

REPORT

ANALYSE DES ABKÜHLUNGSPOTENTIALS WIENER FRIEDHÖFE AUF DIE UMGEBUNG

Mikroklima-Simulationen für die Friedhöfe Wien

Projektteam
Marianne Bügelmayer-Blaschek, PhD
Martin Schneider, MSc
Mag. Martin Jung

28.02.2023

Inhaltsverzeichnis

1. BERICHT ZUSAMMENFASSUNG	3
2. EINLEITUNG UND HINTERGRUND.....	5
3. METHODIK.....	6
3.1 Mikroklima-Modell Envi-Met.....	6
3.2 Szenarien.....	7
3.2.1 Status Quo	7
3.2.2 Begrünungsszenarien.....	9
3.2.3 Sensitivitätsexperimente Oberflächenmaterial	16
3.2.4 Vergleichsexperiment Stadt – Friedhof	16
3.3 Meteorologische Eingangsdaten	16
3.4 Evaluierte Parameter	16
4. ERGEBNISSE	18
4.1 Status Quo und Verifikation	18
4.1.1 Friedhof Meidling	18
4.1.2 Friedhof Sievering.....	20
4.2 Begrünungsszenarien.....	22
4.2.1 Friedhof Meidling	22
4.2.2 Friedhof Sievering.....	27
4.3 Sensitivitätsexperiment Materialeigenschaften	32
4.4 Vergleichsexperiment Stadt - Friedhof	33
5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	35

1. BERICHT ZUSAMMENFASSUNG

Der menschengemachte Klimawandel führt, unter anderem, zum Anstieg der mittleren Temperatur und der Intensivierung von Starkniederschlägen. Beide Aspekte stellen eine Gefahr für Menschen und Infrastruktur besonders in Städten dar, da in diesen Klimawandelfolgen durch die vorherrschenden Strukturen (z.B. Gebäude und Versiegelung von Böden) noch verstärkt werden. Wien hat zur Anpassung an den Klimawandel eine Strategie¹ vorgelegt, welche auch den verstärkten Einsatz von Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen vorsieht.

Teilweise sind die bestehenden Friedhöfe bereits jetzt grüne Oasen, die einen Erholungsraum für die Menschen und Abkühlung für die Anrainer:innen bewirken. Das große Potential der Friedhöfe, welche oft zentral gelegen sind und nicht zu anderen Zwecken umgewidmet werden können, kann durch bewusst gesetzte Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen noch gesteigert werden.

Durch die Anwendung eines 3D Modells quantifiziert die vorliegende Studie den Abkühlungs- und Versickerungseffekt von Friedhöfen im Vergleich zu versiegelten Flächen (z.B. Parkplätzen) und einem Stadtquartier. Darüber hinaus wird das zusätzliche Potential von Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen analysiert.

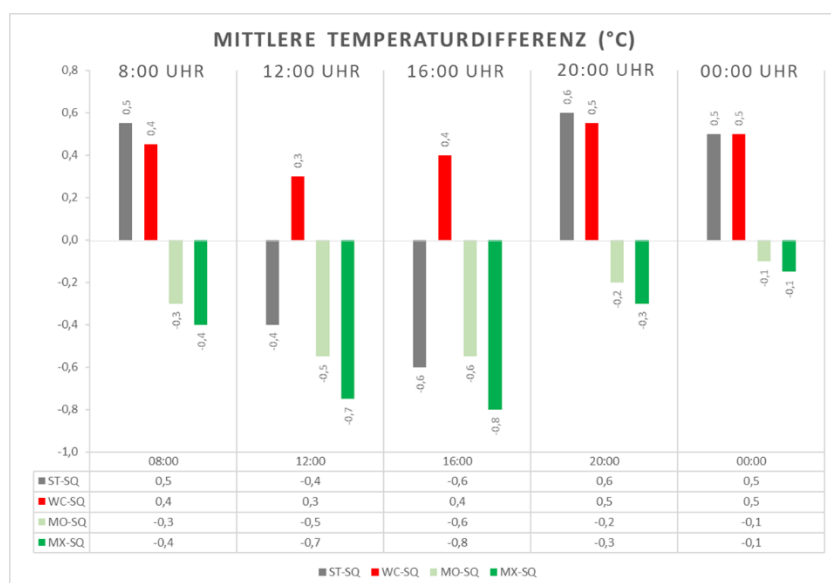


Abbildung 1: Mittlere Temperaturdifferenz zw. dem Stadtquartier (ST), den Friedhöfen (Status Quo, SQ), einem Parkplatz (Worst Case, WC), sowie dem Moderaten (MO) und Maximum (MX) Begrünungs- und Entsiegelungsszenario zu bestimmten Tageszeiten (08:00, 12:00, 16:00, 20:00, 00:00 Uhr)

Die Ergebnisse zeigen, dass der Effekt zweier Friedhöfe (Meidling, Sievering) im Vergleich zu einem Stadtquartier, sowie zu einer versiegelten Fläche (z.B. Parkplatz) tageszeitlich abhängig ist. So bewirkt der aktuelle Zustand der Friedhöfe in der Früh kühlere Bedingungen als in einem Wiener Stadtquartier oder auf Parkplätzen (Abbildung 1, grauer und roter Balken). Der positive Beitrag der Friedhöfe zum lokalen Klima im Vergleich zu Parkplätzen besteht und intensiviert sich über den Tag. In einem Stadtquartier kommt es durch die Beschattung der Straßen aufgrund der flankierenden Gebäude zu kühleren Lufttemperaturen mittags und nachmittags. In den Abend- und

Nachtstunden treten jedoch wärmere Bedingungen als auf den Friedhöfen auf, da nun die Straßen und Gebäude eine „Wärmequelle“ aufgrund des erhöhten Wärmespeichers der versiegelten Flächen, sowie veränderter langwelliger Abstrahlung, darstellen. Die Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen (entsiegelte Wege/Gräber, begrünte Gräber, Baumpflanzungen), dargestellt in einem Moderaten (Abbildung 1, hellgrüner Balken) und Maximum Szenario (Abbildung 1, dunkelgrüner Balken), zeigen das zusätzliche Abkühlungspotential der Friedhöfe auf. So kommt es zu einem mittleren zusätzlichen **Kühlungseffekt von bis zu 0.8°C** am Friedhofsgelände, welcher sich auch auf die umliegenden Gebiete ausbreitet.

Zusätzlich zum Temperatureffekt weisen die untersuchten Friedhöfe ein **großes Versickerungspotential** von Niederschlag auf, welches durch den klimawandelbedingten Anstieg an Starkniederschlagsereignissen von großer Bedeutung für die bebaute Stadt sein kann. Bereits jetzt versickern ~40% mehr Niederschlag als auf einer versiegelten Fläche (z.B. Parkplatz), allerdings könnte weitere Entsiegelung der untersuchten Friedhöfe eine zusätzliche lokale Entlastung des Kanalsystems bedeuten, da gemittelt 16% bis 21% mehr Niederschlag als aktuell versickern könnten (Tabelle 1).

¹ <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/uhi-strategieplan.html>

Tabelle 1: Gemitteltetes Versickerungspotential für den Worst-Case (WC), Status Quo (SQ), sowie die Begrünungs- und Entsiegelungs-szenarien (Moderat = MO, Maximum = MX); Negative Werte in der Differenz bedeuten eine Abnahme an Versickerungspotential, positive Werte eine Zunahme

	WC	SQ	MO	MX
Versickerungspotential	5%	47%	63%	67%
Differenz (SQ-Szenario)	-42%	0%	16%	20%

Der **simulierte Effekt von gemittelt bis zu 0.8°C (lokal 1.5°C) Abkühlung** wirkt dem menschgemachten Klimawandel entgegen, welcher über Österreich gemittelt etwa 2°C beträgt. Das bedeutet, dass durch die Umgestaltung der bestehenden Friedhöfe die lokale, klimawandelbedingte Hitzebelastung deutlich verringert werden kann.

Zur besseren Vorstellung, eine **mittlere Abkühlung von etwa 1°C**

- verkürzt Hitzewellen um ~1 Tag²
- bewirkt eine Reduktion der tropischen Nächte um ~3 Tage (abhängig von Umgebung)⁸
- bewirkt eine bessere Schlafqualität (besonders in der REM-Phase)³
- senkt die Hitzebedingte sommerliche Sterberate⁴

Zusätzlich bewirkt die Begrünung von Wegen und Gräbern:

- Gräber: **Aufnahme von 70% Niederschlag** (z.B. 7L bei Gesamtmenge von 10L)⁵
- Wege: **Aufnahme von 40% Niederschlag** (z.B. 4L bei Gesamtmenge von 10L)¹¹

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Friedhöfe in Wien einen wichtigen kühlenden Effekt vor allem im stark bebauten Stadtgebiet haben und somit einen **wesentlichen Beitrag zur Klimawandelanpassung** und zur **Erhöhung der Lebensqualität der Einwohner:innen** leisten. Außerdem besteht noch zusätzliches Potenzial durch weitere Begrünung und Entsiegelung.

Damit dieses Potential voll ausgeschöpft werden kann, benötigt es **unterschiedliche Ebenen**:



Privatpersonen (Besucher:innen / Anrainer:innen): Entsiegelung / grüne Gestaltung der Gräber; Waldfriedhöfe auf Friedhöfen



Friedhöfe Wien: Strategische Gestaltung der Friedhöfe; Akzeptanz und Pflege durch Mitarbeiter:innen und externe Organisationen, Bereitstellung von Informationen für Privatpersonen



Stadt Wien: Unterstützung der Friedhöfe in der Umgestaltung zu grünen „Oasen“; weitere Evaluierung des Effekts der Friedhöfe innerhalb der Stadtplanung (z.B. Grünraumvernetzung, Stadtklimamodell)

² Projekt Green Resilient Cities

³ <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23744731.2020.1756664>

⁴ Iungman, T.; Cirach, M.; Marando, F.; Pereira Barboza, E.; Khomenko, S.; Masselot, P.; Quijal-Zamorano, M.; Mueller, N.; Gasparrini, A.; Urquiza, J.; Heris, M.; Thondoo, M.; Nieuwenhuijsen, N. (2023): Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. The Lancet, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5)

⁵ Messungen am Friedhof Meidling

2. EINLEITUNG UND HINTERGRUND

Der menschengemachte Klimawandel führt unter anderem zum Anstieg der mittleren Temperatur (Abbildung 2), welche eine Gefahr für die Menschen darstellt. In Verbindung mit den anderen Klimafolgen, ist der Klimawandel für die Menschheit somit zur Klimakrise geworden. Vor allem die zunehmenden Maximaltemperaturen im Sommer, sowie die wachsende Anzahl an Hitzetagen (Maximaltemperatur > 30°C) und tropischen Nächten (Minimumtemperatur > 20°C) stellen eine Belastung dar (van der Linden, 2019⁶).

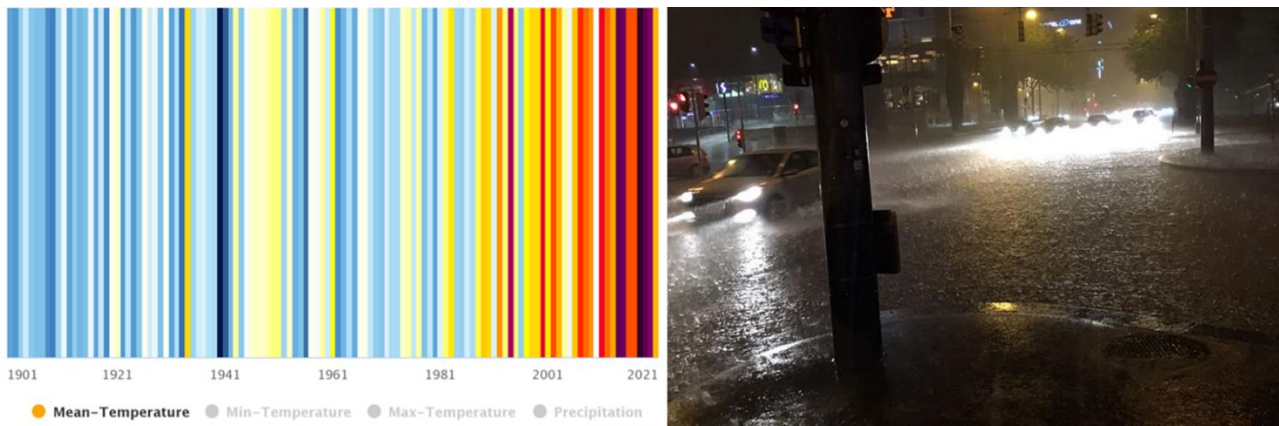


Abbildung 2: Mittlere Temperatur⁷ in Österreich der Jahre 1901 bis 2021. Blau bedeutet kühler, Rot wärmer als die Klimatologie 1991-2020; Foto eines Unwetters in Wien 2018⁸

Insbesondere in Städten kommt es aufgrund der verwendeten Materialien zu einer Verstärkung der Klimafolgen, da die versiegelten Flächen einen erhöhten Wärmespeicher aufweisen und dadurch die Wärme untertags verstärkt aufnehmen und auch nach Sonnenuntergang noch abstrahlen. Darüber hinaus reduzieren die Gebäude die nächtliche Abstrahlung der Wärme. Diese Effekte werden durch die fehlende Verdunstungsleistung versiegelter Flächen unterstützt. Unversiegelte Flächen (z.B. Wiesen, Bereiche um Stadtbäume, etc.) nehmen hingegen Wasser auf, speichern es im Boden und verdunsten es bei Sonneneinstrahlung. Dadurch wird ein Teil der Sonnenenergie für die Verdunstung verwendet und führt nicht zu einer Erhöhung der Lufttemperatur. Durch die beschriebenen städtischen Eigenschaften kommt es zu dem sogenannten urbanen Hitzeinsel (UHI) Effekt. So weisen urbane Hitzeinseln vor allem nachts höhere Lufttemperaturen auf als die umgebenden ländlichen Gebiete. Gleichzeitig verhindert die Versiegelung der Flächen die Versickerung von Niederschlag, welcher über die Kanalisation abgeleitet werden muss. Durch die wärmere Lufttemperatur kann auch mehr Feuchtigkeit gespeichert werden, wodurch es zu Niederschlägen mit höheren Intensitäten kommt. Die Kombination aus steigenden Intensitäten und fehlenden Versickerungsmöglichkeiten bringt die bestehende Kanalisation an ihre Grenzen (Abbildung 2).

In den letzten Jahren haben viele Städte Anpassungsstrategien an den Klimawandel entwickelt. Dabei weisen vor allem naturbasierte Lösungen, wie blaue (z.B. Wasserspiel) und grüne (z.B. Bäumen) Infrastruktur, und die Entsiegelung von Flächen ein großes Potential, sowohl in Bezug auf Abkühlung als auch Versickerung, auf. Dies steht jedoch im Konflikt steigenden Einwohner:innenzahlen und der Nachfrage nach größerem Wohnraum innerhalb der Städte, wodurch die Stadt weiter verdichtet wird. In Wien ist die Einwohner:innenzahl mit 1.1.2022 auf knapp 1.935.000 Personen gestiegen mit einem Zuwachs von ca. 14.000 Menschen im Jahr 2021 (Statistik Austria). Durch den steigenden Bedarf an Wohnraum verringern sich die vorhandenen Freiflächen weiterhin, wodurch den verbleibenden Grüngebieten immer mehr Bedeutung als Abkühlungs- und Entspannungsort zukommt.

Friedhöfe stellen in diesem Zusammenhang Flächen mit großem Potential dar, da sie oft auch zentral gelegen sind und nicht zu anderen Zwecken umgewidmet werden können. Gerade während der COVID-19 Pandemie

⁶ Van der Linden N, Longden T, Richards JR, Khursheed M, Goddijn WMT, van Veelen MJ, et al. (2019). The use of an 'acclimatisation' heatwave measure to compare temperature-related demand for emergency services in Australia, Botswana, Netherlands, Pakistan, and USA. *PLoS ONE* 14(3): e0214242

⁷ <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/austria>

⁸ <https://wien.orf.at/v2/news/stories/2910588/>

ist die Bedeutung der Friedhöfe als Erholungsraum und im Sommer auch als Ort der Abkühlung in das Bewusstsein der Menschen gerückt. In Wien bedecken die städtischen Friedhöfe mit 500ha mehr als 1% der städtischen Fläche. Diese sollte bestmöglich im Sinne der Klimawandelanpassung genutzt werden, wobei die Hauptaufgabe des Friedhofs gewahrt werden muss. Es existieren bereits unterschiedliche Arten der Bestattung, die mit intensiver Begrünung gut zusammenpassen, wie zum Beispiel ein Waldfriedhof. Der Zentralfriedhof, der größte und berühmteste Friedhof der Stadt Wien, weist zum Beispiel bereits jetzt viel Grünraum auf und ist auch für seine Biodiversität bekannt.

Kleinere Friedhöfe in Siedlungsgebieten sind allerdings oft noch von wenig Baumbestand, vielen versiegelten Wegen und Gräbern geprägt. Um das Abkühlungspotential städtischer Friedhöfe zu quantifizieren, wurden 2 Friedhöfe ausgewählt und mithilfe von Messungen (BOKU) und Mikroklimasimulationen (vorliegender Bericht, AIT) analysiert. Ziel der vorliegenden Studie war die Quantifizierung des Temperatureffekts der bestehenden Friedhöfe Meidling und Sievering auf angrenzende Gebiete, sowie deren größtmögliches Potential zur Abkühlung und Versickerung durch verstärkte Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen. Die Begrünungs- und Entsiegelungsszenarien und die Ergebnisse werden im Folgenden im Detail dargestellt.

3. METHODIK

3.1 Mikroklima-Modell Envi-Met

Das Mikroklimamodelle ENVI-met⁹ wurde ausgewählt, um das vorherrschende Mikroklima (horizontale räumliche Auflösung von 1,5 m) auf den Friedhöfen und den umliegenden Straßen zu simulieren, da es eine Reihe von Modellausgangsdaten für verschiedene Anwendungen in der Stadtplanung bietet. Zu den möglichen Forschungsbereichen gehören thermische Behaglichkeit, der urbane Hitzeinsel Effekt, Auswirkungen von Vegetation und naturbasierten Lösungen (Bäume, begrünte Wände/Dächer usw.), Materialien und Albedo, Bauphysik, Gewässer, Straßenschluchtgeometrie und -orientierung, Windanalyse, optimale Gebäudeform und -höhe, Wärmesenken, Gestaltung von Stadtquartieren (Gebäudeanordnung), natürliche Belüftung, Energiebedarf, Schadstoffausbreitung und vieles mehr. Somit kann die Fragestellung, welchen Effekt eine mögliche veränderte Versiegelung und Bepflanzung im Friedhofsbereich auf das lokale und umliegende Mikroklima hat, evaluiert werden.

