichtern: am Meer, an großen Flüssen und an großen Seen, die alle tiefer liegen als ihre Umgebung. Das bedeutet, dass ein Teil dessen, was wir als städtischen Wärmeinseleffekt wahrnehmen, oft auf Höhenunterschiede zurückzuführen ist. Manchmal gibt es kein großes Gewässer (z. B. in Las Vegas), aber aus verschiedenen praktischen Gründen werden Städte selten in den Bergen gebaut; sie liegen stattdessen in den Niederungen.

Daher habe ich in meinen Berechnungen ein Verfahren der multiplen Regression angewendet, um den Einfluss der Höhenlage von dem der versiegelten Bodenfläche zu trennen. Dies ermöglicht es mir, alle verfügbaren Messstationen unabhängig von ihrer Höhenlage zu verwenden, was dazu beiträgt, das Rauschen durch andere, nicht mit dem städtischen Wärmeinseleffekt zusammenhängende Einflüsse auf die gemessenen Lufttemperaturen zu unterdrücken.

Nächtliche Bewässerung

Ich habe außerdem festgestellt, dass die meisten Städte im Westen der USA merkwürdige UHI-Effekte aufweisen, insbesondere an extrem heißen Tagen. Der größte Teil des US-Westens ist durch sommerliche Trockenheit gekennzeichnet, die dort ein beständiges Wettermerkmal darstellt. Ich

bin mir mittlerweile ziemlich sicher, dass diese merkwürdigen Ergebnisse in vielen Fällen auf die nächtliche Bewässerung der Vegetation zurückzuführen sind, die an extrem heißen Tagen zunimmt.

Meeres- und Seebrisen

In mehreren Großstädten treten tagsüber starke Meeresbrisen (z. B. in Los Angeles) oder Seebrisen (z. B. in Chicago) auf. Diese wirken der Erwärmung durch den städtischen Wärmeinseleffekt entgegen. Wie wir sehen werden, überwiegt im Fall von Los Angeles die kühlende Meeresbrise fast vollständig gegenüber jeglicher UHI-Erwärmung.

Einige Ergebnisse aus den wichtigsten Ballungsräumen

Meine Vorgehensweise basiert auf allen verfügbaren GHCN-Stationspaaren für jeden Sommertag in den Jahren 1985 bis 2025. Für jedes Stationspaar berechne ich die Temperaturunterschiede (T_{\max} und T_{\min} , jeweils separat) sowie die Unterschiede in der durchschnittlichen versiegelten Flächenbedeckung auf einer Fläche von 1×1 km, deren Mittelpunkt jeweils an den Standorten dieser Stationen liegt (ich habe auch Ergebnisse für 2×2 , 5×5 und 10×10 km betrachtet). Dies geschieht für alle Stationspaare im Umkreis von 40 km bis 100 km (stadtabhängig) um den ungefähren Schwerpunkt der betrachteten MSA (im Fall von NYC habe ich den Central Park gewählt). Anschließend gruppieren ich alle diese Datenpaare in 7 Klassen der durchschnittlichen IS-Bedeckung von 2 Stationen, was mir ermöglicht, etwaige Nichtlinearitäten in den Beziehungen zwischen UHI und IS zu untersuchen. Für jede Klasse führe ich eine Regression der Temperaturunterschiede gegen die IS-Unterschiede durch, um einen durchschnittlichen dT/dIS -Wert (Regressionssteigung) zu erhalten. Diese 7 Steigungen werden dann über den IS integriert, um Kurven des UHI-Temperatureinflusses im Verhältnis zum IS zu erhalten.

Ein wichtiges Merkmal dieses Verfahrens ist, dass ich eine Station nicht als „ländlich“ oder „städtisch“ kategorisieren muss, wie es in den meisten anderen UHI-Studien der Fall ist. Wie in Abb. 1 (oben) zu sehen ist, gibt es ein Kontinuum der Urbanisierung, quantifiziert durch die IS-Bedeckung von 0 % (Wildnis) bis 100 % (vollständige Bedeckung durch Straßen, Parkplätze, Gebäude usw.).

New York City-Newark-Jersey City MSA

Die Metropolregion New York-Newark-Jersey City ist die bevölkerungsreichste der USA; dort leben 6 % der US-Bevölkerung. Abb. 2 zeigt die daraus resultierenden durchschnittlichen UHI-Effekte in dieser Metropolregion auf die Höchst- und Tiefsttemperaturen sowie für Tage mit extremer Hitze im Vergleich zu Tagen ohne extreme Hitze.