ENVI-met ist ein dreidimensionales Modell, das für mikroskalige Simulationen mit einer horizontalen Auflösung von 0,5 m bis 10 m und einem Zeitrahmen von 24-48 h mit einem Zeitschritt von 1-5 s konzipiert ist. Mit Hilfe eines Atmosphärenmodells, eines Bodenmodells und eines Vegetationsmodells ermöglicht ENVI-met die Analyse kleinräumiger Wechselwirkungen zwischen Gebäuden, Oberflächen und Pflanzen. Es bietet z.B. eine hochauflösende Modellierung aller Strahlungsflüsse; Transpiration, Verdunstung und sensible Wärmeströme von der Vegetation in die Luft; dynamische Berechnung der Oberflächentemperatur und der Wandtemperatur für jedes Fassaden- und Dachelement; Unterstützung von Wand-Dach-Begrünungssystemen und Berechnung von der mittleren Strahlungstemperatur, der physiologisch-äquivalenten Temperatur (engl. Abkürzung PET) oder des universal thermal climate index (UTCI). Die aufgezählten Temperaturformate werden oft zusätzlich zur Lufttemperatur untersucht, da sie unter anderem auch die (Sonnen-)Strahlung berücksichtigen und somit ein besseres Maß für die gefühlte Temperatur darstellen.

Anfangs- und Randbedingungen von Temperatur, Feuchte, Windgeschwindigkeit Windrichtung und Wolkenbedeckung werden vorgegeben. Für die Simulationen in dieser Studie wird die Version V5.0.2 mit aktiviertem Integrated View Sphere (IVS) und Segmentwinkeln von 15°, dem sechsdirektionalen MRT-Berechnungsansatz und aktiviertem Advanced Canopy Radiation Transfer Module (ACRT) verwendet.

⁹ ENVI-met (2022). ENVI-met model architecture. retrieved on Dec,12 2022

3.2 Szenarien

Um den aktuellen Einfluss der Friedhöfe Meidling und Sievering (Abbildung 3) auf die umliegenden Straßen zu quantifizieren, wurde zuerst die aktuelle Situation in ENVI-met dargestellt und simuliert.






Abbildung 3: Abbildung der Friedhöfe Meidling (links) und Sievering (rechts) (Quelle: Google Maps)

Weiters wurden in Absprache mit den Friedhöfen Wien zwei Begrünungs- und Entsiegelungsszenarien definiert – ein moderates und ein maximales Szenario. Dafür wurden zusätzliche Baumpflanzungen, sowie die Entsiegelung von Gräbern und Wegen im Modell eingebaut. Zusätzlich zu den positiven Entwicklungen wurde auch ein so genanntes „Worst-Case“ Szenario durchgeführt, bei dem eine beinahe komplette Versiegelung und Rodung des bestehenden Baumbestands angenommen wurde.

3.2.1 Status Quo

Für die Darstellung der aktuellen Friedhofsgestaltung wurden folgende Daten von den Friedhöfen Wien zur Verfügung gestellt:

-  Gräber (inkl. Information, ob aufgelassen, Abbildung 4)
-  Art der Wege (versiegelt, unversiegelt)
-  Baumkataster

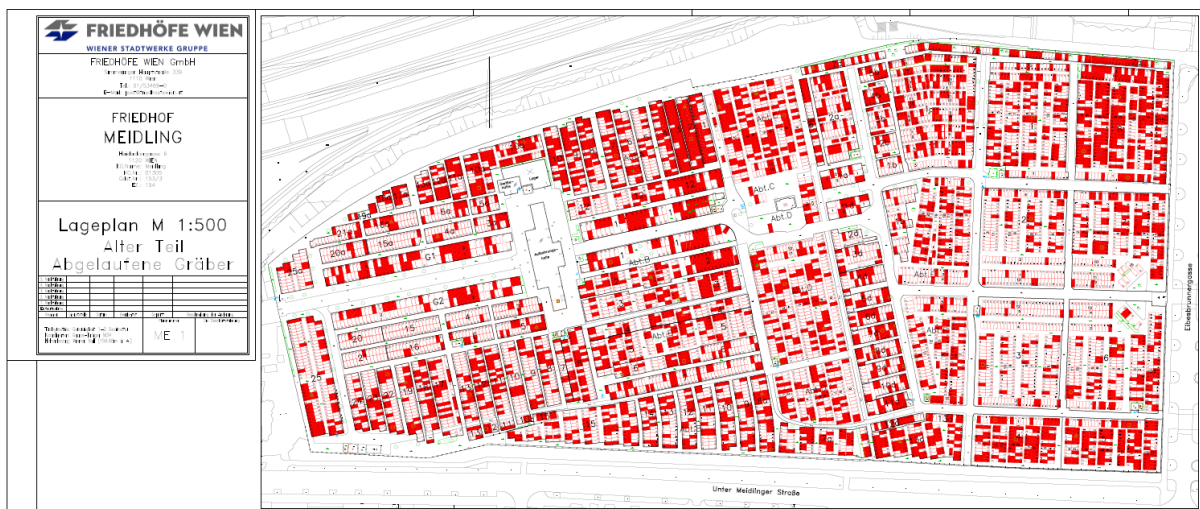


Abbildung 4: Darstellung der aktuellen Gräber inkl. der aufgelassenen (rot markiert) für den Friedhof Meidling, Alter Teil

Anhand dieser und der OpenStreetMap (www.openstreetmap.org) Daten wurde ein 3D Modell für die Friedhöfe und die Umgebung in ENVI-met erstellt, wobei die Information, ob die Gräber aktuell begrünt oder versiegelt sind, aus dem Satellitenbild abgeleitet wurde.

Die Bäume wurden anhand des Baumkatasters in Gruppen zusammengefasst und in ENVI-met dargestellt. Teilweise beinhaltet ENVI-met die existierenden Baumarten, teilweise mussten sie angenähert werden. Einige Beispiele der Bäume aus dem Kataster und deren Darstellung im Modell sind in Tabelle 2 angeführt.

Tabelle 2: Beispiele von Bäumen aus Baumkataster für die Friedhöfe Meidling und Sievering und die gewählte Darstellung in Envi-Met

Baumkataster	ENVI-met
Esche (h=17, d=13)	Tilia
Kastanie (h=8, d=5)	Horse Chestnut (young)
Traubenkirsche (h=13, d=7)	Oak middle

ENVI-met erlaubt den Nutzer:innen die spezifische Einstellung von Materialeigenschaften, wie zum Beispiel die Albedo (Maß für das Rückstrahlvermögen von Oberflächen, eine schwarze Oberfläche hat eine Albedo von 0, eine weiße Oberflächen eine Albedo von 1), Wärmekapazität, Dicke des Materials etc. Die Albedo hat einen großen Einfluss auf die Oberflächen- und Strahlungstemperatur. Einige Materialien und deren Albedo sind in Tabelle 3 angeführt.

Tabelle 3: Beispiel an Materialien und deren Albedo wie in dieser Studie in ENVI-met eingestellt

Material	Albedo-Wert (0 = schwarz, 1 = weiß)
Heller asphaltierter Weg	0.4
Schotterweg	0.3
Gras	0.2

Für den **Friedhof Meidling** ergeben sich folgende Darstellungen in dem Mikroklimamodell:

Status Quo – 3D Darstellung

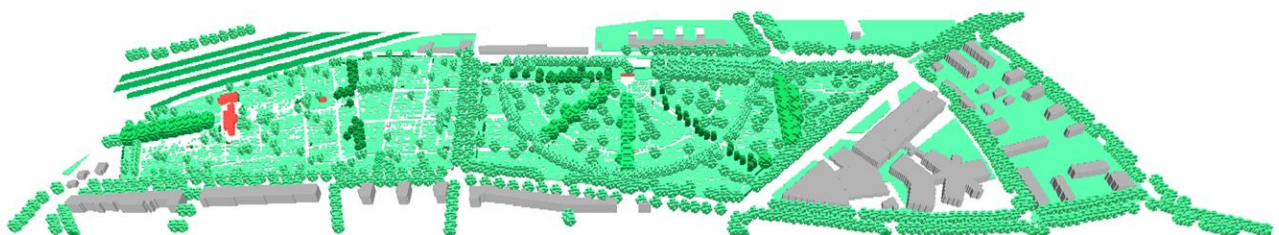


Abbildung 5: 3D Darstellung des Friedhofs Meidling; die unterschiedlichen Baumtypen sind erkennbar, sowie die Gebäude am Gelände (rot)

Status Quo – Bodentypen

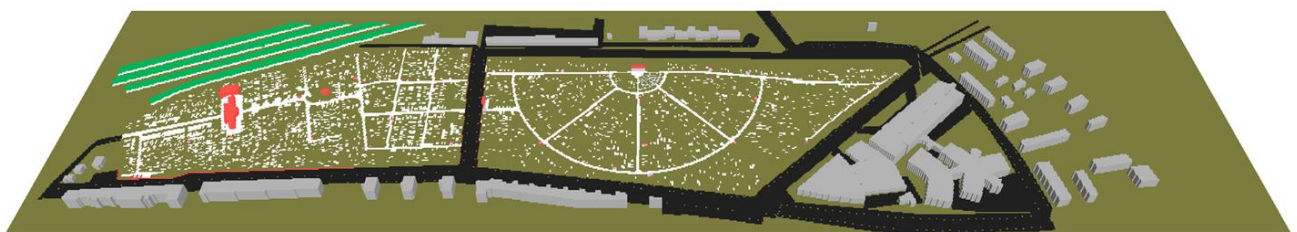


Abbildung 6: Darstellung der Bodentypen des Friedhofs Meidling in ENVI-met; Ockerfarbener Boden = entsiegelt, Schwarz = Asphaltierte Bereiche außerhalb (Albedo 0.2), Weiß = versiegelte Wege innerhalb des Friedhofs (Albedo 0.4), Rot = Mauern & Gebäude innerhalb, Grün: Überdachte Bahnsteige

Der vorherrschende Begrünungsgrad des Friedhofs Meidling ist bereits sehr hoch, so gibt es vor allem im „neuen Teil“ wenige versiegelte Gräber und einen großen Baumbestand.

Beim **Friedhof in Sievering** ist die Situation anders. Dieser weist weniger Baumbestand (Abbildung 7) und eine deutlich höhere versiegelte Fläche (weiße Bereiche, Abbildung 8) auf.

Status Quo – 3D Darstellung

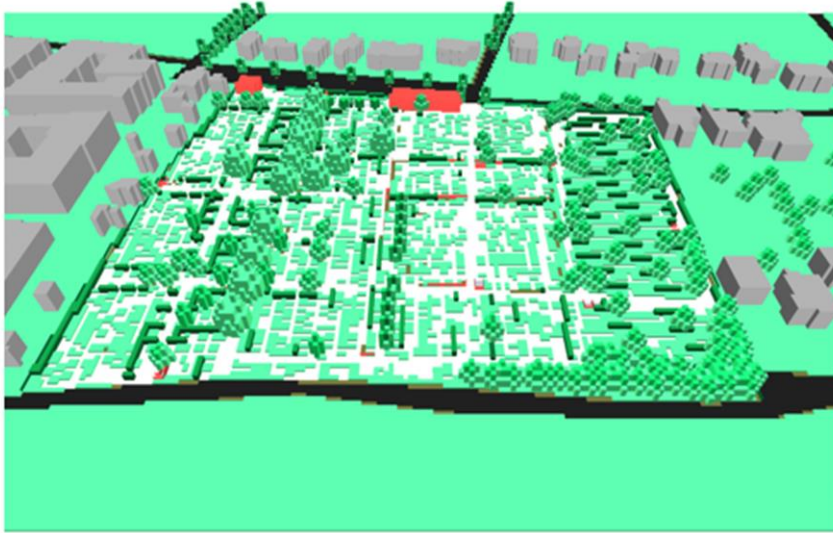


Abbildung 7: 3D Darstellung des Friedhofs Sievering; die unterschiedlichen Baumtypen sind erkennbar, sowie die Gebäude am Gelände (rot)

Status Quo – Bodentypen

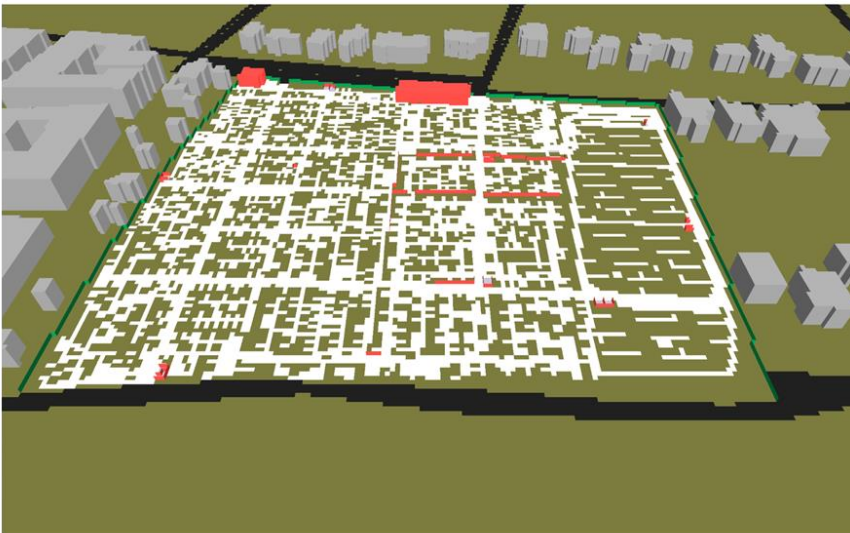


Abbildung 8: Darstellung der Bodentypen des Friedhofs Sievering in ENVI-met; Ockerfarbener Boden = entsiegelt, Schwarz = Asphaltierte Bereiche außerhalb (Albedo 0.2), Weiß = versiegelte Wege innerhalb des Friedhofs (Albedo 0.4), Rot = Mauern, Grün: Zäune

Zusätzlich zu den Simulationen wurden von der BOKU Messstationen aufgestellt, die die Temperatur und die relative Feuchte vor Ort gemessen haben. Der Vergleich der Mikroklimasimulationen und Beobachtungen wird im Abschnitt 3 (Abbildung 17, Abbildung 20) dargestellt.

3.2.2 Begrünungsszenarien

In Absprache mit den Friedhöfen Wien wurden ein moderates und ein maximales Begrünungsszenario erstellt, bei dem weitere Baumpflanzungen, sowie die Entsiegelung von Wegen und Gräbern angenommen und im Modell implementiert wurden.

Die ausgewählten Wege zur Entsiegelung wurden anhand der Nutzung der Wege bestimmt. Es wurde dabei sowohl die Nutzung durch die Friedhöfe Wien als auch die der Angehörigen und Besitzer:innen der Gräber berücksichtigt.

Zusätzlich wurde ein steigender Anteil an begrünten Gräbern und Baumpflanzungen angenommen. Bezüglich der Baumpflanzungen wurden jene Bereiche ausgewählt, an denen zukünftig freie Gräber und nicht wieder zu vergebende Gräber sein werden (nicht jedes freie Grab wurde zu einem Baum, da diese auch wiederverkauft werden). Bei den Gräbern wurde ein Entsiegelungsgrad von +50% im moderaten und +80% im maximalen Szenario angenommen.

Für den neuen Teil des Friedhofs Meidling haben die Friedhöfe Wien zusätzlich 2 Bereiche ausgewählt, in denen ein Waldfriedhof möglich ist. Diese sind in den Szenarien berücksichtigt.

Für den **Friedhof Meidling** ergeben sich folgende Szenarien und Abweichungen vom Status Quo:

Baumpflanzungen:

Innerhalb des Friedhofsgeländes wurden in den Szenarien wie bereits beschrieben zusätzliche Bäume gepflanzt. Im moderaten und maximalen Szenario (Abbildung 9, moderat: schwarze Punkte, maximal: schwarze und rote Punkte) wurden in beiden Teilen des Friedhofs zusätzliche Bäume implementiert. Im neuen Teil wurde ein Bereich zu einem Waldfriedhof „umgewidmet“, weshalb dort eine starke Verdichtung und Erweiterung des Baumbestands simuliert wurde. Der Abstand zwischen den Bäumen beträgt mindestens 8m, um genügend Wurzelraum zur Verfügung zu stellen.



Abbildung 9: Baumbestand für den Friedhof Meidling (links alter Teil, rechts neuer Teil), grüne Punkte sind aktuell bestehende Bäume. Im moderaten Szenario werden schwarze Punkte als zusätzliche Bäume repräsentiert, im maximalen Szenario schwarze und rote Punkte.

Entsiegelung der Flächen:

Im Vergleich zum Status Quo wurden in den Szenarien weitere Wege, sofern möglich, entsiegelt.

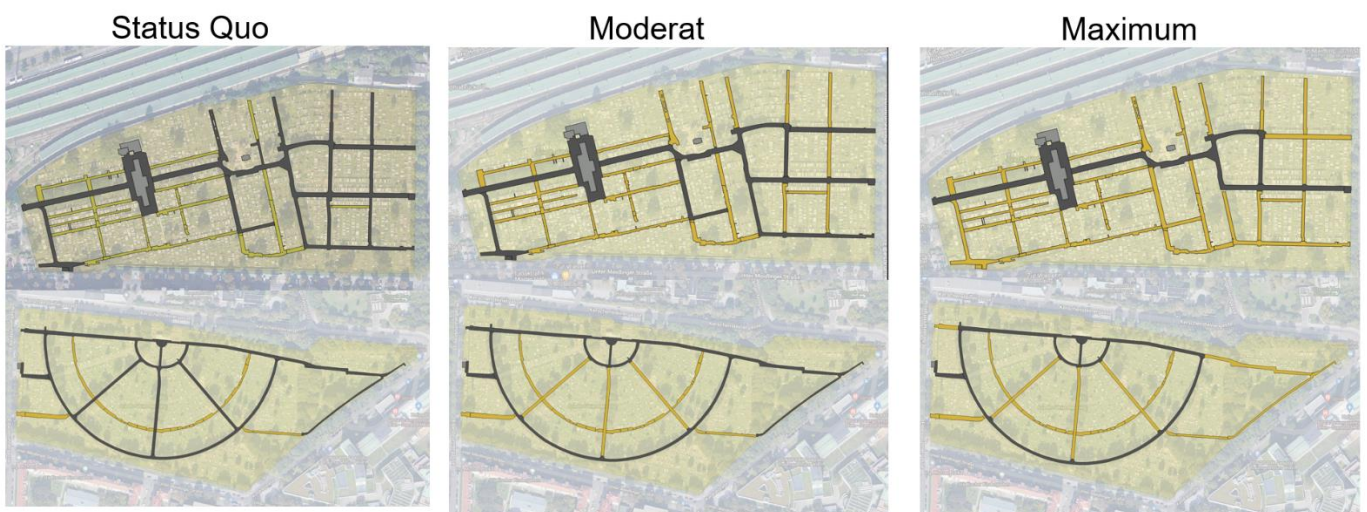


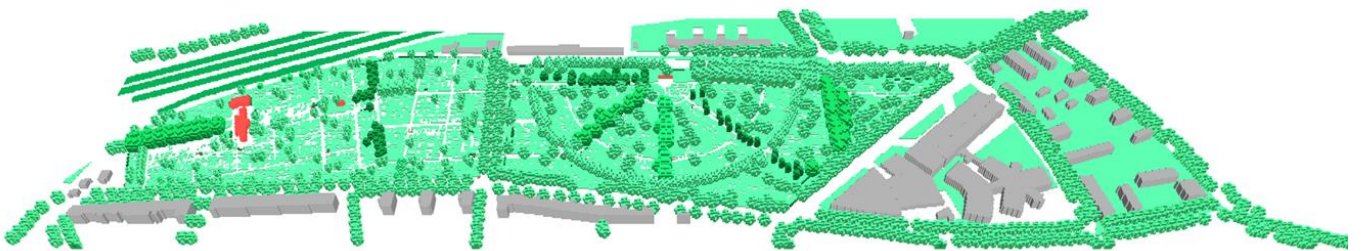
Abbildung 10: Darstellung der Wege des alten (oben) und neuen Teils (unten) des Friedhofs Meidling. Graue Wege sind versiegelt, ockerfarbene Wege sind entsiegelt

Dabei zeigt sich, dass im alten Teil vom Friedhof Meidling (Abbildung 10, obere Reihe) bereits einige Wege entsiegelt sind, jedoch im Ostteil die meisten noch versiegelt sind. Auch im neuen Teil (Abbildung 10, untere Reihe) gibt es lt. Information der Friedhöfe Wien noch viel Potential zur Entsiegelung. Dieses wurde in den 2 Begrünungsszenarien dargestellt. In beiden Szenarien nimmt der Anteil „ockerfarbener“, also entsiegelter Wege deutlich zu (Abbildung 10).

Zusätzlich wird von einer steigenden Anzahl an unversiegelten Gräbern ausgegangen. Das heißt, aktuelle Gräber mit Marmor oder Steindeckel (lt. Google Maps Ansicht) wurden teilweise begrünt.

Als letztes Szenario wurde ein „Worst-Case“ Szenario simuliert, bei dem von einer kompletten Versiegelung des Areals und einer Rodung von $\frac{3}{4}$ der vorhandenen Bäume ausgegangen wurde (Abbildung 11), was zum Beispiel einem Parkplatz entspräche. Diese Simulation zeigt auf, wie wichtig es ist die bestehende Fläche zu erhalten.

Status Quo



Worst Case

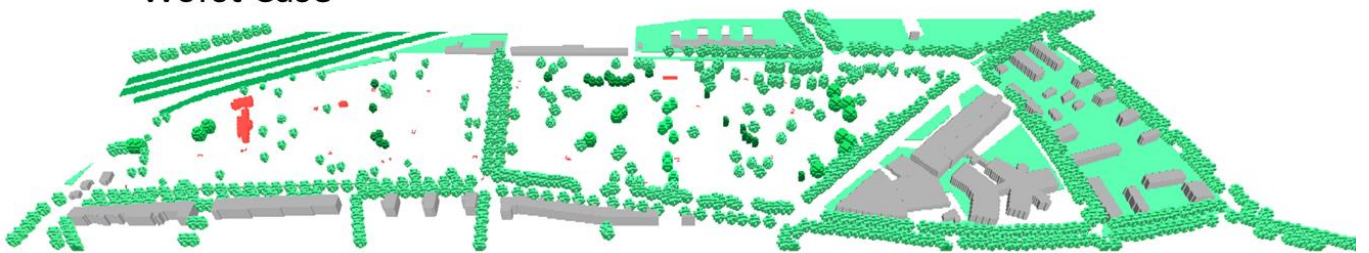


Abbildung 11: Vergleich des Friedhofsgeländes Status Quo und Worst Case Szenario - im Worst Case Szenario wurde der Friedhof vollständig versiegelt (=weiße Oberfläche)

Die absoluten und prozentuellen Änderungen am Baumbestand, sowie der entsiegelten und versiegelten Fläche sind in Tabelle 4 für die beiden Teile des Friedhofs Meidling, sowie den gesamten Friedhof angegeben.

Tabelle 4: Darstellung des Status Quo und der Begrünungsszenarien in absoluten Zahlen, sowie der prozentuellen und absoluten Änderung für den Friedhof Meidling

MEIDLING 1	Worst case	Status quo	Moderate	Maximum
Anzahl d. Bäume	48	192	368	464
Anzahl versiegelter Gräber	7477	2065	1032	412
Fläche versiegelter Gräber [m2]	32785	9324	4642	1844
Anzahl unversiegelter Gräber	0	5412	6445	7065
Fläche unversiegelter Gräber [m2]	0	23461	28143	30941
Fläche versiegelter Wege [m2]	8571	5707	4658	3147
Fläche unversiegelter Wege [m2]	0	2864	3977	5480

MEIDLING 2	Worst case	Status quo	Moderate	Maximum
Anzahl d. Bäume	130	519	805	1004
Anzahl versiegelter Gräber	9760	997	997	997
Fläche versiegelter Gräber [m2]	40956	4213	4213	4213
Anzahl unversiegelter Gräber	0	8763	8763	8763
Fläche unversiegelter Gräber [m2]	0	36743	36743	36743
Fläche versiegelter Wege [m2]	6713	5215	4129	3184
Fläche unversiegelter Wege [m2]	0	1498	2583	3529

MEIDLING Gesamt	Worst case	Status quo	Moderate	Maximum
Anzahl d. Bäume	178	711	1173	1468
Anzahl versiegelter Gräber	17237	3062	2029	1409
Fläche versiegelter Gräber [m2]	73741	13537	8855	6057
Anzahl unversiegelter Gräber	0	14175	15208	15828
Fläche unversiegelter Gräber [m2]	0	60204	64886	67684
Fläche versiegelter Wege [m2]	15284	10922	8787	6331
Fläche unversiegelter Wege [m2]	0	4362	6560	9009

Prozentuelle Änderung			Absolute Änderung		
Worst case	Moderate	Maximum	Worst case	Moderate	Maximum
-75%	92%	142%	-144	176	272
262%	-50%	-80%	5412	-1033	-1653
252%	-50%	-80%	23461	-4682	-7480
-100%	19%	31%	-5412	1033	1653
-100%	20%	32%	-23461	4682	7480
50%	-18%	-45%	2864	-1049	-2560
-100%	39%	91%	-2864	1113	2616
Worst case	Moderate	Maximum	Worst case	Moderate	Maximum
-75%	55%	93%	-389	286	485
879%	0%	0%	8763	0	0
872%	0%	0%	36743	0	0
-100%	0%	0%	-8763	0	0
-100%	0%	0%	-36743	0	0
29%	-21%	-39%	1498	-1086	-2031
-100%	72%	136%	-1498	1085	2031
Worst case	Moderate	Maximum	Worst case	Moderate	Maximum
-75%	65%	106%	-533	462	757
463%	-34%	-54%	14175	-1033	-1653
445%	-35%	-55%	60204	-4682	-7480
-100%	7%	12%	-14175	1033	1653
-100%	8%	12%	-60204	4682	7480
40%	-20%	-42%	4362	-2135	-4591
-100%	50%	107%	-4362	2198	4647

Auch für den **Friedhof Sievering** wurden die oben genannten Szenarien (Moderat, Maximum and Worst-Case) in Absprache mit den Friedhöfen Wien erstellt.



Abbildung 12: Baumbestand für den Friedhof Sievering, grüne Punkte sind aktuell bestehende Bäume. Im moderaten Szenario werden schwarze Punkte als zusätzliche Bäume repräsentiert, im maximalen Szenario schwarze und rote Punkte.

Durch den geringeren Platz gibt es sowohl weniger Bestandsbäume, als auch weniger Möglichkeiten zusätzliche Bäume in den Szenarien unterzubringen. Dafür gibt es viel Potential der Entsiegelung im Bereich der Gräber (Abbildung 13) und Wege (Abbildung 14).



Abbildung 13: Begrünte und versiegelte Gräber des Friedhofs Sieverings Status Quo (links) und Maximum Szenario (+80% begrünte Gräber, rechts)

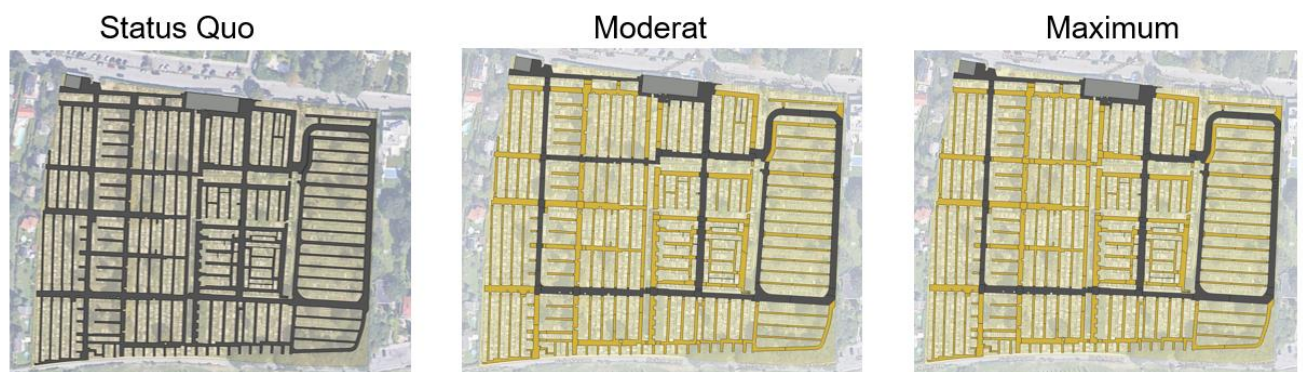
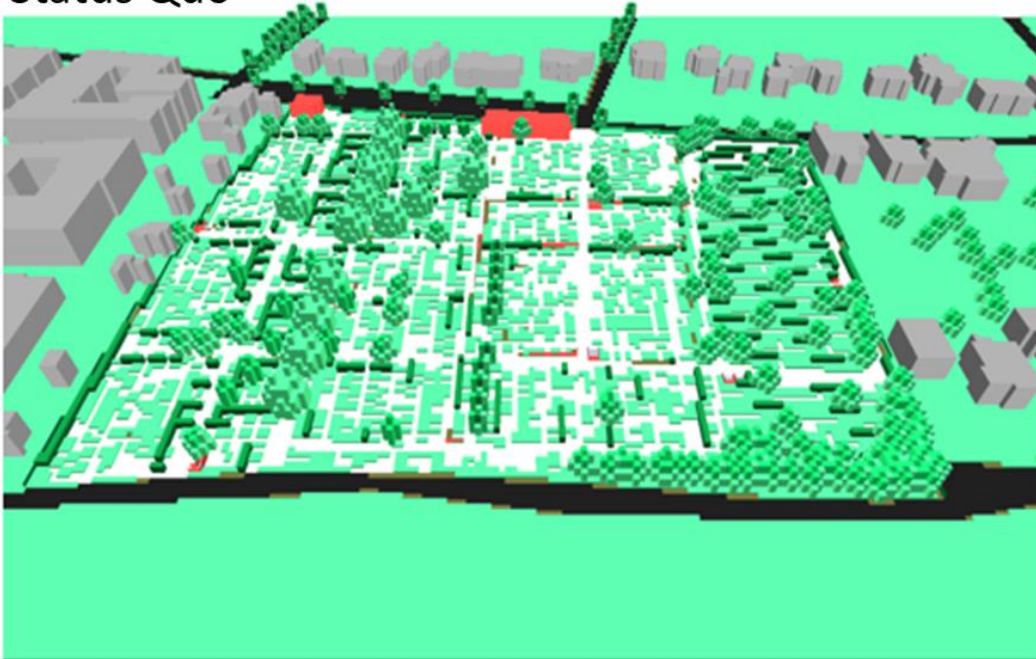


Abbildung 14: Darstellung der Wege des Friedhofs Sievering. Graue Wege sind versiegelt, ockerfarbene Wege sind entsiegelt

Der Worst-Case besteht wie beim Friedhof Meidling aus einer komplett versiegelten Fläche, mit nur $\frac{1}{4}$ des aktuellen Baumbestands.

Status Quo



Worst Case

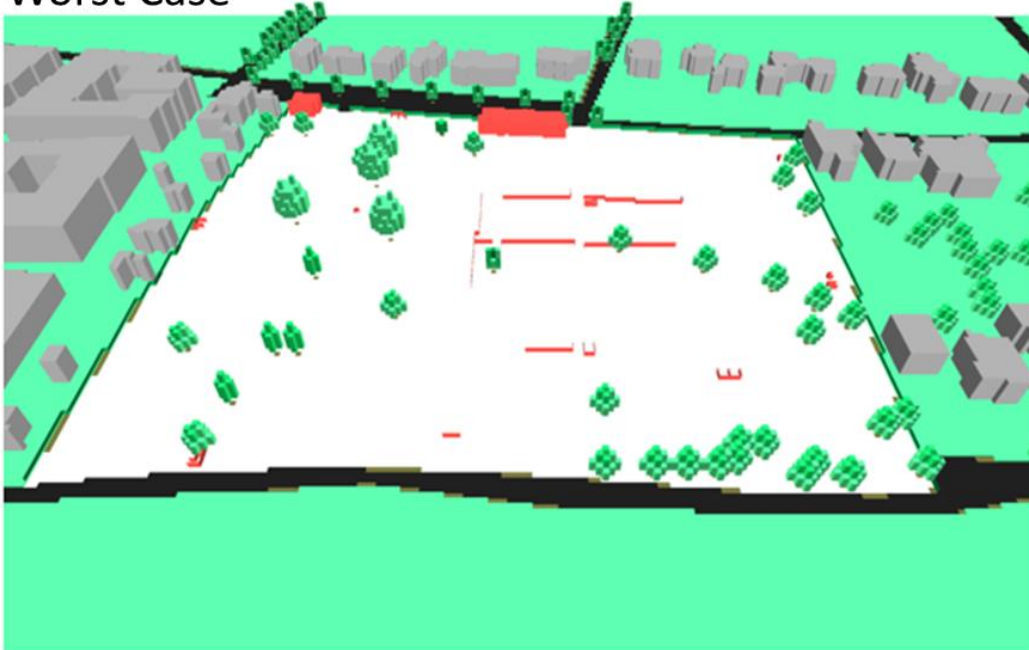


Abbildung 15: Vergleich des Friedhofsgeländes Status Quo und Worst-Case Szenario. Im Worst-Case Szenario wurde der Friedhof vollständig versiegelt (=weiße Fläche)

Die absoluten und prozentuellen Änderungen am Baumbestand, sowie der entsiegelten und versiegelten Fläche sind in Tabelle 5 für den Friedhof Sievering angegeben.

Tabelle 5: Darstellung des Status Quo und der Begrünungsszenarien in absoluten Zahlen, sowie der prozentuellen und absoluten Änderung für den Friedhof Sievering

SIEVERING	Worst case	Status quo	Moderate	Maximum
Anzahl d. Bäume	40	161	290	332
Anzahl versiegelter Gräber	5297	1843	922	369
Fläche versiegelter Gräber [m ²]	20660	7391	3684	1478
Anzahl unversiegelter Gräber	0	3454	4375	4928
Fläche unversiegelter Gräber [m ²]	0	13269	16976	19183
Fläche versiegelter Wege [m ²]	10527	10527	3546	3238
Fläche unversiegelter Wege [m ²]	0	0	6981	7289

Worst case	Moderate	Maximum	Worst case	Moderate	Maximum
-75%	80%	106%	-121	129	171
187%	-50%	-80%	3454	-921	-1474
180%	-50%	-80%	13269	-3707	-5913
-100%	27%	43%	-3454	921	1474
-100%	28%	45%	-13269	3707	5914
0%	-66%	-69%	0	-6981	-7289
X	X	X	0	6981	7289

3.2.3 Sensitivitätsexperimente Oberflächenmaterial

Die verwendeten Materialien für die Gräber unterscheiden sich in Bezug auf ihre Albedo und Emissivität (Strahlungsvermögen) und damit zusammenhängender Oberflächentemperatur. Dadurch beeinflussen sie die darüberliegenden Luftschichten. Um diesen Effekt zu quantifizieren, hat die BOKU Oberflächentemperaturmessungen an einem wolkenfreien Sommertag durchgeführt, welche mit den Ergebnissen der Sensitivitätsexperimente aus dem Mikroklimamodell verglichen wurden.

Die untersuchten Materialien sind (in Absprache mit der BOKU):

- Gras
- Stein
- Weißer Kies
- Rindenschnitzel
- Polierter schwarzer Stein
- Asphalt

3.2.4 Vergleichsexperiment Stadt – Friedhof

Um den Effekt der Friedhöfe greifbarer zu machen, werden die vorherrschenden Temperaturen auf den Friedhöfen auch mit einem typischen Wiener Quartier verglichen, dieses weist folgende Charakteristika auf:

- dicht bebaut (3- bis 4-stöckige Wohnhäuser)
- 1 Park
- breite Durchzugsstraßen
- schmale Einbahnstraßen
- wenig Begrünung und Bäume

3.3 Meteorologische Eingangsdaten

Heiße, wolkenlose Sommertage bieten die optimalen Voraussetzungen, um die Wirkung der zusätzlichen Begrünungsmaßnahmen bestmöglich abzuschätzen. Deshalb wurden die Beobachtungen der BOKU zur Auswahl des Tages herangezogen, wodurch zusätzlich eine Verifikation des Modells ermöglicht wird. Darüber hinaus wurden die Messungen der GeoSphere Austria (vormals ZAMG) der Stationen Wien Hohe Warte und Innere Stadt herangezogen, da die BOKU-Stationen keine Windmessungen beinhalten. Jedoch sind windschwache Lagen für das Mikroklimamodell zu bevorzugen, weshalb die Wahl auf den 4. August 2022 fiel.

Die meteorologischen Eingangsdaten für das Modell wurden wie folgt definiert:

- Minimum Temperatur um 05:00 Uhr: 22°C
- Maximum Temperatur um 16:00 Uhr: 35°C
- Minimum relative Feuchte um 16:00 Uhr: 35%
- Maximale relative Feuchte um 04:00 Uhr: 70%
- Windgeschwindigkeit: 2m/s
- Windrichtung **Meidling**: Ostwind
- Windrichtung **Sievering**: Nord-West (hangabwärts)
- Wolkenloser Himmel

3.4 Evaluierete Parameter

In dem vorliegenden Bericht werden im Detail die Lufttemperatur (kurz Temperatur) in einer Höhe von 1.5m über Grund und zusätzlich zur Lufttemperatur die PET (physiologisch äquivalente Temperatur) analysiert. Die PET wird oft als Maß für das menschliche Temperaturempfinden herangezogen, da zusätzlich zur Lufttemperatur auch Parameter wie Feuchte, Strahlung und Körpertemperatur miteingehen. Zur besseren Interpretation der PET, sind die resultierenden PET-Werte menschlichem Empfinden zugeordnet (Tabelle 6).

Tabelle 6: Menschliches Temperaturempfinden und die dazugehörigen PET Werte¹⁰

Menschliches Empfinden (nur für warme Bedingungen)	PET in °C
Angenehm	18.1 – 23.0
Etwas warm	23.1 – 29.0
Warm	29.1 – 35.0
Heiß	35.1-41.0
Sehr heiß	>41.0

¹⁰ Langer, Ines, Elham Fakharizadehshirazi, and Jochen Werner. "Spatial variation of physiologically equivalent temperature in different Local Climate Zones of a large city during a hot spell." *Meteorologische Zeitschrift* 30 (2021): 115-125.

4. ERGEBNISSE

4.1 Status Quo und Verifikation

Wie in 2 beschrieben, wurden die Friedhöfe Meidling und Sievering so detailliert als möglich mit einer horizontalen räumlichen Auflösung von 1,5m im Modell dargestellt.

4.1.1 Friedhof Meidling

Die Lufttemperatur variiert über den Friedhof verteilt, abhängig von den vorherrschenden Gegebenheiten (Abbildung 16). Dabei zeigt sich deutlich der kühlende Effekt der bestehenden Bäume, welche zum Beispiel im Norden des neuen Teils eine Abkühlung von bis zu 2°C im Vergleich zu den versiegelten Gebieten im westlichen alten Teil bewirken (Abbildung 16, mitte). Der Abkühlungseffekt des neuen Teils wirkt sich durch den vorherrschenden Ostwind auch auf die Straße zwischen den beiden Teilen aus.

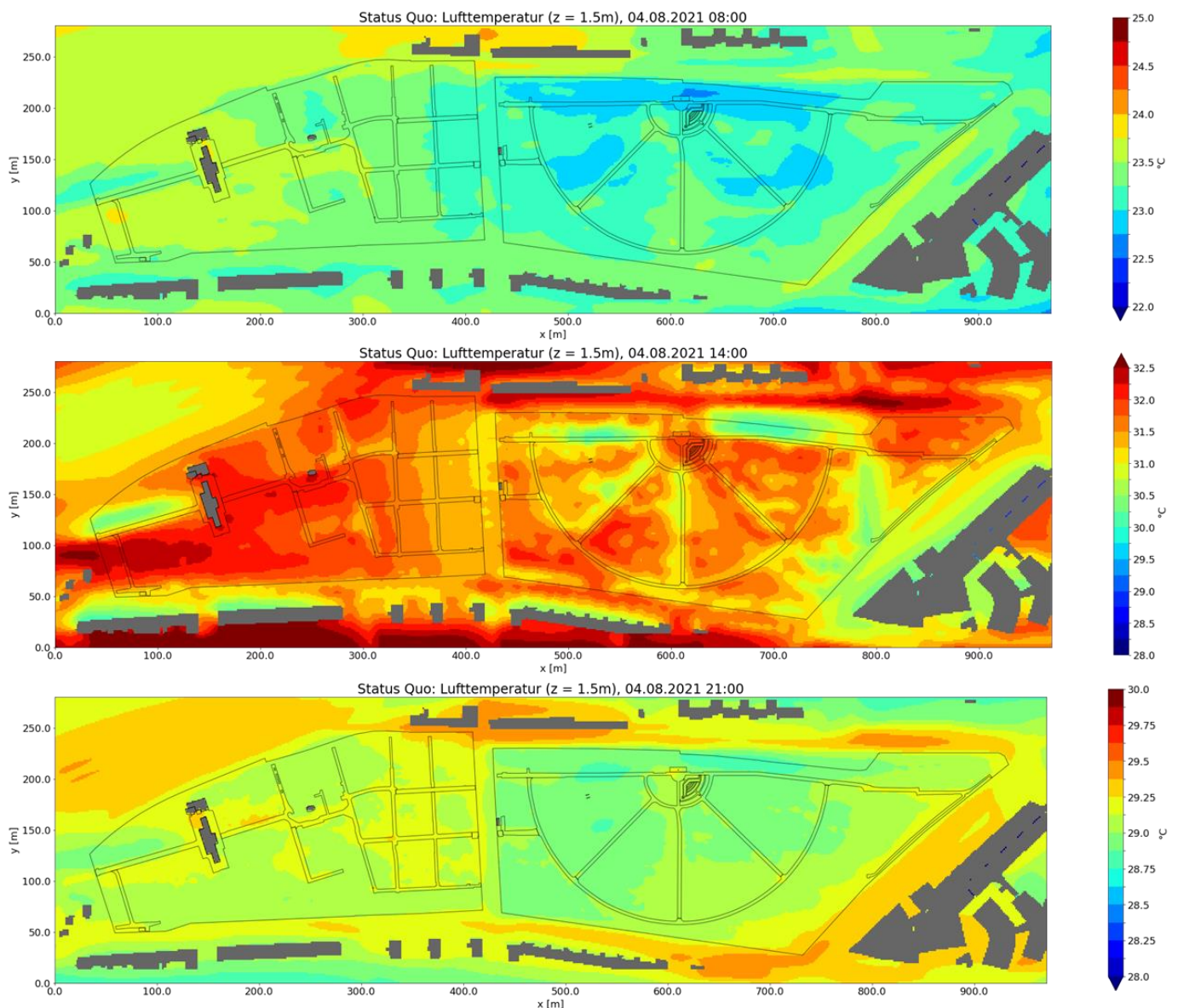


Abbildung 16: Lufttemperatur des Friedhofs Meidling um 08:00 Uhr (oben), 14:00 Uhr (mitte), 21:00 Uhr (unten)

Die Ergebnisse der Simulation wurden mit den Beobachtungsdaten der BOKU verglichen, dafür wurden die Modelldaten an den Stationspunkten im Modell abgegriffen (Abbildung 17). Die Beobachtungsdaten sind für jene Tageszeit dargestellt, welche mit der Simulationszeit übereinstimmt. Dabei zeigt sich, dass das Modell

den Tagesverlauf der Temperatur an den meisten Stationen zufriedenstellend widerspiegelt. Die Maximaltemperatur wird vom Modell zur Mittagszeit erreicht, außer bei der Station 4, welche die größte Differenz (bis zu 1°C, Abbildung 17 rosa Linien) aufweist. Der Ausreißer der Station 5 um 18Uhr weist auf einen Messfehler hin. Das Modell kühlt jedoch nachts zu wenig stark aus, was auch auf die vorgegebenen meteorologischen Eingangsdaten (3.3), welche eine Minimumtemperatur von 22°C aufweisen, zurückgeführt werden kann.

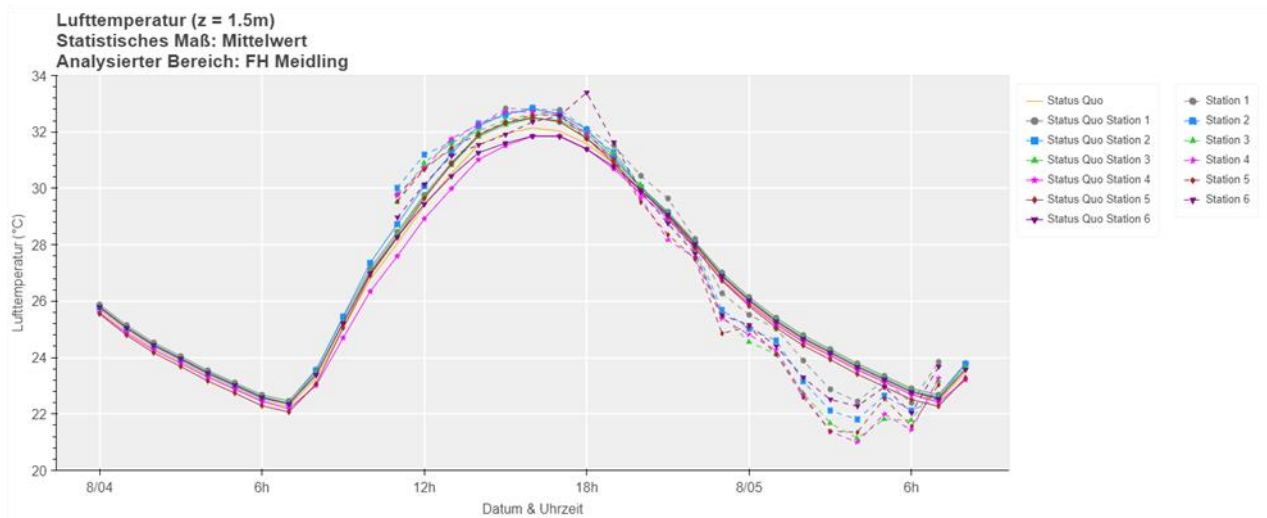


Abbildung 17: Vergleich Modell- und Beobachtungsdaten an den Standorten der Messinstrumente. Modellergebnisse sind in durchgezogener Linie, Beobachtungen durch strichlierte Linien dargestellt.

An einem heißen Sommertag, wie in der vorliegenden Studie gewählt, kommt es innerhalb des Friedhofsgeländes zu Mittag (14 Uhr) zu einer PET von rund 46°C und stellenweise bis zu 50°C, was dem Gefühl „sehr heiß“ (PET > 41°C, Tabelle 6) entspricht. Diese Bedingungen herrschen auf allen freien Flächen vor (Abbildung 18). Nur unterhalb der Bäume treten aufgrund des Schattenwurfs angenehme bis warme Bedingungen auf, mit PET Werten von <28°C bis 37°C.

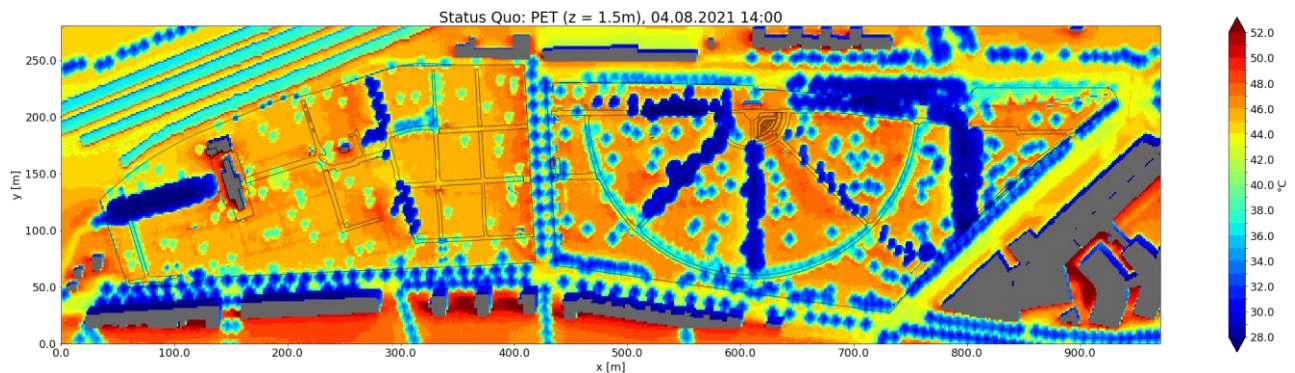


Abbildung 18: PET am Friedhof Meidling im Status Quo zur Mittagszeit 14.00 Uhr

4.1.2 Friedhof Sievering

Beim Friedhof Sievering kommt es aufgrund des vorherrschenden Versiegelungsgrades zu einer Erwärmung der darüber fließenden Luft (Abbildung 19). So weist der Westen des Friedhofs kühlere Temperaturen auf als der mittlere und östliche Teil. Die erwärmte Luft wird auch hangabwärts weitergetragen und erwärmt somit die Umgebung, obwohl der östliche Bereich bereits viele entsiegelte Gräber aufweist. Dadurch kommt es abends zu einer schnelleren Abkühlung, als im mittleren Teil des Friedhofs (Abbildung 19, unten).

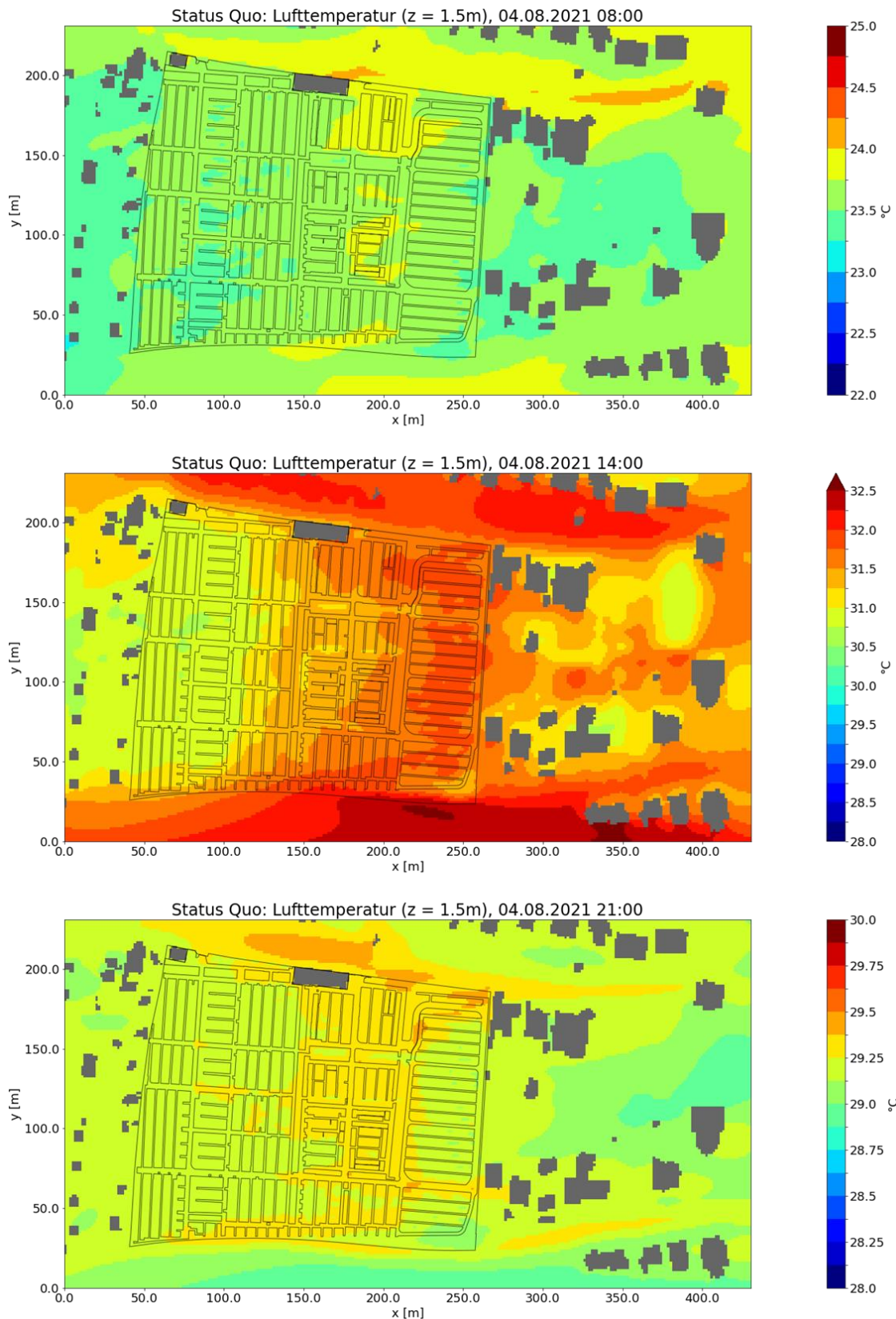


Abbildung 19: Lufttemperatur des Friedhofs Sievering um 08:00 Uhr (oben), 14:00 Uhr (mitte), 21:00 Uhr (unten)

Beim Vergleich der Modell- mit den Beobachtungsdaten zeigen sich stärkere Unterschiede als beim Friedhof Meidling (Abbildung 20), wobei der Verlauf der Messungen (bis auf Station 2) auf einen Strahlungsfehler hinweisen. So kommt es bei den Stationen zu einer schnellen und sehr starken Erwärmung, die abrupt um bis zu 2°C fällt, sobald die Station in den Schatten der umliegenden Bäume kommt. Die rasche Abkühlung des Friedhofs nach Sonnenuntergang wird vom Modell unterschätzt, was einerseits durch die Modelldomäne, welche den Bereich rund um den Friedhof, jedoch nicht die Hanglage und die umliegenden, rasch abkühlenden Grünflächen abdeckt und andererseits auf die bereits angesprochene mögliche Strahlungsempfindlichkeit der Temperaturmessgeräte zurückgeführt werden kann.

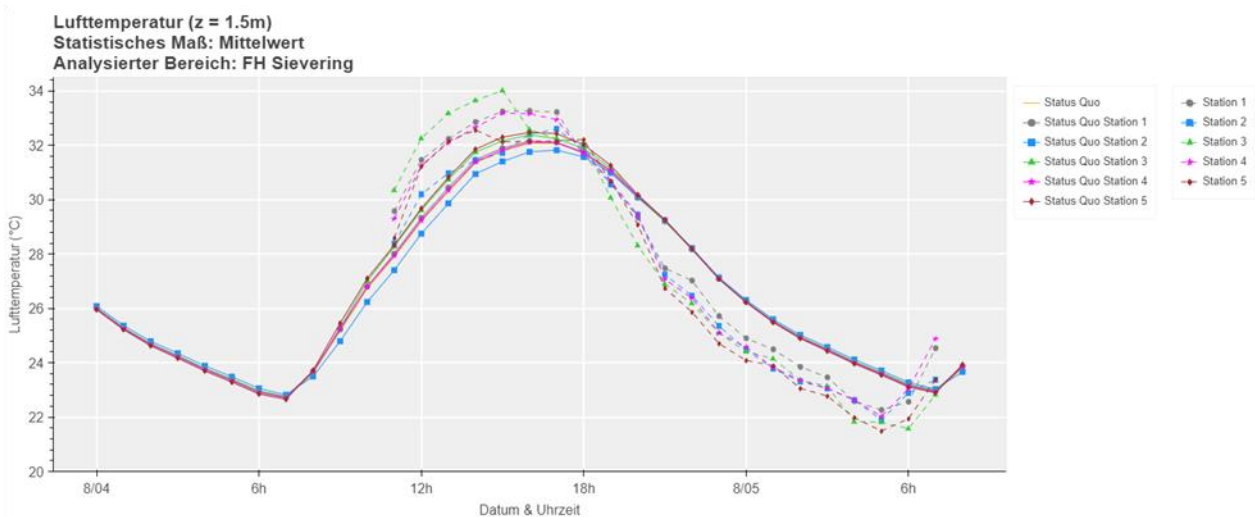


Abbildung 20: Vergleich Modell- und Beobachtungsdaten des Friedhofs Sievering an den Standorten der Messinstrumente. Modellergebnisse sind in durchgezogener Linie, Beobachtungen durch strichlierte Linien dargestellt.

Im Gegensatz zur Lufttemperatur ist die PET am Friedhof Sievering geringer als in den umgebenden Freiflächen (Abbildung 21), weist jedoch Werte von $>41^{\circ}\text{C}$ und somit eine hohe Hitzebelastung auf (Tabelle 6). Die extremen Werte nahe den Gebäuden (außerhalb und auch am Friedhof) sind erhöhten Strahlungswerten geschuldet. Dort wirkt nicht nur die direkte und vom Boden reflektierte solare Strahlung, sondern auch die Reflexion an den Gebäuden, sowie deren Abstrahlung im langwelligen Spektrum. Die Wirkung der vorherrschenden Bäume in der gesamten Domäne führt zu einer lokalen Abkühlung und angenehmen Bedingungen.

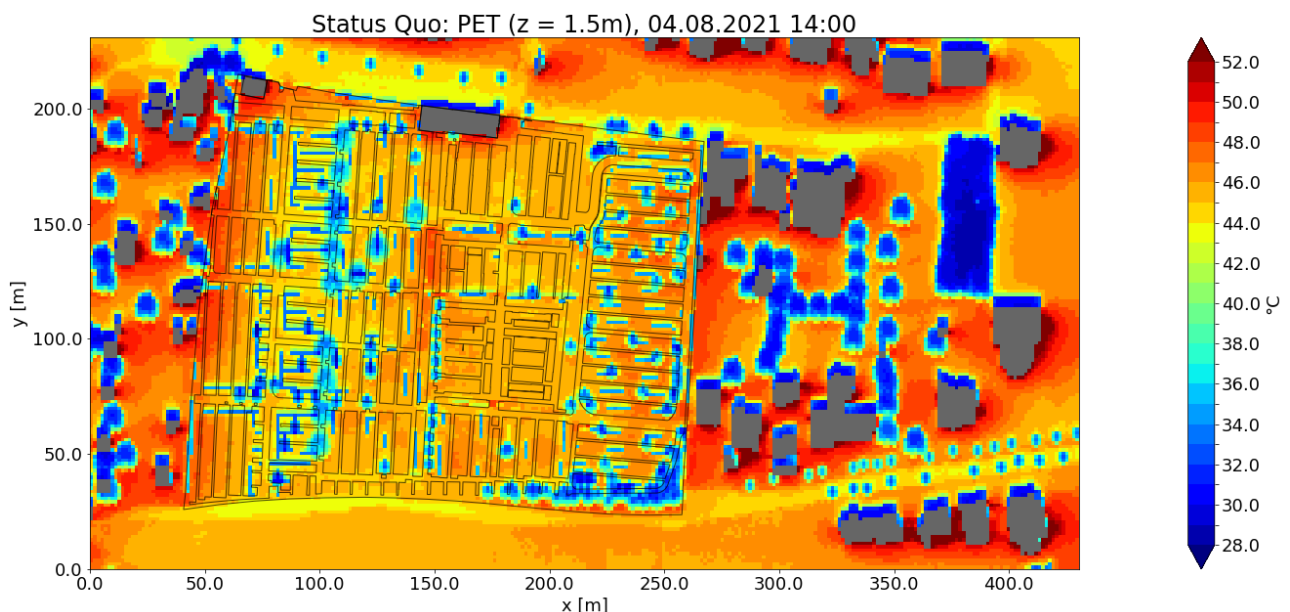


Abbildung 21: PET am Friedhof Sievering im Status Quo zur Mittagszeit 14.00 Uhr

4.2 Begrünungsszenarien

4.2.1 Friedhof Meidling

Der zeitliche Verlauf der mittleren Lufttemperatur des Friedhofsgebiets der unterschiedlichen Begrünungs- und Entsiegelungsszenarien und des Status Quo ist in Abbildung 22 dargestellt und zeigt deutlich den Effekt der unterschiedlichen Maßnahmen (zusätzliche Bäume und Entsiegelung, bzw. Versiegelung). Die Begrünungsszenarien führen zu einer langsameren und abgeschwächten Erwärmung des Friedhofsgebiets. So intensiviert sich der Unterschied zwischen dem Status Quo (Abbildung 22, orange Linie) und den Begrünungsszenarien (blaue und grüne Linie) ab Sonnenaufgang kontinuierlich, bis der größte Unterschied mit $>1^{\circ}\text{C}$ zwischen 14 und 16 Uhr auftritt. Mit abnehmendem Sonnenstand nähern sich die drei Linien einander an und sind ab 23 Uhr fast ident. Das Worst-Case Szenario jedoch weist über den gesamten Zeitverlauf deutlich höhere Temperaturen als der Status Quo (maximaler Unterschied $\sim 1^{\circ}\text{C}$ zwischen 16 und 20 Uhr) auf. Im Vergleich zum Maximum Szenario beträgt die mittlere Lufttemperatur um 1.7°C mehr.

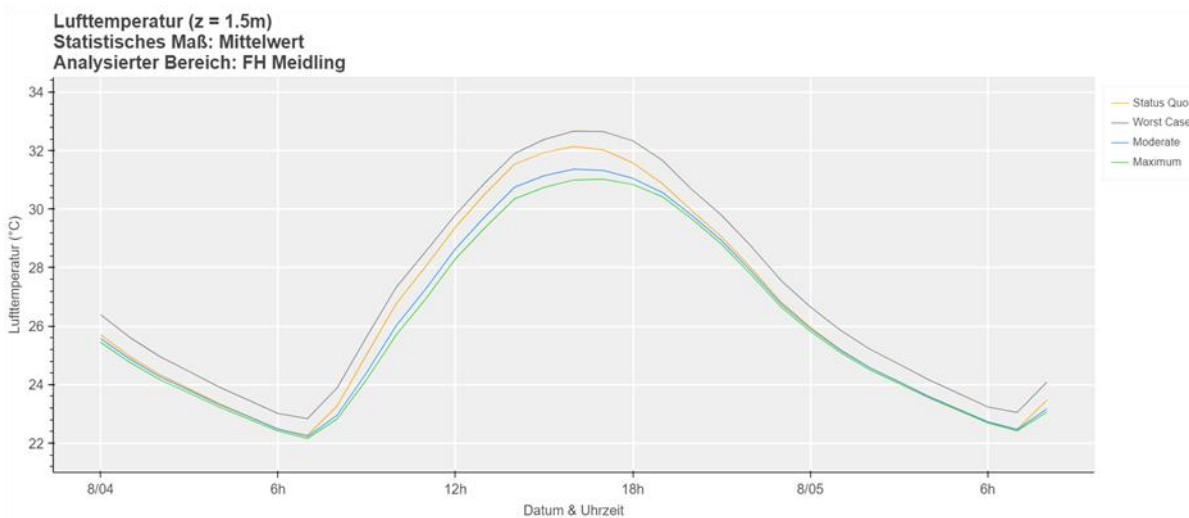


Abbildung 22: zeitlicher Verlauf der mittleren Lufttemperatur über das gesamte Friedhofsgebiet. Orange = Status Quo, Blau = Moderat, Grün = Maximum und Grau = Worst Case Szenario

Die räumlichen Differenzkarten zwischen dem Status Quo und dem moderaten, sowie maximalen Szenario zeigen deutlich den lokalen Abkühlungseffekt der Maßnahmen, jedoch wird dieser auch über das Friedhofsgelände weiter verbreitert, wodurch die kühlende Wirkung auf die Umgebung verstärkt wird. Dies ist vor allem in der Straße zwischen dem Alten und Neuen Teil des Friedhofs Meidling zu sehen, sowie nordwestlich des Friedhofs über dem Schienen- und Bahnhofsbereich (maximaler Effekt um 14 Uhr: $0.6 - 1.5^{\circ}\text{C}$, Abbildung 23 mitte).

Wie bereits im zeitlichen Verlauf gesehen, nimmt der Unterschied zwischen den Simulationen nach Sonnenuntergang ab, jedoch kommt es im Maximum Szenario auch um 21:00 Uhr noch zu einer Abkühlung zwischen 0.2 und 0.6°C . Im Falle einer vollständigen Versiegelung des Friedhofsgeländes und der fast kompletten Rodung der Bäume kommt es zu einer Erwärmung um bis zu 2°C im Vergleich zum Status Quo. Der Effekt auf die Umgebung des Friedhofs ist in der Früh (08:00 Uhr) und abends (21:00 Uhr, Abbildung 23) stärker ausgeprägt als untertags, da die Abkühlung durch die Versiegelung verhindert wird und beträgt zwischen 0.5 und 1°C (wärmer als im Status Quo).

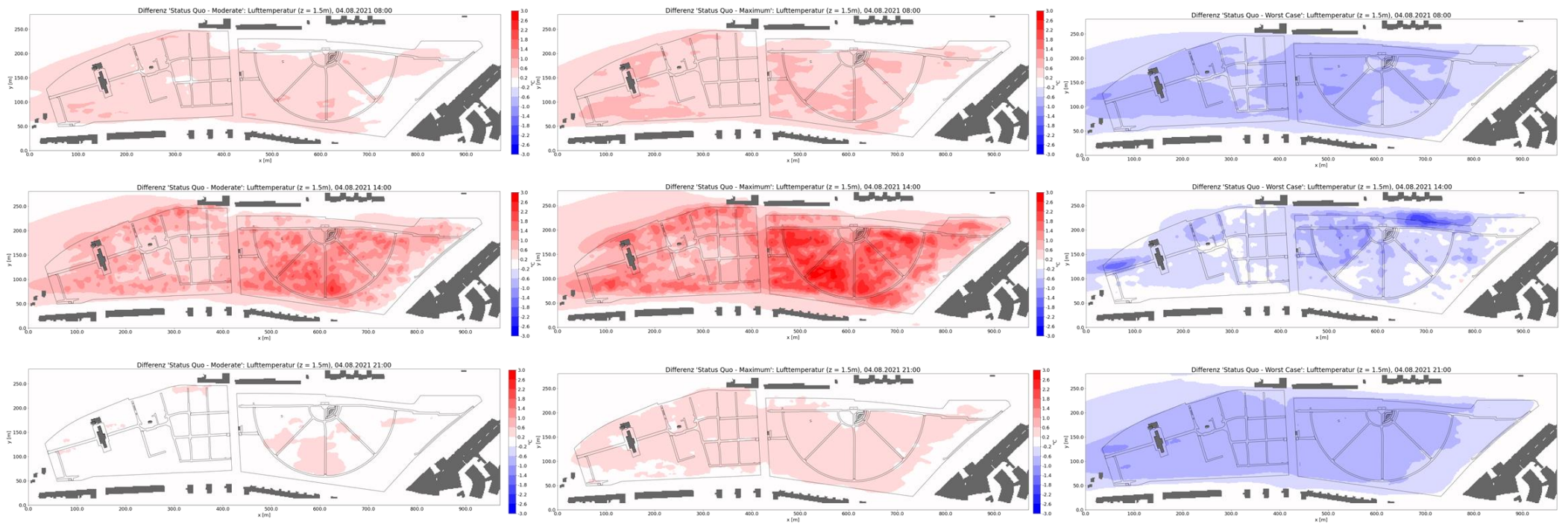


Abbildung 23: Differenzkarten Status Quo im Vergleich zu Moderat (linke Spalte) und Status Quo im Vergleich zu Maximum (mittlere Spalte); Status Quo im Vergleich zu Worst-Case (rechte Spalte); oben: 08:00 Uhr, mitte: 14:00 Uhr, unten: 21:00 Uhr; Legende gültig für alle Karten

Zusätzlich wurde der Effekt der unterschiedlichen Szenarien auf die Umgebung anhand der vorherrschenden Lufttemperatur in den Bereichen rund um den Friedhof Meidling analysiert (Abbildung 24). Dabei zeigt sich, dass die Straße zwischen den beiden Teilen des Friedhofs in den Begrünungsszenarien (Moderat, Maximum) untertags geringere Lufttemperaturen als im Status Quo aufweist (<1°C), und knapp 2°C kühler ist als im Worst-Case Szenario. Das zeigt, dass die kühlende Wirkung des Friedhofs auf die in Windrichtung gelegenen Straßen einen deutlichen Abkühlungseffekt hat. Dieser ist vor allem nach Sonnenaufgang und bis zum Sonnenuntergang vorhanden. Falls es zu einer Versiegelung des Friedhofs kommen würde, so hätte das sowohl tagsüber als auch nachts eine Erwärmung zur Folge. Das Bahnhofsgebiet nord-westlich des Friedhofs weist eine geringere Sensitivität gegenüber der Szenarien auf als der Straßenzug. Dieser Effekt ist auf die offene Fläche der Schienen zurückzuführen.

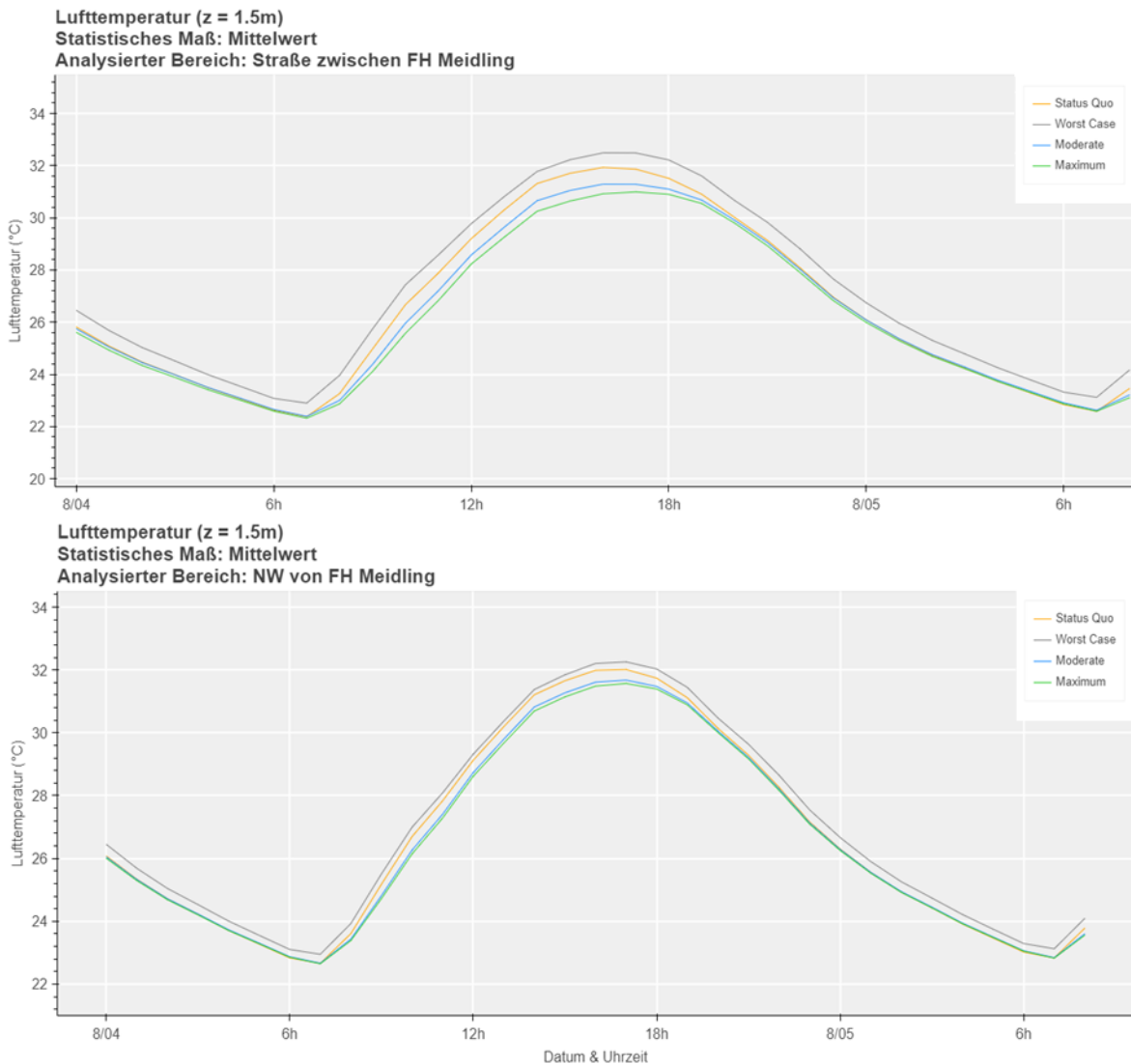


Abbildung 24: Mittlere Lufttemperatur (Orange = Status Quo, Blau = Moderat, Grün = Maximum und Grau = Worst Case Szenario); oben: Straßenzug zwischen dem Alten und Neuen Teil des Friedhofs Meidling; unten: Schienenbereich nord-westlich des Friedhofs

Die Unterschiede zwischen dem Status Quo und den Begrünungsszenarien in der PET treten sehr lokal an den Stellen der gesetzten Maßnahmen auf (Abbildung 25). Da in die Berechnung der PET auch die Strahlung miteingeht, bewirkt die zusätzliche Beschattung Unterschiede von bis zu 30°C. Diese hohen Werte treten aufgrund der Berechnungsmethode der PET auf und repräsentieren den großen gefühlten Unterschied zwischen direkter Sonneneinstrahlung und Schatten. Da die PET die lokale Wirkung gesetzter Maßnahmen darstellt, ist der Effekt nur innerhalb des Friedhofsgeländes sichtbar, im Gegensatz zur Lufttemperatur, welche auch die positiven/negativen Auswirkungen auf die benachbarten Gebiete darstellt.

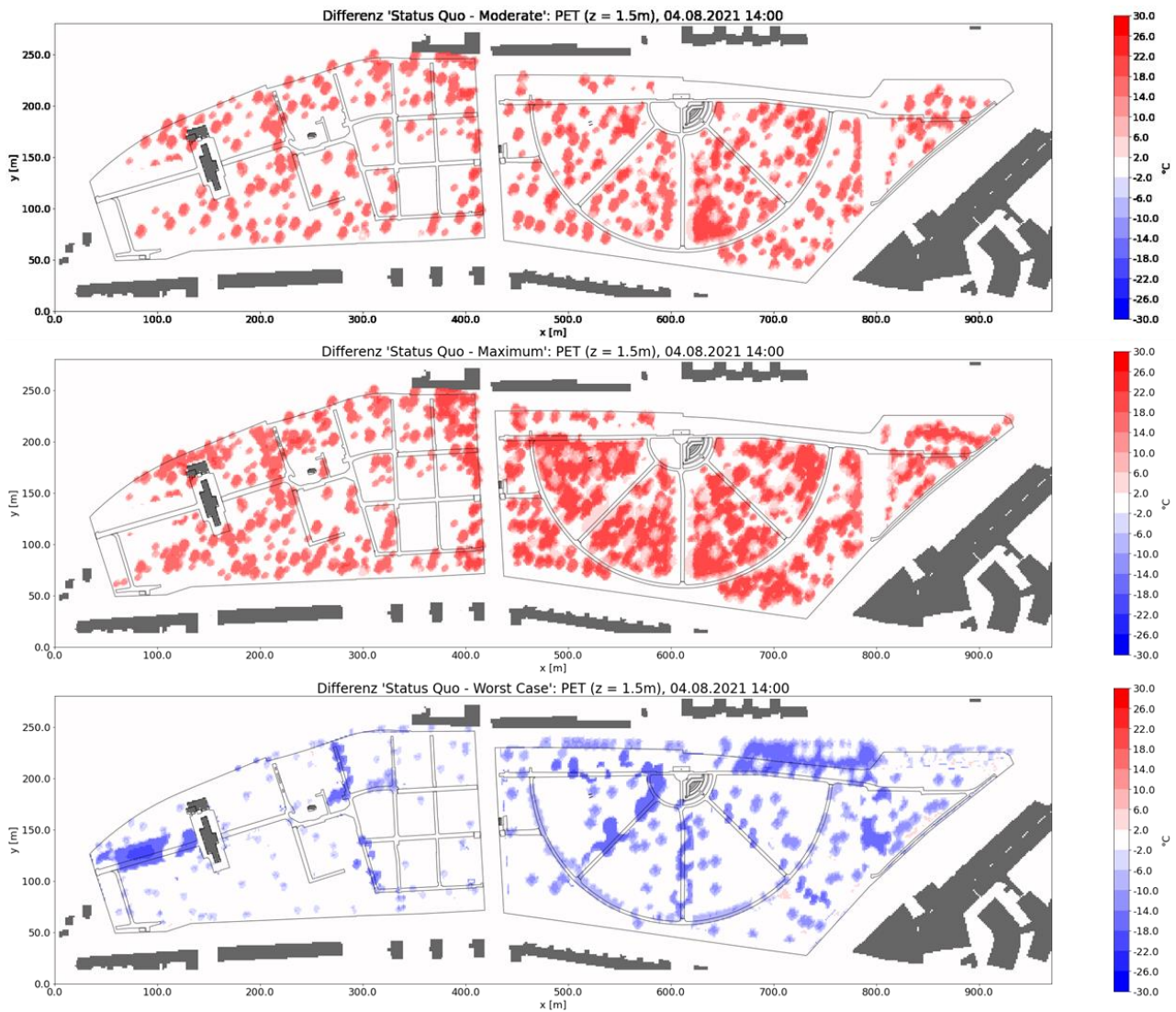


Abbildung 25: PET des Friedhofs Meidling um 14.00 Uhr. oben: Status-Quo minus moderates Szenario; mitte: Status Quo - maximales Szenario; unten: Status Quo - Worst Case;

Gemittelt über das Friedhofsgelände bewirken die gesetzten Maßnahmen in den Szenarien eine Abkühlung von 5-7°C (Moderat, Maximum) und eine Erwärmung von 2°C (Worst Case) im Vergleich zum Status Quo. Da die Effekte der Maßnahmen in der PET so lokalisiert auftreten, verringert sich die Intensität, sobald es räumlich (über das gesamte Friedhofsgelände) gemittelt wird.

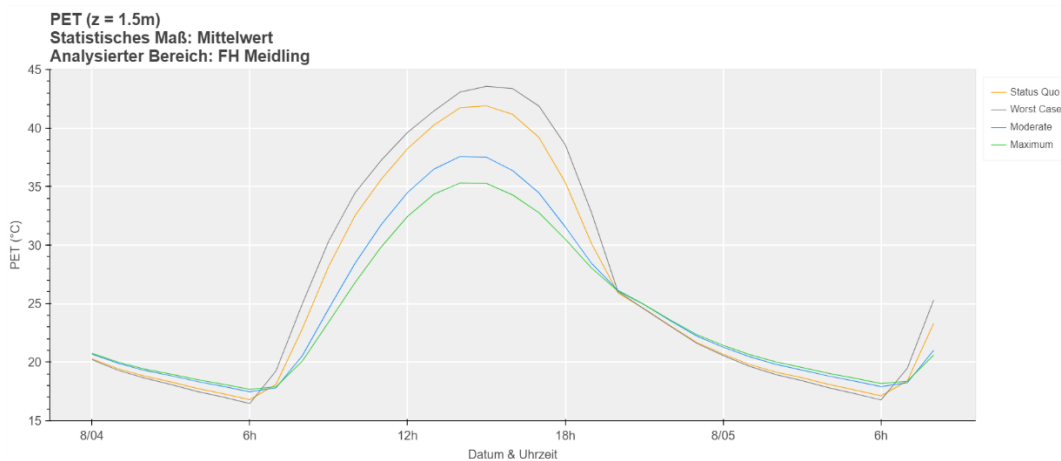


Abbildung 26: zeitlicher Verlauf der PET gemittelt über den Friedhof Meidling

Zusätzlich zur Hitze stellen auch die zunehmenden **Starkniederschlagsereignisse**, vor allem im Sommer nach längeren Phasen der Trockenheit, die städtische Infrastruktur vor große Herausforderungen. Deshalb wurde abgesehen vom Temperatureffekt auch das **Versickerungspotential** der unterschiedlichen Szenarien evaluiert. Dabei zeigt sich, dass aktuell etwas mehr als die Hälfte des fallenden Niederschlags versickert und der Rest (42%) über die Kanalisation abfließt (Tabelle 7). Durch die Begrünungsszenarien kann dieser Wert auf 33% verringert werden (Tabelle 7). Als Grundlage wurde der Bemessungsniederschlag aus der ehyd Datenbank¹¹ verwendet, wobei der Niederschlagswert mit einer 5-jährigen Eintrittswahrscheinlichkeit gewählt wurde. Für Meidling ergibt sich ein Bemessungsniederschlag von 4.470 m³/h.

Tabelle 7: Abflussbeiwerte der unterschiedlichen Szenarien je nach Flächenkategorie und als Prozentwert; der Abflussbeiwert gibt an wie viel Niederschlag, der auf der entsprechenden Fläche auftrifft, abfließt (1 = kompletter Abfluss, 0 = komplette Versickerung)

Meidling	Abflussbeiwert	abzuführende Wasser-menge	Worst Case	Status Quo	Moderate	Maximum
Baumflächen [n Bäume a 8 m ²]	0,05	Liter	47.277	188.842	317.392	401.322
Fläche versiegelter Gräber	1	Liter	48.964.024	8.988.568	5.879.720	4.021.848
Fläche unversiegelter Gräber	0,3	Liter	-	11.992.637	12.925.291	13.482.653
Fläche versiegelter Wege	1	Liter	10.148.576	7.252.208	5.834.568	4.203.784
Fläche unversiegelter Wege	0,58	Liter	-	1.679.893	2.526.387	3.469.546
Andere versiegelte Fläche (Gebäude, Wasserbox, etc.)	1	Liter	24.259.904	2.665.960	1.105.228	1.105.228
Hecke	0,2	Liter	195.482	195.482	195.482	195.482
Wiese	0,3	Liter	-	5.628.794	5.313.162	4.810.979
		In % des NS	98%	43%	37%	33%

¹¹ <https://ehyd.gv.at>

4.2.2 Friedhof Sievering

Am Friedhof Sievering ist der Effekt der Szenarien auf die Lufttemperatur, gemittelt über das gesamte Areal, nicht so ausgeprägt wie am Friedhof Meidling (Abbildung 27). So bewirken die Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen eine langsamere und abgeschwächte Erwärmung des Friedhofsgebiets, was zu einer Abkühlung im Vergleich zum Status Quo von bis zu 0.5°C zwischen 14.00 und 16.00 Uhr führt. Mit abnehmendem Sonnenstand nähern sich die drei Linien einander an und sind ab 23 Uhr fast ident. Die komplette Versiegelung, also das Worst-Case Szenario, bewirkt eine Erwärmung des Friedhofsgeländes von etwa 0.3°C.

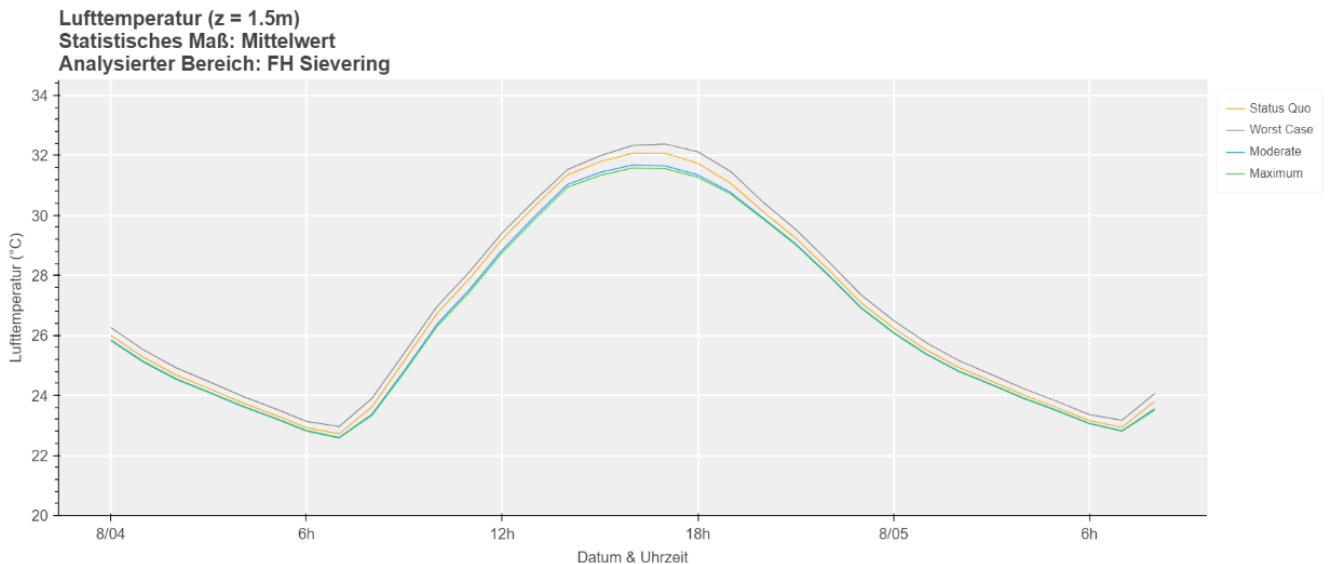


Abbildung 27: zeitlicher Verlauf der mittleren Lufttemperatur über das gesamte Friedhofsgebiet. Orange = Status Quo, Blau = Moderat, Grün = Maximum und Grau = Worst-Case Szenario

Bei der räumlichen Betrachtung zeigt sich, dass der kühlende Effekt der zusätzlichen Begrünung und Entsiegelung aufgrund der vorherrschenden nord-westlichen Windrichtung nach Osten hin stärker wird. So treten die größten Unterschiede von bis zu 1.5°C am östlichen Rand auf, welche sich auch auf die Regionen unterhalb ausbreiten (Abbildung 28). Durch die gesetzten Maßnahmen wird der wärmende Effekt des Friedhofs (Abbildung 19) ausgeglichen, was sich vor allem auf das Friedhofsgelände und auf die Gebiete in Windrichtung, positiv auswirkt. Das moderate und maximale Szenario weisen in Sievering einen ähnlichen Effekt auf, da es aufgrund der lokalen Bedingungen (Anzahl Gräber, Größe des Friedhofs, ...) nicht so viele Möglichkeiten der Baumpflanzungen gibt und sie sich deshalb nicht so stark unterscheiden wie in Meidling. Versiegelt man hingegen die gesamte Fläche, so bewirkt das eine zusätzliche Wärmebelastung am Friedhof von bis zu 0.5°C und vor allem der hangabwärts liegenden Bereiche von bis zu 0.7°C. Dabei zeigt sich, dass die Erwärmung bis abends (21 Uhr) und bereits in der Früh (8 Uhr) vorherrscht (Abbildung 28, rechte Spalte).

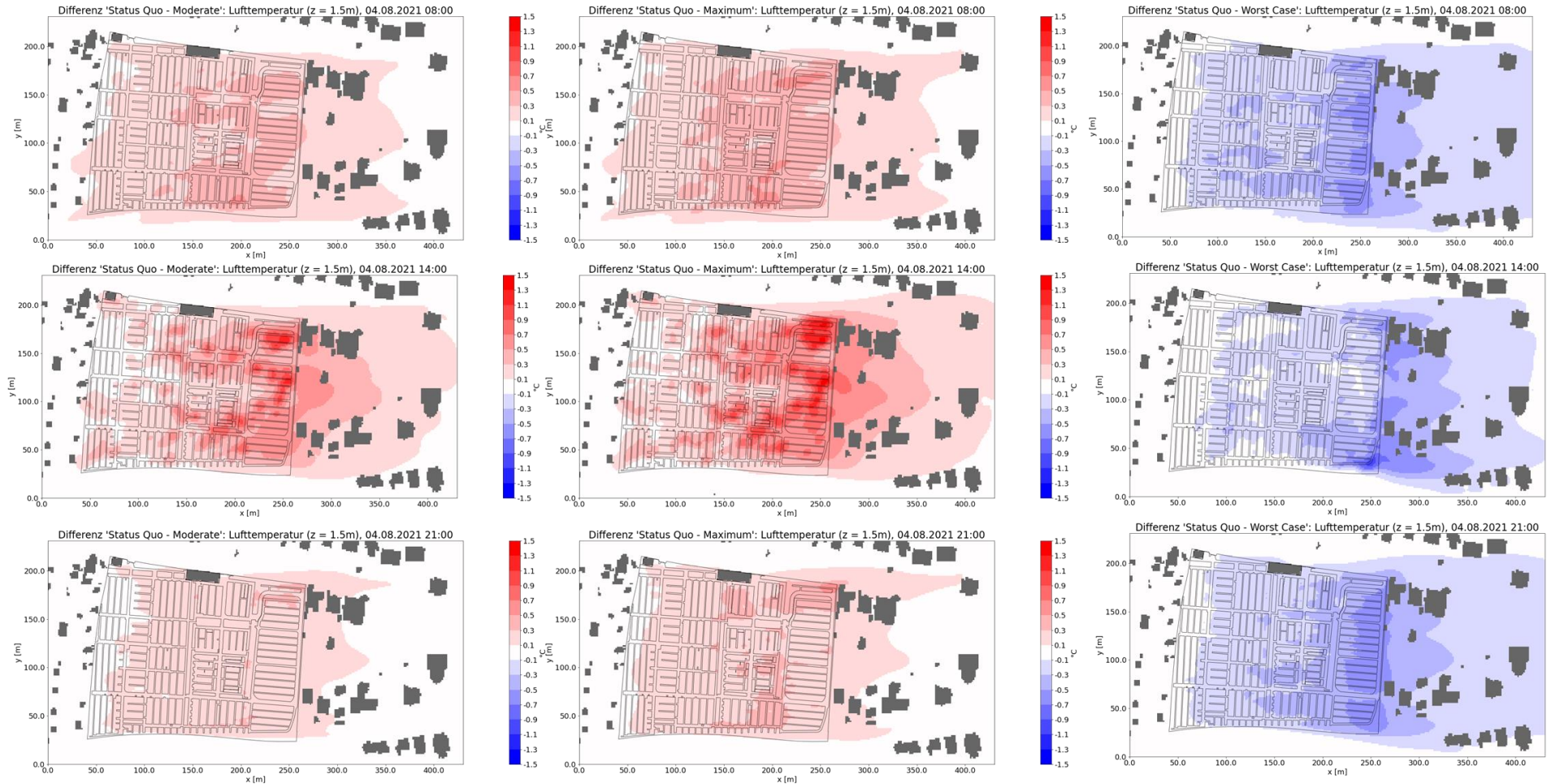


Abbildung 28: Differenzkarten Status Quo minus Moderat (linke Spalte); Status Quo minus Maximum (mittlere Spalte); Status Quo minus Worst-Case (rechte Spalte); oben: 08:00 Uhr, mitte: 14:00 Uhr, unten: 21:00 Uhr, Legende gültig für alle Karten

Um den Effekt der Maßnahmen auf die umliegenden Gebiete zu bewerten, wurde der hangabwärts liegende Bereich, bis zu 100m vom Friedhof entfernt, analysiert. Dabei zeigt sich, dass die Begrünungsszenarien eine Abkühlung und das Worst-Case Szenario wie erwartet eine Erwärmung bewirken (Abbildung 29). Gemittelt über das gesamte Gebiet liegen die Unterschiede bei rund 0.3°C, lokal betrachtet ist der Effekt jedoch größer (Abbildung 28).

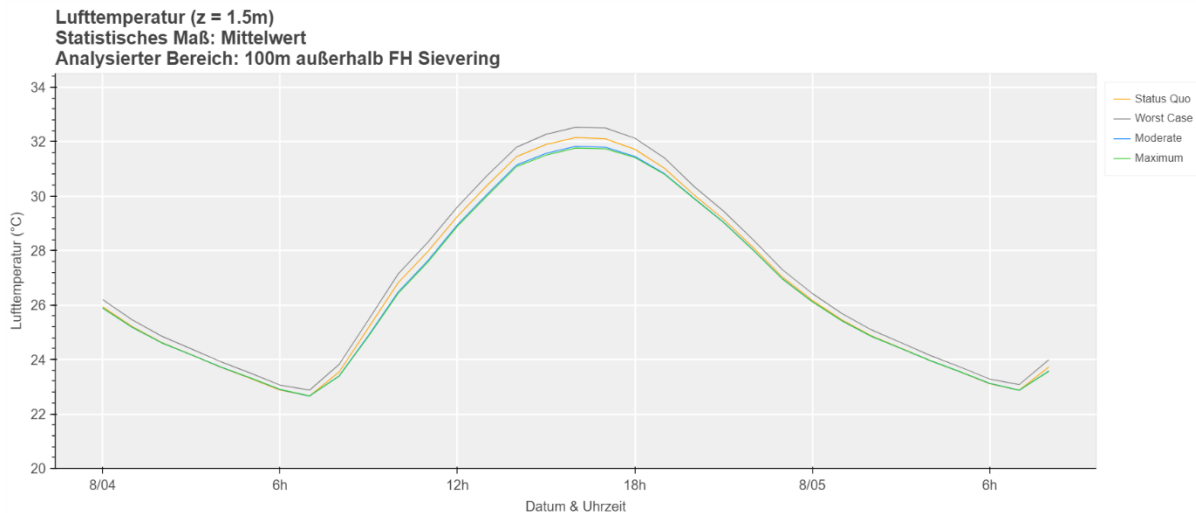


Abbildung 29: Mittlere Lufttemperatur (Orange = Status Quo, Blau = Moderat, Grün = Maximum und Grau = Worst Case Szenario); der Bereich hangabwärts vom Friedhof

Die Berechnung der PET für den Friedhof Sievering zeigt den lokalen Abkühlungseffekt der zusätzlichen Begrünung, bzw. die Erwärmung aufgrund der Baumfällungen im Worst-Case Szenario von bis zu $\pm 20^\circ\text{C}$ (Abbildung 30). Da die PET die lokale Wirkung gesetzter Maßnahmen darstellt, ist der Effekt nur innerhalb des Friedhofsgeländes sichtbar, im Gegensatz zur Lufttemperatur, welche auch die positiven/negativen Auswirkungen auf die benachbarten Gebiete darstellt.

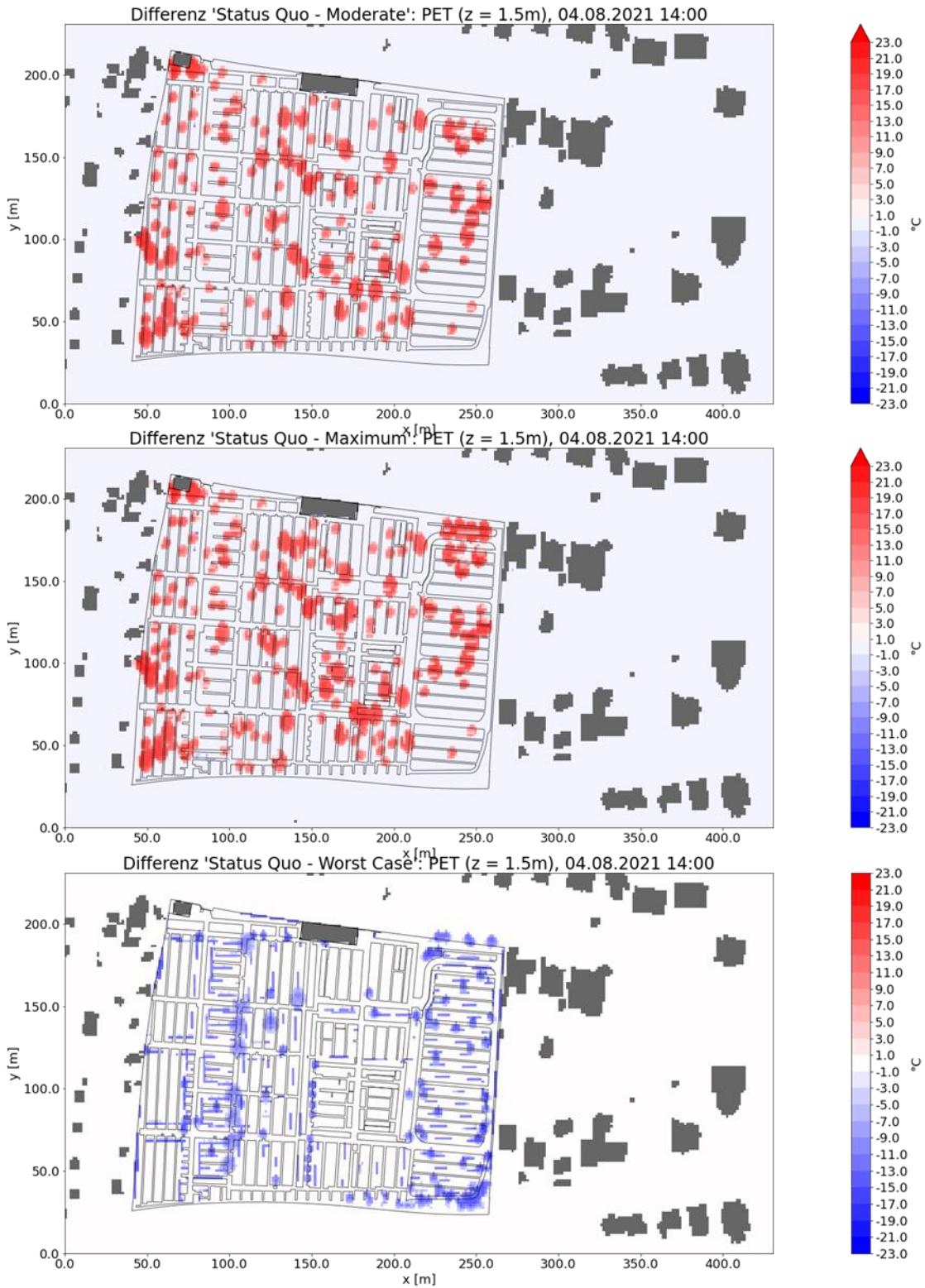


Abbildung 30: PET des Friedhofs Sievering um 14.00 Uhr. oben: Status-Quo minus moderates Szenario; mitte: Status Quo - maximales Szenario; unten: Status Quo - Worst Case

Gemittelt über die gesamte Fläche bewirken die Maßnahmen eine Abkühlung in der PET von 3 bis 4°C (Moderat/Maximum vs. Status Quo) bzw. eine Erwärmung von bis zu 2°C.

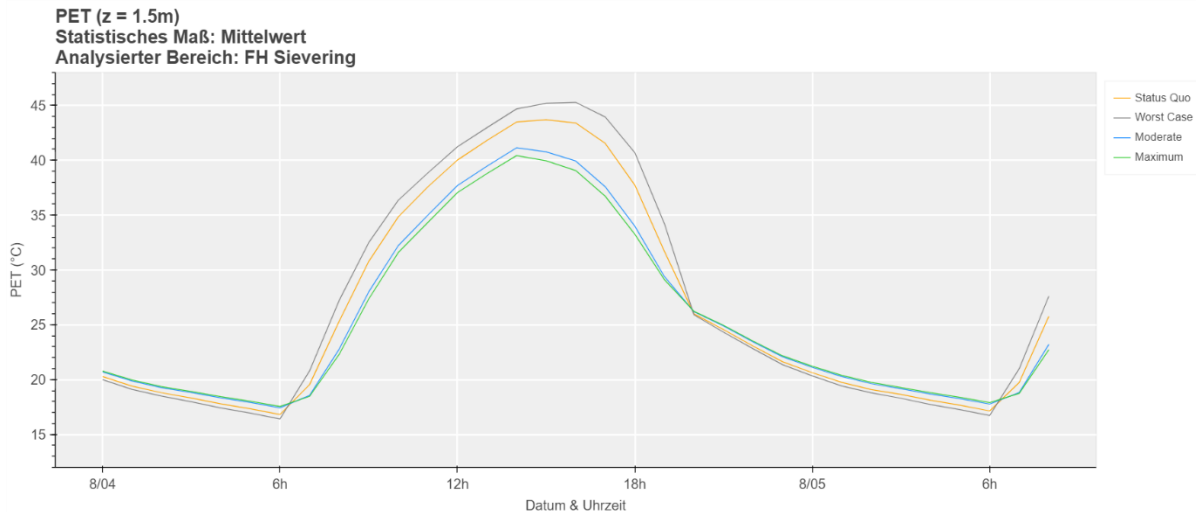


Abbildung 31: zeitlicher Verlauf der PET gemittelt über den Friedhof Meidling

Auch für den Friedhof Sievering wurde das **Versickerungspotential** für den Status Quo und die 3 Szenarien berechnet. Dabei zeigt sich, dass aktuell 63% des Niederschlags in die Kanalisation abgeleitet werden. Dieser Betrag wird im Worst-Case Szenario auf 91% erhöht, kann durch die vorgeschlagenen Begrünungs- und vor allem Entsiegelungsmaßnahmen auf 37% (Moderat) bzw. 32% (Maximum) reduziert werden (Tabelle 8). Für Sievering ergibt sich ein Bemessungsniederschlag von 1.296 m³/h mit einer 5-jährigen Eintrittswahrscheinlichkeit. Damit zeigt sich das sehr große Potential Niederschlag am Friedhof versickern zu lassen und dadurch einerseits die Kanalisation, andererseits auch die Gebiete unterhalb des Friedhofs zu entlasten.

Tabelle 8: Abflussbeiwerte der unterschiedlichen Szenarien je nach Flächenkategorie und als Prozentwert; der Abflussbeiwert gibt an wie viel Niederschlag, der auf der entsprechenden Fläche auftrifft, abfließt (1 = kompletter Abfluss, 0 = komplette Versickerung)

Sievering	Abflussbeiwert	abzuführende Wassermenge	Worst Case	Status Quo	Moderate	Maximum
Baumflächen Bäume a 8 m ² [n]	0,05	Liter	11.360	45.724	82.360	94.572
Fläche versiegelter Gräber	1	Liter	14.668.600	5.247.610	2.615.640	1.049.380
Fläche unversiegelter Gräber	0,3	Liter	-	2.826.297	3.615.888	4.085.979
Fläche versiegelter Wege	1	Liter	7.474.170	7.474.170	2.517.660	2.298.980
Fläche unversiegelter Wege	0,58	Liter	-	-	2.874.776	3.001.610
Andere versiegelte Fläche (Gebäude, Wasserbox, etc.)	1	Liter	940.040	252.760	307.430	307.430
Hecke	0,2	Liter	359.828	359.828	284.000	213.000
Wiese	0,3	Liter	272.214	272.214	149.739	182.754
		In % des NS	91%	63%	37%	32%

4.3 Sensitivitätsexperiment Materialeigenschaften

Die unterschiedlichen Oberflächen wurden mit ENVI-met simuliert, wobei Version A den standardmäßigen Modellwerten für die Albedo der Oberflächen entspricht, Version B jedoch mit den gemessenen Albedo Werten der BOKU gerechnet wurde. Für spezifische Materialien, die nicht in der Materialdatenbank von ENVI-met enthalten sind, wurden in Version A ähnliche Materialien identifiziert und die Werte entsprechend angepasst. Die Oberflächentemperatur wirkt sich auf die Temperatur der darüberliegenden Luftschichten aus, weshalb beide Temperaturen (Oberflächen- und Lufttemperatur) dargestellt sind (Abbildung 32 & Abbildung 33). Diese Experimente ermöglichen die Validierung des Modells.

Dieses spiegelt die gemessenen Temperaturen von den Oberflächen Gras und Kies in beiden Versionen recht gut wider. Bei der Asphaltstraße und Stein treten jedoch hohe Unterschiede zwischen den Messungen und Modellsimulationen auf. Durch die Verwendung der Albedo-Werte der BOKU (Version B) kommt es bei Stein zu einer besseren Übereinstimmung mit den Messungen, jedoch werden die gemessenen Werte noch stets unterschätzt. Im Fall der Asphaltstraße werden die Unterschiede durch die gemessenen Werte jedoch noch verstärkt (Version A ist besser als Version B). Beim Stein ist der Unterschied möglicherweise auf die Dicke des Grabsteins zurückzuführen, die im Modell und der Realität nicht übereinstimmen, da die Sonnenergie erst alle Schichten des Steins erwärmen muss, bevor sich die Oberfläche erhitzt. Wird im Modell von einer dickeren Steinschicht ausgegangen, so kommt es zu einer deutlich langsameren Erhitzung der Oberfläche.

Die Materialien „Poliert Schwarz“ und „Rindenschnitzel“ werden vom Modell nicht getroffen, so unterschätzt es die gemessenen Temperaturen mit bis zu 10°C. Die vorherrschenden Bedingungen führten dazu, dass die Rindenschnitzel sehr trocken waren und sie sich dadurch sehr stark erhitzt haben. In ENVI-met wurde Rindenmulch als dünne Holzschicht simuliert. Die in der Realität vorhandenen Luftschlüsse und das damit verbundene geringe Volumen einzelner Schnitzel, dürfte im Modell nicht ausreichend repräsentiert sein. Noch dazu besitzen sie nur eine dünne Schicht, wodurch die Temperatur auch nicht nach unten hin abgegeben wird (wie z.B. beim Stein), sondern sofort auf die Erwärmung der Oberfläche wirkt. Bei dem polierten schwarzen Grabstein sind die gemessenen Werte etwas zu hinterfragen, da die Spiegelung die Messungen mit dem Infrarotgerät erschwert.

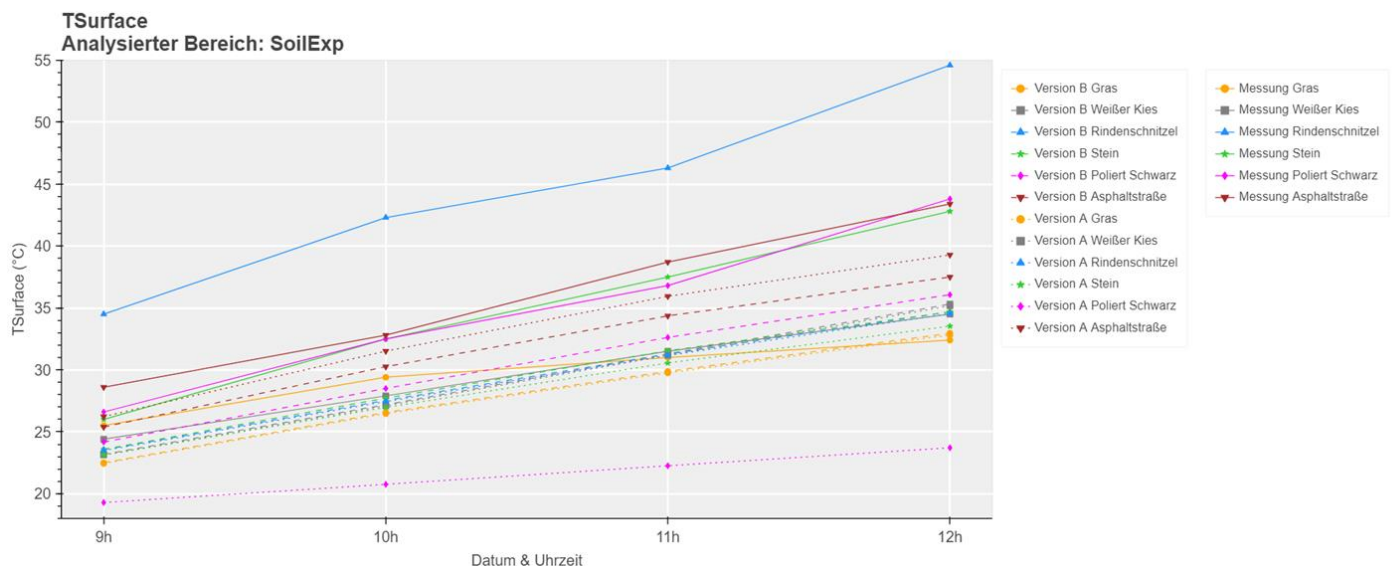


Abbildung 32: Oberflächentemperatur (°C) der unterschiedlichen Materialien, die durchgezogenen Linien entsprechen den Messungen, punktiert den Modellsimulationen mit den Standard-Albedo Werten, gestrichelte Linien entsprechen den Simulationen mit den gemessenen Albedo Werten

Wie bereits beschrieben wirken sich die Oberflächentemperaturen auf die darüber liegenden Luftschichten aus, wodurch es zu Unterschieden von bis zu über 1°C kommt (Abbildung 33). Dabei bewirken Grasgräber und Steingräber geringere Lufttemperaturen als die anderen Materialien. Dieser Effekt wird vor allem dann entscheidend, wenn viele Gräber dieselbe Oberfläche aufweisen, wie auch in den Entsiegelungsszenarien sichtbar, wo von einer großflächigen Entsiegelung der Gräber ausgegangen wird.

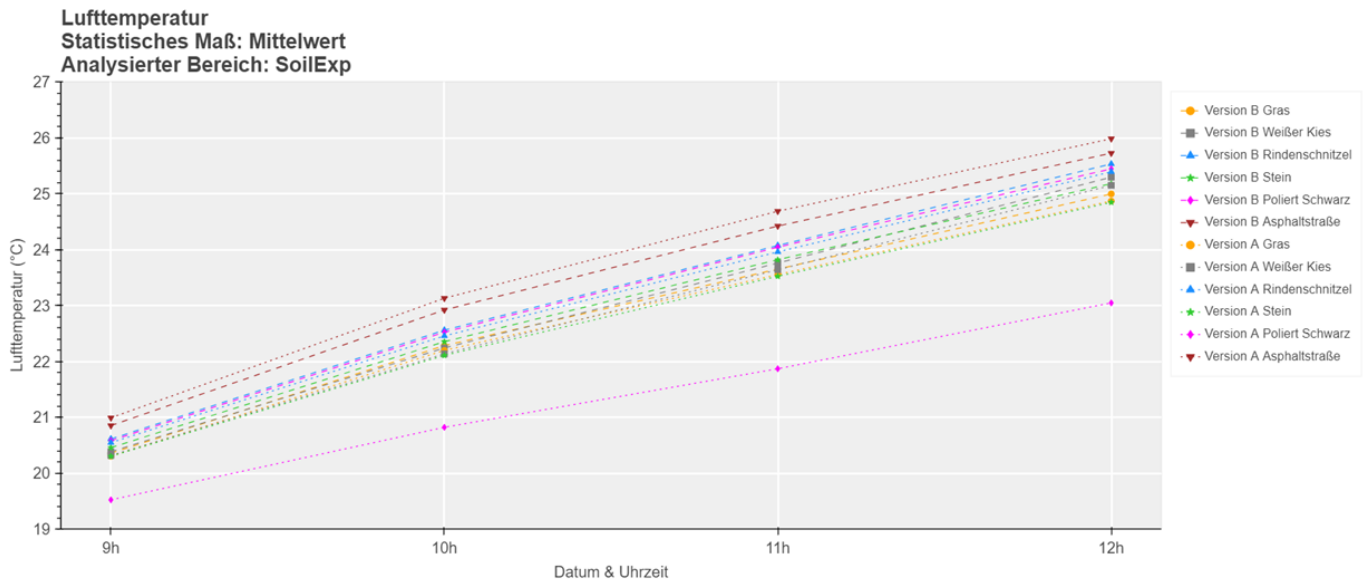


Abbildung 33: Lufttemperatur oberhalb der unterschiedlichen Materialien simuliert in ENVI-met; Version A = Modellwerte für Albedo, Version B= gemessene Werte der BOKU

4.4 Vergleichsexperiment Stadt - Friedhof

Im Vergleich mit einem normalen Stadtviertel weisen die Friedhöfe nachts und mit abnehmendem Sonnenstand niedrigere mittlere Lufttemperaturen von 0.8°C (Sievering vs. Stadtviertel) bis zu 1.2°C (Meidling vs. Stadtviertel, Abbildung 34) auf (gemittelt über die gesamte Fläche: Meidling Friedhof, Sievering Friedhof, Stadtviertel). Dieser starke Unterschied zeigt, dass die Struktur der Friedhöfe auch im Status Quo bereits eine deutlich geringere nächtliche Temperatur aufweist als ein typisches Stadtviertel in Wien und damit einen wichtigen Beitrag zur Verminderung des UHI Effekts liefert. Untertags liegt die Lufttemperatur des Stadtviertels (zw. 10 – 18 Uhr) um bis zu 0.5°C unter jener der Friedhöfe, da die Gebäude die Straßen verschatten und damit die Lufttemperatur auf einer Höhe von 1.5m niedriger ist.

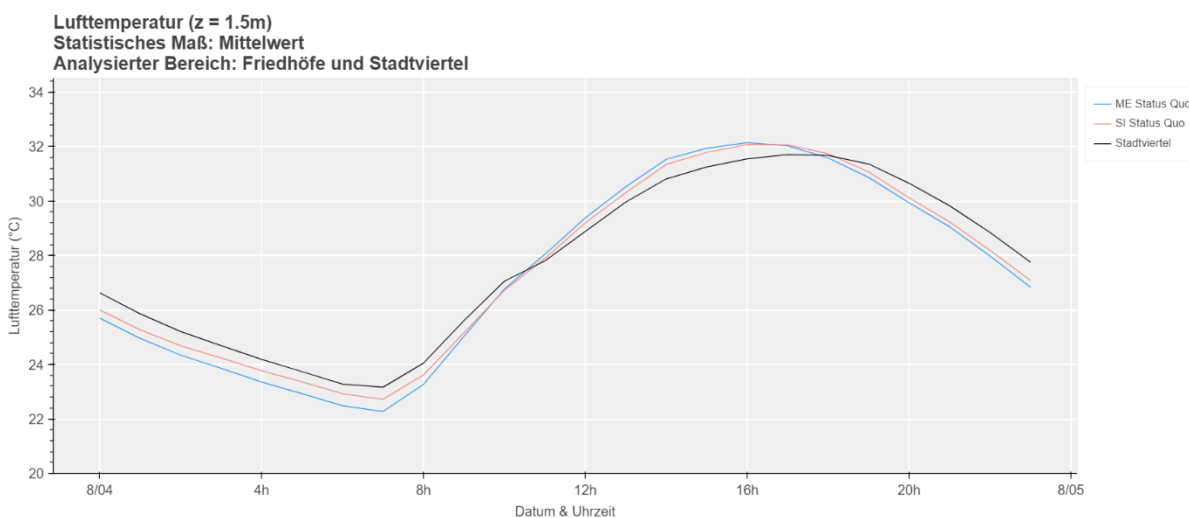


Abbildung 34: Lufttemperatur in 1.5m Höhe, gemittelt über die Fläche; blaue Linie: ME=Meidling Friedhof Status Quo, orange Linie: SI = Sievering Friedhof Status Quo, und einem repräsentativen Stadtviertel (schwarz)

Werden jedoch die simulierten Begrünungsszenarien herangezogen, so zeigt sich, dass diese immer unterhalb (Meidling) oder im gleichen Bereich (Sievering, Abbildung 35) der Lufttemperatur des Stadtviertels

liegen, da die simulierten Maßnahmen vor allem untertags und bei abnehmendem Sonnenstand (bis zu 1.2°C zw. 18 und 19 Uhr) ein großes Abkühlungspotential für die Friedhöfe (und deren Umgebung) aufweisen.

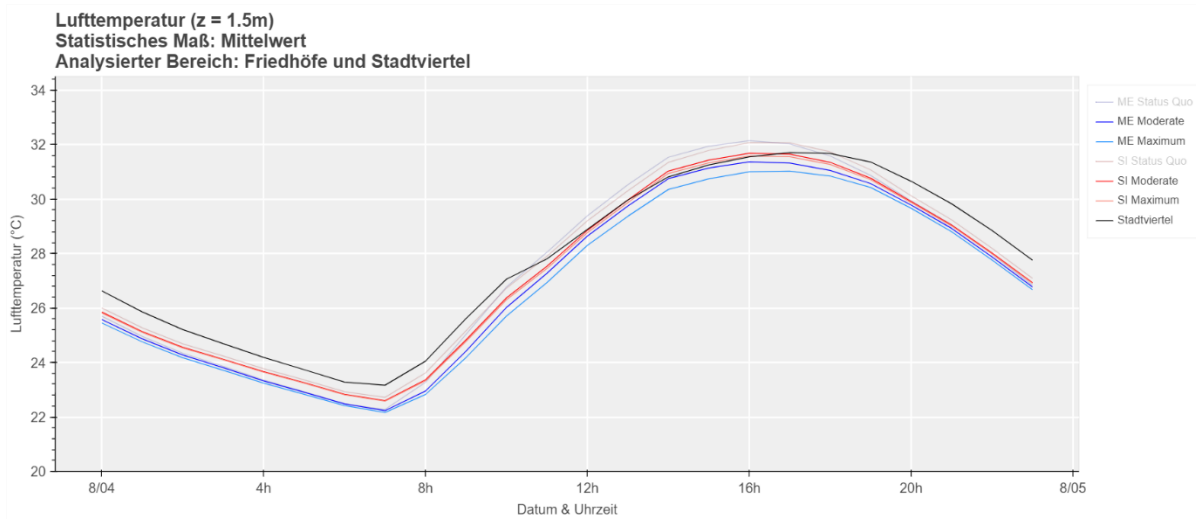


Abbildung 35: Lufttemperatur in 1.5m Höhe, gemittelt über die Fläche; blaue Linien: ME=Meidling Friedhof Moderat und Maximum, orange Linie: SI = Sievering Friedhof Moderat und Maximum, und einem repräsentativen Stadtviertel (schwarz)

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Für die Friedhöfe Meidling und Sievering wurden **Sensitivitätsexperimente** zur Bestimmung des **Abkühlungs- und Versickerungspotentials** durchgeführt. Dafür wurde der Status Quo in dem numerischen 3D-Mikroklimamodell ENVI-met dargestellt und simuliert. Dafür wurde der **4. August 2022** als Tag für die Simulation gewählt, da es ein heißer, wolkenloser und windschwacher Tag war. Die Eingangsdaten wurden anhand der gemessenen Daten gewählt und für diesen Tag für die Modellsimulation aufbereitet. Der Vergleich mit Beobachtungsdaten der BOKU zeigt, dass der Anstieg der Temperatur im Modell sehr gut getroffen wird, jedoch kühlt das Modell vor allem nach Sonnenuntergang nicht schnell genug ab.

Um das Potential für die Versickerung und die Abkühlung, sowohl auf den Friedhöfen als auch in den umliegenden Straßenzügen, zu ermitteln, wurden in Absprache mit den Friedhöfen Wien **realistische Szenarien zur Begrünung und Entsiegelung der Wege, sowie Gräber** definiert. Dafür wurden ein moderates und maximales Szenario entwickelt, welche sich in der Anzahl der Bäume, sowie der Anzahl der begrünten Gräber und Länge der entsiegelten Wege unterscheiden. Zusätzlich wurde ein Worst-Case Szenario erstellt, in dem angenommen wurde, dass der komplette Friedhof versiegelt und $\frac{3}{4}$ des bestehenden Baumbestands gerodet werden.

Am **Friedhof Meidling** ergibt sich die Möglichkeit Bereiche für einen Waldfriedhof zu definieren. Diese erlauben die großflächige Pflanzung von Bäumen, welche mittags eine lokale Temperaturreduktion von 1.8°C (moderat begrünt und entsiegelt) bis zu 3°C (maximal begrünt und entsiegelt) bewirken. Über den gesamten Friedhofsbereich kommt es mittags zu einer maximalen Temperaturabnahme von bis zu 1.2°C, welche sich auch auf die umliegenden Straßenzüge ausbreitet. Zusätzlich nimmt die Lufttemperatur morgens weniger schnell zu. Käme es hingegen zu einer Versiegelung der Gräber und Wege und zu einer Rodung der Bäume, so würde sich die Temperatur am Friedhof mittags, vor allem aber auch abends und in der Früh um 1°C erhöhen, was eine deutliche zusätzliche Wärmebelastung darstellt.

Gleichzeitig zeigt sich, dass die realistisch gewählten Begrünungs- und Entsiegelungsszenarien ein zusätzliches Versickerungspotential von bis zu 10% aufzeigen. Durch den hohen Anteil an offenen, unversiegelten Flächen versickert bereits aktuell mehr als die Hälfte des fallenden Niederschlags, was durch die zusätzlich angenommene Entsiegelung auf 66% erhöht werden kann.

Für den **Friedhof Sievering** zeigt sich ein interessantes Bild. Im Status Quo kommt es aktuell zu einer Erwärmung der Lufttemperatur über dem Friedhofsgelände im Vergleich zu der Umgebung kommt, da dieser im Vergleich zu den umliegenden Bereichen einen erhöhten Versiegelungsgrad aufweist. Diesem Effekt wirken die angenommenen Maßnahmen (Baumbestand, mehr offene, unversiegelte Flächen) entgegen, obwohl das Ergebnis der Begrünungsszenarien ein geringeres Abkühlungspotential als beim Friedhof Meidling zeigt, da weniger Fläche zur Begrünung und Entsiegelung zur Verfügung steht. Die Größe und Nutzung des Sieveringer Friedhofs erlaubt zum Beispiel keinen Waldfriedhof, wie in Meidling angenommen. Trotzdem kommt es lokal zu einer Abkühlung von 1.5°C und über die gesamte Friedhofsfläche gemittelt beträgt die Temperaturabnahme 0.8°C, mit dem größten Abkühlungseffekt am späten Nachmittag. Käme es zu einer Versiegelung, würde es zu einer zusätzlichen Erhitzung von 0.5°C kommen. Der Effekt auf die Umgebung hangabwärts (in Windrichtung) hat eine ähnliche Größenordnung – die zusätzliche Begrünung bewirkt eine Abkühlung von 1°C, die Versiegelung eine Erwärmung von 0.5°C. Im Gegensatz zu dem Friedhof Meidling weisen die Begrünungsszenarien sehr ähnliche Effekte auf, da auch die Unterschiede zwischen den Szenarien geringer sind. Allerdings besteht ein großes Versickerungspotential am Friedhof Sievering. Aktuell werden 63% des Niederschlags in die Kanalisation abgeleitet. Durch die analysierten Szenarien könnte dieser Wert auf 32% reduziert werden, was eine Entlastung des Kanalsystems und der hangabwärts liegenden Bereiche bedeutet.

Die unterschiedlichen **Materialien**, die auf den Friedhöfen vorhanden sind (weißer Kies, Asphalt, Stein, polierter schwarzer Stein und Gras) wurden bzgl. ihrer Oberflächentemperatur und Albedo von der BOKU untersucht und mit **Sensitivitätsexperimenten** des Modells verglichen. Dabei zeigt sich, dass das Modell die Gras- und Asphalteeigenschaften sehr gut trifft, es jedoch Probleme beim Stein, vor allem dem polierten schwarzen Stein und dem Rindenmulch gibt (diese wurden jedoch in den Begrünungsszenarien nicht unterschieden).

Abgesehen von den Szenarien war es noch von großem Interesse die **Unterschiede zwischen den Friedhöfen und einem normalen Stadtviertel** in Bezug auf das Abkühlungspotential aufzuzeigen. Deshalb wurde derselbe Tag gewählt, um die Temperaturentwicklung innerhalb eines Wohngebietes zu untersuchen. Das gewählte Quartier entspricht einer typischen Stadtstruktur mit mehrstöckigen Wohnhäusern und wenig Stadtgrün.

Dabei zeigt sich, dass die Unterschiede in der Temperaturentwicklung zwischen den Friedhöfen und dem Wohnquartier im Status Quo abhängig von der Tageszeit sind. So weisen die Friedhöfe nachts deutlich geringere Lufttemperaturen als das Stadtviertel auf, da die Gebäude die Strahlung tagsüber aufnehmen und in der Nacht in Form von Wärme wieder abgeben. Da sich der abkühlende Effekt auch auf die umliegenden Straßen ausbreitet, stellen die **Friedhöfe einen wichtigen Beitrag zur Verminderung des UHI Effekts** dar. Dieser macht sich vor allem durch eine nächtliche Wärmebelastung der Bewohner:innen bemerkbar. Untertags kommt es in den Häuserschluchten im Stadtviertel zu niedrigeren Lufttemperaturen in 1.5m Höhe als auf den offenen und geringer beschatteten Friedhöfen, da die umliegenden Gebäude die Straßen beschatten.

Werden allerdings Maßnahmen laut den Begrünungsszenarien - sowohl moderater als auch maximaler Begrünung und Entsiegelung - umgesetzt, so kommt es auf den Friedhöfen auch untertags zu kühleren oder gleichen Lufttemperaturen wie im Stadtviertel. Diese Ergebnisse zeigen, wie wichtig zusätzliche Verschattung durch Bäume für die lokale Aufenthaltsqualität ist. Gleichzeitig kommt es zu einer deutlich schnelleren Abkühlung mit abnehmendem Sonnenstand, was eine große Hitze-Entlastung für die Besucher:innen, aber auch die Anrainer:innen darstellt.

Es ist wichtig zu erkennen, dass der **simulierte Effekt von mindestens 0.5 bis 1.5°C Abkühlung** dem menschengemachten Klimawandel entgegen wirkt, welcher über Österreich gemittelt etwa 2°C beträgt. Das bedeutet, dass durch die Umgestaltung der bestehenden Friedhöfe die klimawandelbedingte Hitzebelastung deutlich verringert werden kann. Zur besseren Vorstellung, eine mittlere Abkühlung von etwa 1°C

- entspricht einem Höhenunterschied von 150m¹²
- unterscheidet zwischen warm und lauwarm (Dusche)
- verkürzt Hitzewellen um ~1 Tag¹³
- bewirkt eine Reduktion der tropischen Nächte um ~3 Tage (abhängig von Umgebung)⁸
- bewirkt eine bessere Schlafqualität (besonders in der REM-Phase)¹⁴
- senkt die Hitzebedingte sommerliche Sterberate¹⁵

Zusätzlich bewirkt die Begrünung von Wegen und Gräbern:

- Gräber: Aufnahme von 70% Niederschlag (z.B. 7L bei Gesamtmenge von 10L)¹⁶
- Wege: Aufnahme von 40% Niederschlag (z.B. 4L bei Gesamtmenge von 10L)¹¹
- Positiver Effekt auf die Biodiversität¹⁷

Abgesehen vom Temperatureffekt weisen die untersuchten Friedhöfe ein **großes Versickerungspotential** auf, welches durch den klimawandelbedingten Anstieg an Starkniederschlagsereignissen von großer Bedeutung für die bebaute Stadt sein kann. Durch den Temperaturanstieg kann mehr Wasser in der Luft gespeichert werden, was eine steigende Intensität bei Niederschlagsereignissen bewirkt, welche gerade im bebauten Gebiet durch den hohen Versiegelungsgrad zu einer Belastung des Kanalsystems führt. Die Entsiegelung der untersuchten Friedhöfe könnte eine lokale Entlastung des Kanalsystems bedeuten, da zusätzlich 10% bis 30% mehr Niederschlag als aktuell vor Ort versickern könnten.

¹² Trockenadiabatischer Temperaturgradient => 6.5°C/1km

¹³ Projekt Green Resilient Cities

¹⁴ <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23744731.2020.1756664>

¹⁵ Lungman, T.; Cirach, M.; Marando, F.; Pereira Barboza, E.; Khomenko, S.; Masselot, P.; Quijal-Zamorano, M.; Mueller, N.; Gasparrini, A.; Urquiza, J.; Heris, M.; Thondoo, M.; Nieuwenhuijsen, N. (2023): Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. The Lancet, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5)

¹⁶ Messungen am Friedhof Meidling

¹⁷ GRÜNSTATTGRAU-Fachinformation „Positive Wirkungen von Gebäudebegrünungen (Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung)“ https://gruenstattgrau.at/wp-content/uploads/2019/01/bugg_fachinformation_positive_wirkungen_gebaeudebegruenung19112019.pdf

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Friedhöfe in Wien einen wichtigen kühlenden Effekt vor allem im stark bebauten Stadtgebiet haben und somit einen wesentlichen Beitrag zur Klimawandelanpassung und zur Erhöhung der Lebensqualität der Einwohner:innen leisten. Außerdem besteht noch zusätzliches Potenzial durch weitere Begrünung und Entsiegelung. Durch die Umgestaltung können kühle Orte untertags geschaffen und die Lufttemperatur abends und in der Früh gesenkt und somit der urbane Hitzeinsel Effekt reduziert werden. Darüber hinaus würde die großflächige Entsiegelung und Begrünung mit einer Entlastung des Kanalsystems während Starkregenereignissen einhergehen.

Damit dieses Potential voll ausgeschöpft werden kann, benötigt es **unterschiedliche Ebenen**:

Privatpersonen (Besucher:innen / Anrainer:innen):



- begrünte, statt versiegelte Gräber => jedes unversiegelte Grab nimmt 70% des fallenden Niederschlags auf
- die Entsiegelung der Gräber führt zu einer Abkühlung der Lufttemperatur, wohingegen Steingräber diese auch nachts erwärmen
- Unterstützung von Waldfriedhöfen => die Simulationen des Friedhofs Meidling zeigen auf, dass die Temperatur im Bereich vom Waldfriedhof um 3.5°C kühler ist, als im Status Quo und diese sich auch großräumig auswirkt

Friedhöfe Wien:



- Strategische Gestaltung der Friedhöfe (entsiegelte/begrünte Wege und Gräber, Bereiche für Waldfriedhöfe, ...)
- Akzeptanz und Pflege durch Mitarbeiter:innen und externe Organisationen (z.B. Gärtnereien)

Stadt Wien:



- Unterstützung der Friedhöfe in der Umgestaltung zu grünen „Oasen“
- Nutzung und Wertschätzung der Friedhofsbereiche als klimafitte Grünräume
- In der Stadtplanung: weitere Evaluierung (z.B. über ein Stadtklimamodell Palm4U) von Friedhöfen und deren Effekt auf die Umgebung, welcher durch angrenzende, begrünte Straßen und Grünraumvernetzung verstärkt werden kann

AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GMBH
Giefinggasse 4, 1210 Wien, Österreich

www.ait.ac.at

Marianne Buegelmayer-Blaschek
Senior Scientist
Digital Resilient Cities
Center for Energy
T +43 50550-6327 | M +43 664 88904374
Marianne.buegelmayer-blaschek@ait.ac.at