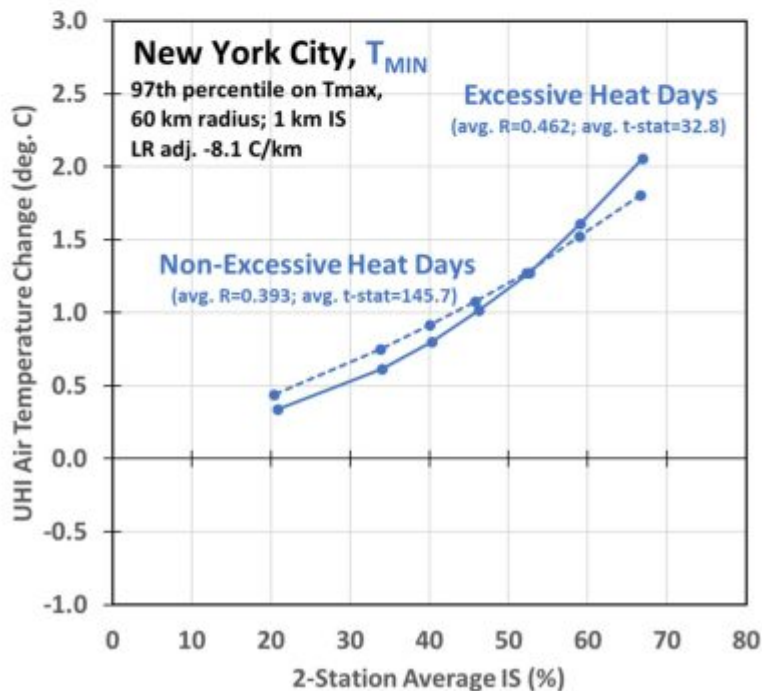
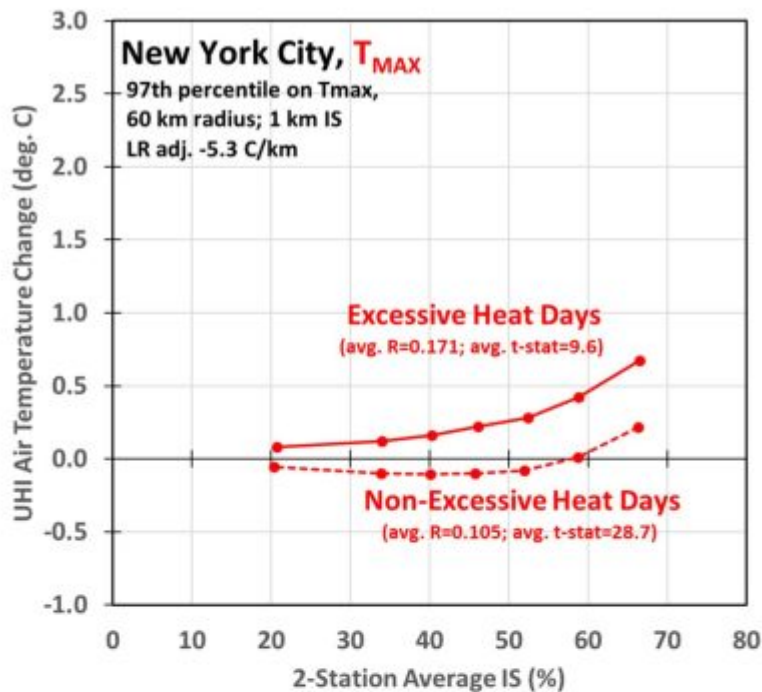


Abb. 2: Berechnete Abhängigkeit der UHI-Lufttemperatur von der versiegelten Flächenbedeckung (1×1 km) für die statistische Metropolregion (MSA) New York City–Newark–Jersey City, basierend auf allen GHCN-Messstationenpaaren im Umkreis von 60 km um den Central Park. Aufgeführt sind die aus der Regression abgeleiteten Anpassungen der Temperaturabnahme, die zur Korrektur der Höhenunterschiede zwischen den Messstationen verwendet wurden, sowie die durchschnittlichen Korrelationskoeffizienten

für die 7 Klassen und die Regressions-t-Statistiken. Insgesamt wurden 943.907 tägliche Stationspaare für Tage ohne extreme Hitze und 34.469 tägliche Stationspaare für Tage mit extremer Hitze analysiert.

(Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass diese Ergebnisse nicht unbedingt als Vergleich zwischen dem innerstädtischen Bereich von NYC und den umliegenden ländlichen Gebieten interpretiert werden sollten. Es handelt sich um die Durchschnittsergebnisse aller verfügbaren Stationspaare, die innerhalb von 60 km um den Central Park gefunden wurden, also im Allgemeinen nicht um Stationen in der Innenstadt von NYC. Stattdessen liefern sie ein durchschnittliches Bild davon, wie sich die Urbanisierung im Durchschnitt auf die Lufttemperaturen in der gesamten Metropolregion auswirkt.)

Als Erstes fällt in Abb. 2 auf, dass die Erwärmungseffekte durch den städtischen Wärmeinseleffekt (UHI) bei der Tiefsttemperatur (T_{\min}) deutlich stärker ausfallen als bei der Höchsttemperatur (T_{\max}), was bereits von vielen anderen Forschern festgestellt worden ist.

Zweitens lässt sich beobachten, dass extrem heiße Tage an den am stärksten urbanisierten Standorten (mit den höchsten IS-Werten) einen etwas stärkeren UHI-Erwärmungseffekt aufweisen. Für T_{\max} an nicht übermäßig heißen Tagen gibt es jedoch Hinweise auf den „urbanen Kühleffekt“, den andere bereits untersucht und veröffentlicht hatten. Dies ist eine natürliche Folge davon, dass undurchlässige Oberflächen im Vergleich zu natürlichen Boden- (und Vegetations-)Oberflächen Wärme in den Untergrund leiten, was zu einer zeitlichen Verzögerung im täglichen Temperaturverlauf führt.

Los Angeles-Long Beach-Anaheim MSA

Wir müssen nur einen Blick auf die zweitgrößte Metropolregion (Los Angeles) werfen, um zu erkennen, dass Temperaturveränderungen in städtischen Gebieten nicht immer auf die Erwärmung durch die Urbanisierung zurückzuführen sind. Dies wird in Abb. 3 veranschaulicht:

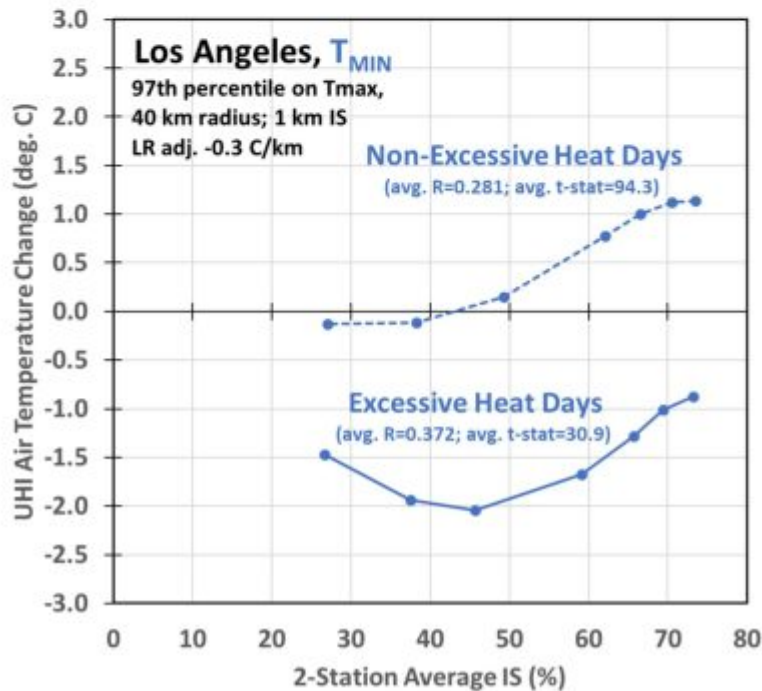
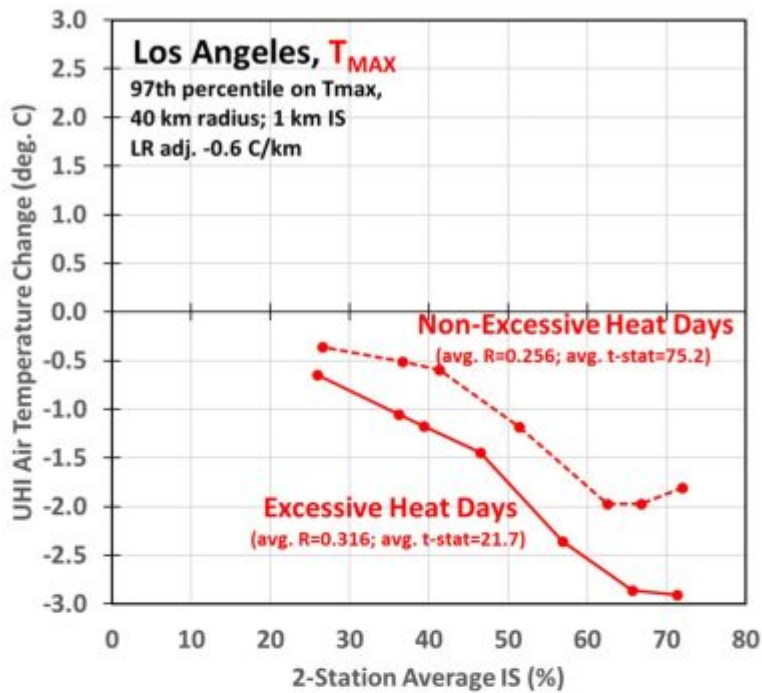


Abb. 3. Wie in Abb. 2, jedoch für alle GHCN-Stationspaare im Umkreis von 40 km um die Innenstadt von Los Angeles.

In diesem Fall sehen wir einen enormen Abkühlungseffekt bei der Tageshöchsttemperatur (T_{max}) in städtischen Gebieten, was meiner Einschätzung nach auf den anhaltenden Seewind im LA-Becken während des Sommers zurückzuführen ist. Der Effekt zeigt sich in geringerem Maße auch bei der Tagestiefsttemperatur (T_{min}) an extrem heißen Tagen. Ich weiß nicht, ob dies auf stärkere und anhaltendere Seewinde an extrem heißen Tagen zurückzuführen ist, auf eine stärkere nächtliche

Bewässerung der Vegetation an diesen Tagen oder auf eine Kombination aus beidem.

An dieser Stelle fragen Sie sich vielleicht: Wie können die heißesten Tage kühler in den Städten sein? Hier muss ich erklären, wie ich „extrem heiße Tage“ definiere. Da es im Umkreis von 40 km um die Innenstadt von Los Angeles so viele GHCN-Messstationen gibt, kommt es vor, dass an manchen Tagen einige Stationen ihre 97-Perzentil-Höchsttemperatur überschreiten, andere hingegen nicht. Wie entscheiden wir also, welche Tage für die gesamte Metropolregion als „extrem heiß“ gelten? Ich berechne für jeden Tag in den Sommern von 1985 bis 2025, wie viele Stationen ihren 97. Perzentil-Schwellenwert überschreiten. Anschließend berechne ich die durchschnittliche Tagestemperatur über diese Stationen hinweg. Für LA ergibt sich, dass mindestens 12 Stationen erforderlich sind, die ihre 97-Perzentil-Temperaturschwelle überschreiten, damit etwa 3 % der Tage als „extrem heiß“ eingestuft werden können, wodurch eine 97-Perzentil-Schwelle für die gesamte MSA-Region entsteht. Dieses Minimum von 12 Stationen wende ich dann auf T_{\max} (nicht T_{\min}) an, um zu entscheiden, welche Tage „extrem heiß“ sind.

Ich stelle fest, dass in den meisten Großstädten im Westen der USA an extrem heißen Tagen sowohl tagsüber als auch nachts eine geringere städtische Wärmeinseleffekt-Erwärmung (und wie in LA sogar eine Abkühlung) zu beobachten ist. In vielen Fällen ist dies meiner Meinung nach auf die Bewässerung der Vegetation zurückzuführen; für jede Stadt, die ich überprüft habe, gibt Grok an, dass dort an extrem heißen Tagen in den Nachtstunden mehr Wasser verbraucht wird. Hier sind zum Beispiel die Ergebnisse für Portland-Vancouver-Hillsboro, die 24. bevölkerungsreichste Metropolregion in den USA; man beachte, wie der relativ starke UHI-Erwärmungseffekt auf T_{\max} und T_{\min} an den heißesten Tagen reduziert ist, insbesondere nachts, wenn die meiste Bewässerung stattfindet:

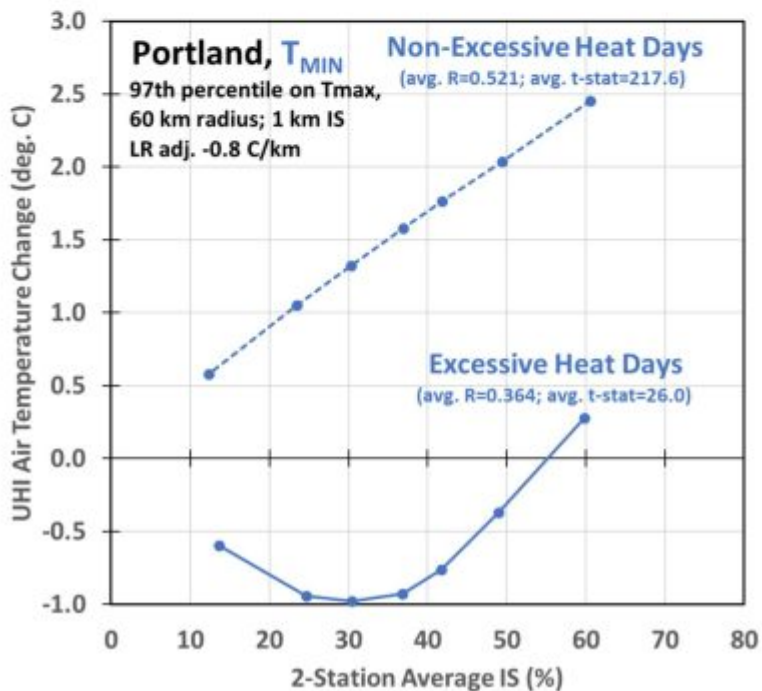
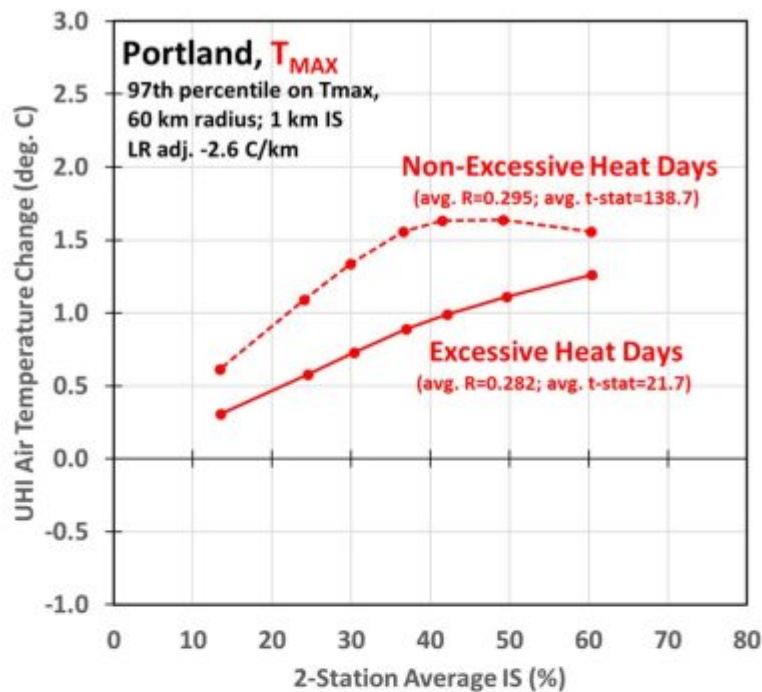


Abb. 4. Wie in Abb. 2, jedoch für alle Messstationspaare im Umkreis von 60 km um die Innenstadt von Portland, Oregon.

Bei der unteren Kurve in Abb. 4 (Nacht-Temperaturen in Portland an extrem heißen Tagen) könnte man sich sogar vorstellen, dass der maximale Kühleffekt durch vermehrte Bewässerung in den Vororten auftritt (IS unter 20–30 %), während er in den am stärksten urbanisierten Gebieten in eine Erwärmung umschlägt (IS über 50 %), vermutlich aufgrund von Unterschieden in der Flächenbedeckung durch bewässerte Vegetation.

Ich habe etwa zwei Dutzend der 50 bevölkerungsreichsten Ballungsräume durchgesehen, deren Ergebnisse ich in eine Arbeit aufnehmen möchte, die wir zur Einreichung bei der Fachzeitschrift Urban Climate vorbereiten. Diese 50 Ballungsräume umfassen über 50 % der US-Bevölkerung.

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2026/04/24/the-urban-heat-island-and-urban-cool-island-a-few-examples-for-u-s-major-metropolitan-areas/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE