
«Stadtklimasimulation und Hitzeminderungs- massnahmen Umgebung Kantonsschule Ry- chenberg / Im Lee»

Mai 2026

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht untersucht die Wirksamkeit von Hitzeminderungs- und Klimaanpassungsmassnahmen im Aussenraum der Kantonsschulen Rychenberg (KRW) und Im Lee (KLW) in Winterthur. Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels, zunehmender sommerlicher Hitzebelastung sowie der besonderen Vulnerabilität von Kindern und Jugendlichen verfolgt die Studie das Ziel, wissenschaftlich fundierte Entscheidungsgrundlagen für eine klimaresiliente Weiterentwicklung der Schulareale zu erarbeiten.

Im Zentrum stehen die mikroklimatischen Effekte, die Aufenthaltsqualität sowie der Beitrag zur Biodiversität. Methodisch kombiniert der Bericht qualitative und quantitative Ansätze: Eine umfassende Literatur- und Bestandsanalyse wird ergänzt durch partizipative Erhebungen mit Nutzer:innen («Come In»), ökologische Bewertungen sowie mehrstufige Klimasimulationen auf Stadt-, Quartier- und Gebäudeebene. Die klimatischen Auswirkungen der untersuchten Massnahmen werden mithilfe des Stadtklimamodells PALM sowie der Quartierklimamodellierung (QKM) für die Zeithorizonte 2035 und 2060 analysiert. Als zentraler Indikator für die thermische Belastung dient die physiologisch äquivalente Temperatur (PET). Ergänzend werden Innenraumsimulationen für ausgewählte Gebäudebereiche der KLW durchgeführt.

Auf Grundlage einer bestehenden Konzeptstudie wurden die geplanten Interventionen zu vier Massnahmenpaketen gebündelt, um ihre Wirkmechanismen systematisch und vergleichbar zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass sämtliche Massnahmenpakete zur Reduktion der Hitzebelastung beitragen, sich jedoch deutlich in zeitlicher Wirksamkeit, räumlicher Reichweite und ökologischer Bedeutung unterscheiden. Besonders wirksam sind kombinierte Ansätze aus Entsiegelung, Begrünung und Beschattung, die sowohl kurzfristige Verbesserungen der Aufenthaltsqualität als auch langfristige Beiträge zu Klimastabilität und Biodiversität leisten. Die qualitativen Rückmeldungen aus dem «Come In» bestätigen diese Befunde: Bevorzugt werden schattige, ruhige und zugleich soziale Aufenthaltsorte, insbesondere im Umfeld der Mensa sowie in vegetationsreichen Bereichen wie dem Biotop oder dem Schulgarten, während stark versiegelte und unbeschattete Flächen bei Hitze gemieden werden.

In der Synthese werden die Massnahmenpakete unter Berücksichtigung ihrer mikroklimatischen Wirksamkeit, ihres Beitrags zur Biodiversität sowie ihrer Umsetzbarkeit priorisiert und konkrete Umsetzungsempfehlungen abgeleitet. Die Ergebnisse verdeutlichen das hohe Potenzial von Schularealen als klimaresiliente, gesundheitsfördernde und zugleich pädagogisch wirksame Freiräume und liefern eine belastbare Grundlage für zukünftige Planungs- und Investitionsentscheidungen.

Abstract

This report examines the effectiveness of heat-mitigation and climate-adaptation measures in the outdoor spaces of the Rychenberg (KRW) and Im Lee (KLW) cantonal schools in Winterthur. In the context of ongoing climate change, increasing summer heat exposure and the particular vulnerability of children and adolescents, the study aims to provide scientifically sound decision-making foundations for the climate-resilient development of school campuses.

The analysis focuses on microclimatic effects, outdoor comfort and usability, and contributions to biodiversity. Methodologically, the report combines qualitative and quantitative approaches, including a comprehensive review of literature and existing conditions, participatory user surveys (“Come In”), ecological assessments, and multi-level climate simulations at the urban, neighbourhood and building scale. The climatic impacts of the assessed measures are analysed using the urban climate model PALM and neighbourhood climate modelling (QKM) for the time horizons 2035 and 2060, with Physiologically Equivalent Temperature (PET) serving as the central indicator of thermal stress. In addition, indoor climate simulations are conducted for selected building areas of the KLW campus. Based on an existing concept study, the proposed interventions are grouped into four packages of measures to enable a systematic and comparable assessment of their mechanisms and effects.

The results indicate that all measure packages contribute to reducing heat stress, but differ significantly with regard to temporal effectiveness, spatial reach and ecological relevance. The most effective outcomes are achieved through combined approaches integrating de-sealing, greening and shading, providing both immediate improvements in outdoor comfort and long-term benefits for climate adaptation and biodiversity. Vegetation-based measures reach their full potential particularly in later time horizons as plant growth progresses, whereas structural shading elements allow for immediate relief in intensively used outdoor areas. Qualitative feedback from the “Come In” process confirms these findings, showing a clear preference for shaded, calm and socially usable spaces, especially near the cafeteria and in vegetation-rich areas such as the biotope or school garden, while sealed and unshaded areas are avoided during hot periods.

In the synthesis, the measure packages are prioritised based on microclimatic effectiveness, biodiversity benefits and feasibility, and concrete implementation recommendations are derived. The results demonstrate the high potential of school campuses to function as climate-resilient, health-promoting and pedagogically valuable open spaces and provide a robust basis for future planning and investment decisions.

Impressum

Forschungspartner

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Departement Architektur, Gestaltung und Bauingenieurwesen - Institut Urban Landscape IUL

Departement Architektur, Gestaltung und Bauingenieurwesen - Institut Bautechnologie und Prozesse IBP

Departement Life Science und Facility Management- Institut Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR

School of Engineering - Zentrum für Aviatik ZAV

Landscape AG, Zürich

begleitet von

Krebs und Herde GmbH, Winterthur

verantw.: Stephan Herde, Lina Haug

Auftraggeber

Kanton Zürich – Baudirektion – Hochbauamt

Vertreten durch: Richard Durrer

Projektteam / Autorinnen und Autoren:

Luca Baldini, Professor IBP, Dept. A, ZHAW

Nathalie Baumann, Siedlungsökologin, Dozentin IUNR, ZHAW

Anke Domschky, Landschaftsarchitektin, Urban Planning, Dozentin IUL, ZHAW

Felix Freitag, Landschaftsarchitekt, Landscape AG

Lukas Schmid, Landschaftsarchitekt, Landscape AG

Ivo Suter, Stadtklimatologe, Dozent ZAV, ZHAW

Sadik Yigit, Senior Researcher, IBP, Dept. A, ZHAW

Projektkoordination

Anke Domschky, Dipl.-Ing. FH, MSc. / Dept. A, IUL / anke.domschky@zhaw.ch

Zitiervorschlag

Domschky, A., Baldini, L., Baumann, N., Freitag, F., Schmid, L., Suter, I., & Yigit, S. (2026).

Stadtklimasimulation und Hitzeminderungsmaßnahmen Umgebung Kantonsschule Rychenberg im Lee
(Unveröffentlichter Projektbericht). Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), in Zusammen-
arbeit mit Landscape AG. <https://doi.org/10.21256/zhaw-2589>

Inhaltsverzeichnis

1	Auftrag	8
1.1	Ausgangslage.....	8
1.2	Projektziele	9
1.3	Leistungsumfang / Methodik	9
1.3.1	Team	9
1.3.2	Projektaufbau / Module	10
1.3.3	Zieldefinition 2060.....	12
1.3.4	Aufbau Bericht	13
1.4	Untersuchungsgebiet	14
1.4.1	Stadt- und Landschaftsräumlicher Kontext	14
1.4.2	Schulareal und Gebäudestruktur	15
1.4.3	Klima und Ökologie.....	17
1.5	Plangrundlagen	20
1.5.1	Konzeptstudie	20
1.5.2	Massnahmenpakete.....	22
2	Qualitative Untersuchung	24
2.1	Stand der Forschung	24
2.1.1	Klimaerwärmung und Folgen für Schüler:innen	24
2.1.2	Hitze und Gesundheit	25
2.1.3	Klimagerechte Schulentwicklung	26
2.1.4	Biodiversität – Beitrag zur Gesundheit.....	27
2.2	Aufenthaltsqualitäten Aussenraum.....	29
2.2.1	Einleitung	29
2.2.2	Methode und Vorgehen «Come In» Kantonsschule Rychenberg	30
2.2.3	Kriterienkatalog Aufenthaltsqualität.....	37
2.3	Biodiversität	39
2.3.1	Floristische Bestandsaufnahme KRW.....	40
2.3.2	Floristische Bestandsaufnahme KWL	41
2.3.3	Faunistische Einschätzung und Leitarten	42
2.3.4	Ökologische Bewertung und Spider-Diagramm	43
2.3.5	Biodiversitätspotenzial	43
2.4	Empfehlungen	44
2.4.1	Aufenthaltsqualitäten - Ziele	45
2.4.2	Biodiversität - Ziele	46

3	Modellierung.....	48
3.1	Aufbau der drei Modelliermodule	48
3.2	Ausgangslage Wetter und Klima	48
3.3	Methodik Stadtklimamodellierung (ZAV)	49
3.4	Daten und Szenarien.....	50
3.5	Ergebnisse	52
3.5.1	Physiologisch äquivalente Temperatur (PET)	52
3.5.2	Luft- und Oberflächentemperaturen	55
3.5.3	Wind	56
4	Mikroklimasimulationen	58
4.1	Methodik Mikroklimaanalysen	58
4.1.1	Simulationswerkzeuge und Modellbasis	59
4.1.2	Variantenbildung und Szenarien	60
4.1.3	Untersuchungsraum.....	61
4.1.4	Ablauf der Simulationen	61
4.1.5	Ergebnisdarstellung	61
4.2	Modell- und Informationsaufbau	62
4.2.1	Modellinhalt.....	62
4.2.2	Vegetationsparameter.....	62
4.2.3	Strahlungs- und Materialeigenschaften	63
4.3	Daten und Szenarien.....	64
4.3.1	Grundlagen und Klimaszenarien.....	64
4.3.2	Rahmenbedingungen.....	64
4.4	Ergebnisse	64
4.5	Klimatische Wirkung und ökologische Qualität.....	67
4.5.1	Vegetationseffekte.....	67
4.6	Grenzen und Qualitätssicherung.....	68
4.6.1	QKM	68
4.6.2	PALM.....	69
4.6.3	Qualitätssicherung und Plausibilisierung	70
4.7	Einordnung der Simulationsergebnisse	70
5	Gebäudesimulation K LW.....	72
5.1	Einleitung	72
5.2	Methodik	73
5.2.1	Gebäudemodellentwicklung	73
5.2.2	Definition und Modellierung passiver Strategien.....	74

5.2.3	CFD-Kopplung	74
5.2.4	Ziel und Geltungsbereich	75
5.2.5	Wirkungsanalyse.....	77
5.3	Ergebnisse der Analyse.....	77
5.3.1	Basisanalyse.....	78
5.4	Bewertung der Auswirkungen	80
5.4.1	Szenario 1–8.....	80
5.4.2	Szenario 9–16.....	83
5.4.3	Auswirkungen von Massnahmen im Aussenbereich.....	87
5.4.4	Identifikation kritischer Zonen	89
5.4.5	Einfluss der Massnahmen auf den thermischen Komfort	92
5.5	Empfehlungen und Schlussfolgerungen	95
5.5.1	Schlussfolgerungen	95
5.5.2	Empfehlungen.....	95
6	Synthese	96
6.1	Wirkung der untersuchten Massnahmen auf Mikroklima / Aufenthaltsqualität ...	96
1.1	Beitrag zur Biodiversität und ökologischen Aufwertung	98
1.2	Priorisierung und Umsetzungsempfehlungen	99
6.1.1	Mikroklima und Aufenthaltsqualität	99
6.1.2	Ökologie / Biodiversität	101
6.2	Weiterer Forschungsbedarf / Reflexion	102
7	Anhang.....	105
7.1	Glossar.....	105
7.2	Verzeichnisse	107
7.2.1	Literatur- und Internetverzeichnis	107
7.2.2	Abbildungsverzeichnis	112
7.2.3	Tabellenverzeichnis.....	116
7.3	Fachspezifische Anhänge	117
7.3.1	Konzeptstudie 2024, Krebs & Herde.....	117
7.3.2	Ergänzungen Kapitel 1.4.3 «Bodenkarte»	118
7.3.3	Ergänzungen Kapitel 2.2.3: Bewertungsmatrix Aufenthaltsqualitäten	119
7.3.4	Ergänzungen Kapitel 2.3: Floristische Bestandsaufnahme	120
7.3.5	Ergänzungen Kapitel 2.3.4: Bewertungsmatrix Ökologische Bewertung.....	121
7.3.6	Ergänzungen Kapitel 4.4: Massnahmenpakete 2035 / 2060	122

1 Auftrag

1.1 Ausgangslage

Bisher sind Fachplanungen für Klimaanpassungen und Hitzeminderungsmassnahmen grösstenteils auf städtische Räume ausgelegt und richten sich in Sensibilisierungskampagnen überwiegend an ältere Menschen. Die steigenden Anforderungen an klimagerechte Räume machen jedoch auch vor den Schulen nicht Halt. Kinder stellen somit eine Zielgruppe dar, die bislang nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Bis zu 10'000 Stunden verbringt ein Kind durchschnittlich in der Schule bis Ende der Sekundarschule, bis Abschluss der Matura kommen noch einmal ca. 3'500 Stunden dazu. Ein grosser Teil davon wird im Aussenraum auf dem Schulgelände verbracht.

Schulhausanlagen sind sensible städtebauliche Gebiete, in denen Hitzeminderungsmassnahmen innen und aussen entscheidend sind, um Kinder und Jugendliche zu schützen. Als öffentliche Infrastruktur haben sie eine Vorbild- und Bildungsfunktion und können durch klimatische Optimierungen sensibilisieren. Ihre oft grossen Flächen bieten zudem Potenzial, die städtische Gestaltung klimatisch zu verbessern.

Beobachtungen zeigen, dass sich hohe Temperaturen nachteilig auf die Gesundheit der Schülerinnen und Schüler, auf ihre Konzentrationsfähigkeit im Unterricht und ihr allgemeines Wohlbefinden auswirken. Begrünte Zonen auf dem Schulareal lassen dagegen einer Steigerung von Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit erkennen. Es lohnt sich also diese (ebenfalls öffentlichen) Plätze zu lebendigen Lebensräumen und ökologischen Lernorten zu machen, die nachhaltig inklusiv und gerüstet sind für den Klimawandel.

Vor dem Hintergrund des Vorprojekts zur Instandsetzung der Kantonsschule Rychenberg (nachfolgend KRW), sowie der bereits Instand gesetzten Kantonsschule Im Lee (nachfolgend K LW) wurde deutlich, dass das gesamte Schulareal — insbesondere die Terrassen — einen grossen Hitzeminderungsbedarf aufweist. Eine Konzeptstudie (vgl. Anhang 7.3.1) von Krebs und Herde Landschaftsarchitekten für die Kantonsschule Rychenberg (B04 | 240702 | KRW | 13177 | Hitzeminderung Umgebung) zeigt auf, welche Hitzeminderungsmassnahmen für die Umgebung möglich wären. Mit Kosten für die Massnahmen von rund 3 Mio. erfordert die Hitzeminderungsmassnahmen eine Wirkungskontrolle. Diese soll die Massnahmen einerseits mittels empirischer Werte (Klimasimulationen) verifizieren und andererseits qualitative Bewertungen sowie Argumente schärfen, um zusätzliche Entscheidungsgrundlagen bereitzustellen. Da die K LW bereits Sanierungsmassnahmen durchlaufen hat, konzentriert sich die Studie mehrheitlich auf den Be-

reich der KRW. Ausnahme stellt hier die exponierte Südterrasse der KRW dar, welche gesondert betrachtet wird.

1.2 Projektziele

Der Auftrag umfasst die systematische Erhebung und Bewertung der ökologischen, qualitativen und funktionalen Werte von klimaangepassten Aussenraumaufwertungen, auf Grundlage des Bestandes und der vorliegenden Konzeptstudie. Erarbeitet wurden eine fundierte Datengrundlage sowie konkrete Empfehlungen, die den funktionalen Nutzen von Hitzeminderungsmassnahmen im Aussenraum aufzeigen.

Folgende **Ziele** wurden mit der Erarbeitung der Studie verfolgt:

- Erarbeitung einer fundierten Datengrundlage mittels Klimasimulationen
- Bewertung Qualitativer Kriterien für Schul-Aussenräume
- Bewertung Biodiversitätsstatus der Aussenräume und deren Wirkung zur Hitzeminderung
- Gesonderte Betrachtung Südterrasse KRW
- Aufbereitung der Ergebnisse als Entscheidungshilfe
- Empfehlungen für zukünftige Planungen

1.3 Leistungsumfang / Methodik

Das Projekt zur Klimasimulation und Entwicklung von Hitzeminderungsmassnahmen an der KRW und der KLV verfolgt einen **innovativen Ansatz**: Es verbindet wissenschaftlich fundierte Grundlagen mit praxisnahen Simulationen und legt dabei einen besonderen Fokus auf die Bedürfnisse von Schulkindern und Jugendlichen – eine Zielgruppe, die in bisherigen Klimaanpassungsstrategien oft vernachlässigt wurde. Ziel ist es, durch gezielte Begrünungsmassnahmen und detaillierte Stadtklimasimulationen nicht nur die thermischen Bedingungen zu verbessern, sondern auch die Lebensqualität und das Lernumfeld nachhaltig zu stärken.

1.3.1 Team

Die Durchführung der Studie profitiert wesentlich von der **interdisziplinären Zusammensetzung** des Teams. Durch die Zusammenarbeit von vier Instituten der ZHAW – dem Institut Urban Lands-

cape, dem Institut Umwelt und Natürliche Ressourcen, dem Zentrum für Aviatik sowie dem Institut für Bautechnologie und Prozesse – werden räumliche, ökologische, technische und prozessuale Fragestellungen ganzheitlich betrachtet und wissenschaftlich fundiert bearbeitet.

Ergänzt wird diese Expertise durch die praxisorientierte Perspektive der Landscale AG, welche mittels innovativer Simulations- und Modellierungsverfahren vertiefte Einblicke in standortbezogene Dynamiken und potenzielle Wirkungszusammenhänge liefert.

Hervorzuheben ist zudem die enge Begleitung durch das Landschaftsarchitekturbüro Krebs und Herde. Die vorab von Krebs und Herde erarbeitete Konzeptstudie sowie ihre Mitwirkung an der Definition und Priorisierung der Massnahmenpakete bildeten eine wichtige Basis für die Studie. Aufbauend darauf stellt die von uns erarbeitete Studie nun eine zentrale Grundlage dar, auf der Krebs und Herde in der nächsten Projektphase aufbauen wird. Dieser Bericht wird zusammen mit einer detaillierten Kostentabelle für den Kanton Zürich aufbereitet und leistet damit einen wesentlichen Beitrag zu den anschliessenden Entscheidungsschritten des Kantons.

Diese Vielfalt an Fachwissen ermöglicht eine umfassende, realitätsnahe und zukunftsweisende Beurteilung der Projekthinhalte.

1.3.2 Projektaufbau / Module

Der Projektaufbau ist in **vier Module** gegliedert, die inhaltlich aufeinander aufbauen und sich gegenseitig ergänzen. Diese Struktur gewährleistet sowohl die Übersichtlichkeit als auch die notwendige fachliche Tiefe für eine belastbare Bewertung von Hitzeminderungsmaßnahmen an Schulen. Die Module B und C unterscheiden sich dabei bewusst in ihrer methodischen Perspektive: In Modul B kommt das hochentwickelte Stadtklimamodell PALM zur Anwendung, welches eine facettenreiche Modellierung des lokalen Klimas ermöglicht – insbesondere auch mit Berücksichtigung lokaler Luftströmungen und Ventilationsmuster. Deshalb haben wir dabei das gesamte Areal einschliesslich der angrenzenden Quartiere untersucht und grossräumige klimatische Prozesse miteinbezogen. PALM erlaubt aufgrund seines hohen Detaillierungsgrads und der aufwendigen Strömungsberechnung jedoch nur eine begrenzte Variantenprüfung. Das Modul Modul C bezieht sich auf die Mikroebene der beiden Schulstandorte Rychenberg und Im Lee und das verwendete Modell ermöglicht eine hochaufgelöste Betrachtung verschiedener konkreter landschaftsarchitektonischer Varianten. Erst die Kombination beider Module erlaubt eine umfassende Beurteilung der Wirksamkeit und Robustheit der vorgeschlagenen Massnahmen.

Modul A bildet die inhaltliche Grundlage des Projekts. Es umfasst die Aufarbeitung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse zu den Auswirkungen von Hitze auf Schülerinnen und Schüler so-

wie zu wirksamen Hitzeminderungsmaßnahmen im schulischen Umfeld. Die Analyse zeigt, warum ökologische und naturbasierte Ansätze besonders nachhaltig sind und welchen Beitrag sie zur Verbesserung von Aufenthaltsqualität, Biodiversität und Gesundheit leisten. Die Arbeiten basieren auf Literaturrecherchen, Beobachtungen, einem Kriterienkatalog und interpretativen Bewertungsverfahren. Dabei werden sowohl gesundheitliche und kognitive Auswirkungen von Hitzebelastung als auch der ökologische Wert schulischer Aussenräume im urbanen Kontext untersucht. Ergänzend umfasst Modul A eine systematische Erfassung und Bewertung des ökologischen Werts beider Schulareale. Auf Basis einer Biotoptypenkartierung sowie einer mehrdimensionalen Bewertung nach der Spider-Diagramm-Methode — mit den Kriterien Artenvielfalt der Vegetation, Strukturvielfalt, Habitatpotenzial für Fauna, Naturnähe und Bildungspotenzial — werden der ökologische Ist-Zustand dokumentiert, Defizite identifiziert und Ziele für 2060 definiert. Die methodische Herangehensweise ist kontextbezogen und verbindet wissenschaftliche Evidenz mit Erfahrungswissen und normativen Leitlinien, um die Bedeutung der untersuchten Aspekte für Schulareale präzise herauszuarbeiten.

Modul B widmet sich den lokalklimatischen Simulationen und untersucht die grossräumigen Wirkungsmechanismen der verschiedenen Massnahmen. Hierzu werden zunächst die Simulationsszenarien vorbereitet, Geodaten aufbereitet und Planungsvarianten implementiert. Die klimatischen Randbedingungen basieren auf COSMO¹-Wetterdaten eines realen Hitzetages, wodurch ein realistischer und praxisnaher Simulationsrahmen entsteht. Auf dieser Grundlage werden zwei Basisszenarien – der heutige Ist-Zustand und eine ausgewählte Planungsvariante – mit dem Stadtklimamodell PALM simuliert. Die Auswertung umfasst bodennahe Windströmungen, Oberflächentemperatur sowie physiologisch äquivalente Temperatur (PET²). Die Resultate fliessen teilweise in die Untersuchungen in Modul D ein und werden sowohl zwischen den Szenarien verglichen als auch mit den Ergebnissen aus Modul C abgeglichen, um eine konsistente und gegenseitig validierte Gesamteinschätzung zu ermöglichen.

Modul C untersucht die beiden Schulstandorte in hoher räumlicher Auflösung und fokussiert auf die kleinräumige Wirkung konkreter planerischer Massnahmen. Grundlage bildet die sogenannte „Platine“, eine eigens erstellte BIM-Modellierung, in der der Bestand, die relevanten Perimeter Rychenberg und Im Lee sowie der umgebende Kontext modelliert werden. Darauf aufbauend werden mehrere Varianten entwickelt, die sich hinsichtlich Umfangs und Eingriffstiefe unterscheiden. Die Simulationen erfolgen mit dem Quartierklimamodell QKM in einer räumlichen Auflösung

¹ Das Wettermodell der MeteoSchweiz (bis 2024)

² PET ist ein Mass für die Temperatur, die ein Mensch empfindet. Sie hängt von Lufttemperatur, Feuchte, Strahlung und Windgeschwindigkeit ab. Manchmal "Physiologische Äquivalenttemperatur".

von zwei Metern. Untersucht werden dabei insbesondere die physiologisch äquivalente Temperatur (PET), Windströmungen, Abkühlungswirkungen sowie die Entwicklung der Vegetation unter Berücksichtigung artspezifischer Wachstumsprozesse. Die Ergebnisse werden mit den Resultaten aus Modul B abgeglichen, um die Aussagekraft der Simulationen einzuordnen und die Beurteilung der Massnahmen über unterschiedliche räumliche Massstabsebenen hinweg zu schärfen. Diese Verzahnung ermöglicht eine fundierte Bewertung konkreter Planungsvarianten und schafft eine belastbare Grundlage für weitere planerische Entscheidungen.

Modul D erweitert die Untersuchung um eine Betrachtung des Innenraumklimas der KLV. Dafür werden überhitzungsgefährdete Räume identifiziert und in einem thermischen Simulationsmodell abgebildet. Die aus den Modulen B und C resultierenden dynamischen Temperaturdaten werden in Randbedingungen für die Innenraumsimulation übersetzt, sodass sowohl der Status quo als auch zukünftige Szenarien mit unterschiedlichen Vegetationsständen und globalen Erwärmungsannahmen bewertet werden können. Anschliessend werden Simulationen durchgeführt, um die Auswirkungen der Aussenraummassnahmen auf das Raumklima zu analysieren. Weitere Varianten – wie Nachtauskühlung, automatische Verschattung oder Strahlungskühlung – können ergänzend simuliert werden, um ein umfassendes Bild der möglichen Massnahmenpakete zu erzeugen. Die Ergebnisse werden abschliessend für den Modul-D-Bericht aufbereitet.

Insgesamt ermöglicht die **modulare Struktur** eine kohärente, wissenschaftlich fundierte und praxisorientierte Analyse. Durch die Kombination qualitativer Grundlagenarbeit, grossräumiger Klimasimulationen und detaillierter Variantenstudien entsteht ein robustes Fundament für die Entwicklung wirksamer und zukunftsfähiger Hitzeminderungsmassnahmen an Schulen.

1.3.3 Zieldefinition 2060

Das Zielbild 2060 wurde gewählt, weil es einen langfristigen und zugleich für die Planungspraxis **relevanten Betrachtungshorizont** abbildet. Klimaanpassungsmassnahmen im Siedlungsraum, insbesondere in der Freiraum- und Vegetationsplanung, entfalten ihre volle Wirkung meist nicht kurzfristig, sondern über längere Zeiträume. Dies gilt insbesondere für Bäume, deren mikroklimatische Leistungen wie Verschattung, Verdunstung und Strahlungsreduktion erst mit zunehmender Grösse und Kronenausbildung deutlich wirksam werden. Ein Zielhorizont bis 2060 ermöglicht es daher, nicht nur die unmittelbare Wirkung einzelner Massnahmen zu beurteilen, sondern auch deren langfristiges Potenzial unter veränderten klimatischen Rahmenbedingungen sichtbar zu machen.

Zugleich orientiert sich der Horizont 2060 an den in der Schweiz verbreiteten Klimaszenarien und Planungsperspektiven, in denen mittelfristige bis langfristige Entwicklungen zentral sind. Für die Beurteilung zukünftiger Aufenthaltsqualitäten und thermischer Belastungen reicht ein kurzfristiger Zeithorizont allein oft nicht aus, da die klimatischen Veränderungen sowie die Entwicklung der Vegetationsstrukturen zeitlich zusammen gedacht werden müssen. Die Wahl von 2060 dient somit dazu, ein robustes Zielbild zu formulieren, das sowohl den fortschreitenden Klimawandel als auch die zeitlich verzögerte Entfaltung landschaftsarchitektonischer Massnahmen berücksichtigt. Methodisch schafft das Zielbild 2060 zudem eine geeignete Grundlage, um heutige Planungsentscheide nicht nur anhand ihres kurzfristigen Effekts, sondern im Hinblick auf ihre langfristige Anpassungsfähigkeit und Zukunftstauglichkeit zu bewerten. Die Betrachtung dieses Zeithorizonts unterstützt damit eine vorausschauende Planung, welche die Entwicklung des Ortes über mehrere Jahrzehnte mitdenkt und die Resilienz des Freiraums gegenüber zunehmender Hitzebelastung ins Zentrum stellt.

1.3.4 Aufbau Bericht

Die Berichtstruktur folgt der interdisziplinären Ausrichtung des Projekts und bildet die unterschiedlichen wissenschaftlichen Beiträge der beteiligten Institute und Partner transparent ab. **Kapitel 1** führt in Auftrag, Zielsetzung, Methodik und Untersuchungsrahmen ein und schafft damit die Grundlage für das Verständnis der folgenden Analysen.

Kapitel 2 bis 5 dokumentieren die fachlichen Untersuchungen (Module) in ihrer jeweiligen Autorenschaft und Methodik: qualitative Erkenntnisse zu Klima, Gesundheit und Biodiversität (IUL/IUNR), grossräumige Klimasimulationen (ZAV), mikroklimatische Analysen (Landscape) sowie Innenraumsimulationen (IBP). Die Kapitel unterscheiden sich entsprechend in Stil und Schwerpunktsetzung, folgen jedoch einer gemeinsamen wissenschaftlichen Logik.

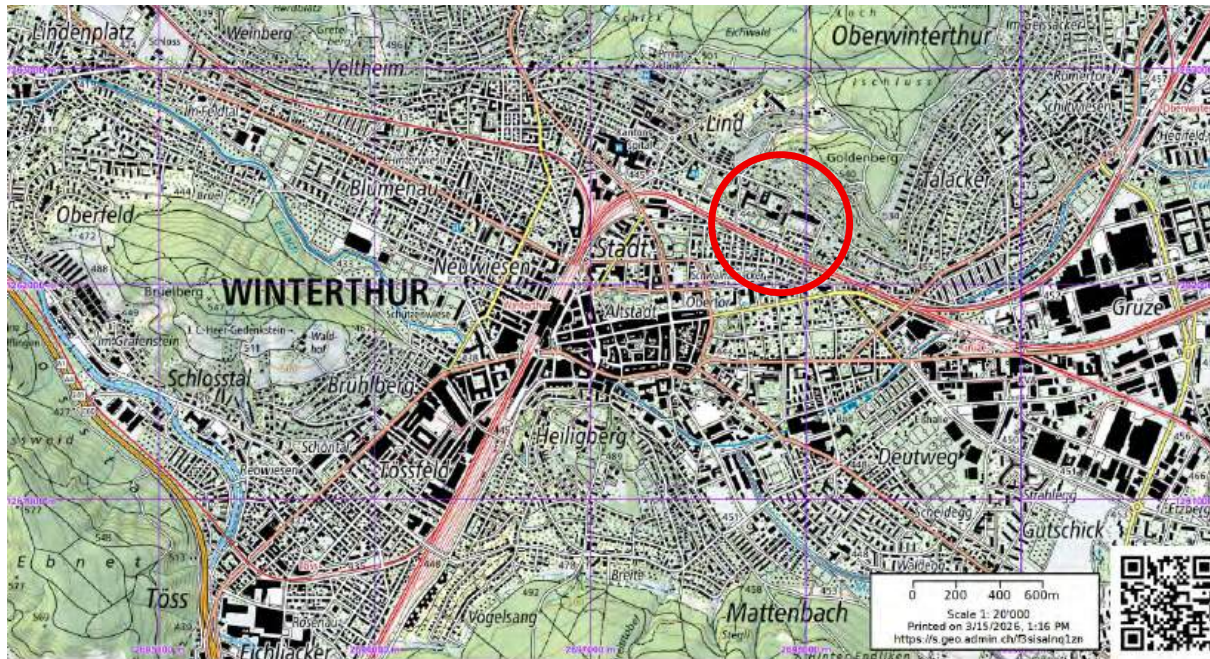
Kapitel 6 bündelt die zentralen Ergebnisse aller Module und leitet daraus übergeordnete und standortspezifische Handlungsempfehlungen ab. **Kapitel 7 (Anhang)** ergänzt den Bericht um die vollständigen Analyseunterlagen, die Konzeptstudie von Krebs und Herde sowie Glossar und Verzeichnisse.

Insgesamt gewährleistet diese Struktur sowohl eine klare Nachvollziehbarkeit des Projektverlaufs als auch die Sichtbarkeit der unterschiedlichen fachlichen Perspektiven.

1.4 Untersuchungsgebiet

1.4.1 Stadt- und Landschaftsräumlicher Kontext

Die Kantonsschulen Rychenberg und Im Lee zeichnen sich durch ihre besondere Lage am Südhang des Goldenbergs im Stadtkreis Lind nördlich der Winterthurer Altstadt aus.



1 - Situationsplan

Südlich schliesst ein dichtes Wohnquartier an, geprägt durch drei- bis viergeschossige Wohnbauten und ein feinmaschiges Strassennetz. Eine parallel verlaufende Bahnlinie markiert hier eine klare räumliche Zäsur zwischen Schulareal (im Bereich der Kantonsschule Rychenberg) und Wohnbebauung und bildet zugleich eine stadträumlich stark wahrnehmbare Grenze. Die beiden Schulbauten bilden zusammen eine grossräumige, offene Bildungslandschaft, die sich deutlich vom kleinteiligeren Siedlungsgefüge im Süden abhebt.

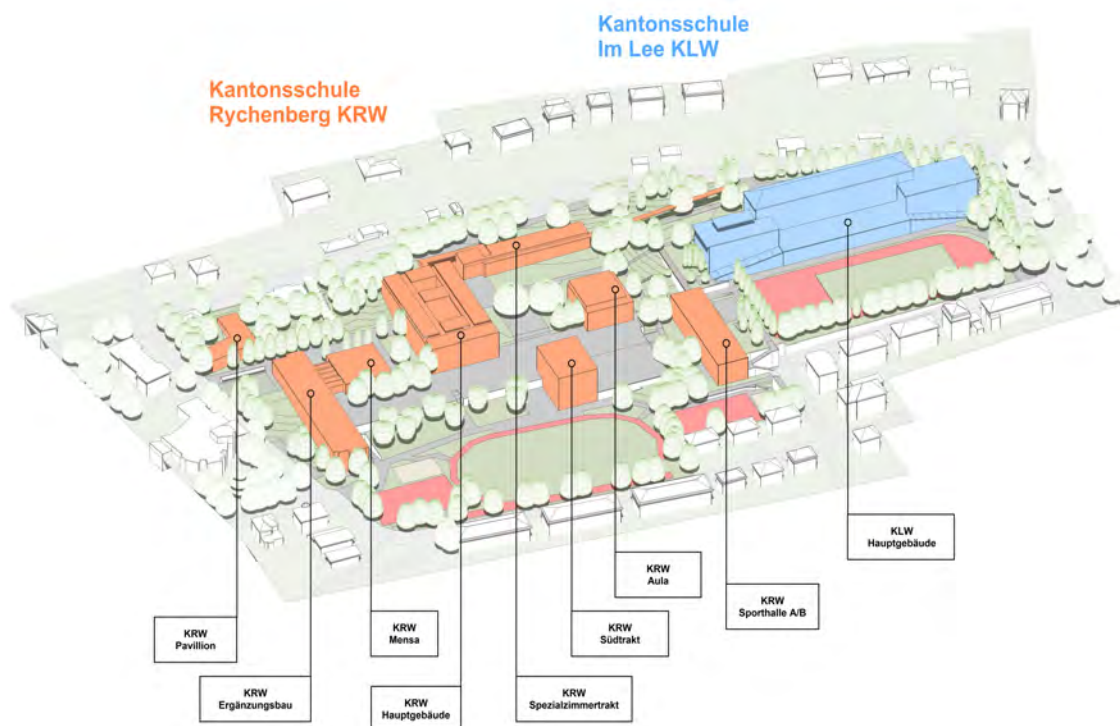
Nördlich der Schulanlagen öffnet sich eine weitläufige Landschaft, bestehend aus Wiesen, Rebflächen, gartenbaulichen Nutzungen und locker gesetzten Gebäuden. Diese Bereiche gehen über die Hanglagen des Goldenbergs in grössere Freiräume und Waldrandstrukturen über. Die geringere Bebauungsdichte und der hohe Vegetationsanteil verleihen dem Umfeld einen ausgeprägt landschaftlichen Charakter und schaffen grossräumige Sichtbezüge. Der Campus fungiert hier als Übergangsraum zwischen urbanem Siedlungsraum und offener Kulturlandschaft.

1.4.2 Schulareal und Gebäudestruktur



2 - Orthofoto Kantonsschule Rychenberg / Im Lee

Das gemeinsame Schulareal der beiden Kantonsschulen zeichnet sich durch eine grosszügige, offene Struktur aus. Weitläufige Rasen- und Sportfelder, befestigte Sportbeläge sowie Freiflächen mit Einzelbäumen bestimmen die innere Gliederung. Die Gebäude der Kantonsschulen Rychenberg (westlich) und Im Lee (östlich) sind in diese offenen Aussenräume eingebettet und bilden keine getrennten stadträumlichen Einheiten, sondern Bestandteile eines zusammenhängenden Bildungsareals.



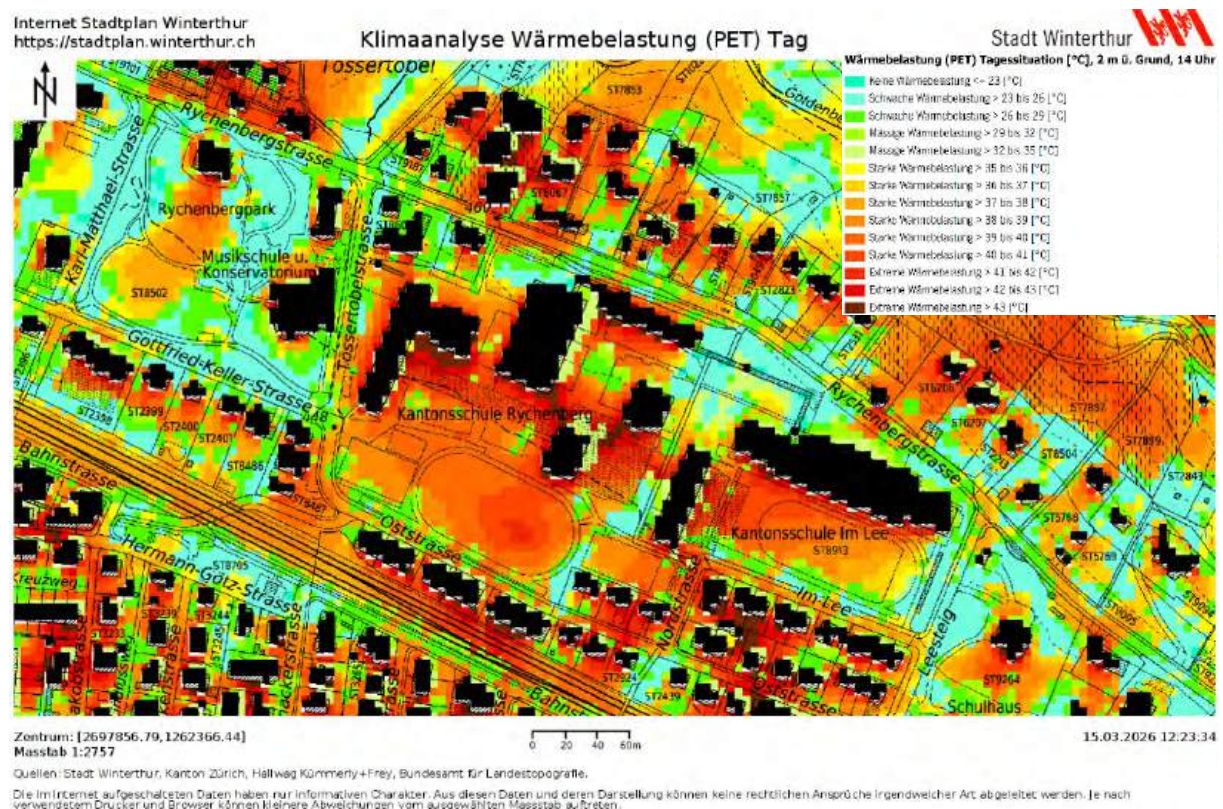
3 - Übersichtsplan / Isometrie Ansicht «Platine»

Insgesamt entsteht ein räumliches Gefüge, das durch den Kontrast zwischen dichter Siedlungsstruktur und weitläufigen Landschaftsräumen geprägt ist. Die Lage der beiden Schulen am Übergang dieser Bereiche verleiht dem Areal eine besondere Offenheit und Grosszügigkeit, die sich sowohl in den Sichtbeziehungen als auch in den stadträumlichen Übergängen widerspiegelt. Innerhalb dieser übergeordneten Konstellation teilen die beiden Kantonsschulen denselben landschaftsräumlichen und stadträumlichen Kontext; Unterschiede ergeben sich lediglich aus architektonischen Setzungen innerhalb des gemeinsamen Campus.

Das Hauptgebäude der Kantonsschule Im Lee, erbaut 1928, wurde 2022 gesamthaft instandgesetzt. Das Hauptgebäude, der Spezialzimmertrakt, die Aula und die Sporthalle A/B der Kantonsschule Rychenberg, erbaut 1963, werden ab Sommer 2027 instandgesetzt. Ebenso der Ergänzungsbau aus dem Jahre 1990, bei dem die Mensa 2017 aufgestockt wurde. Beim Südtrakt aus dem Jahre 2006 erfolgen im Rahmen der Instandsetzung vereinzelte Massnahmen.

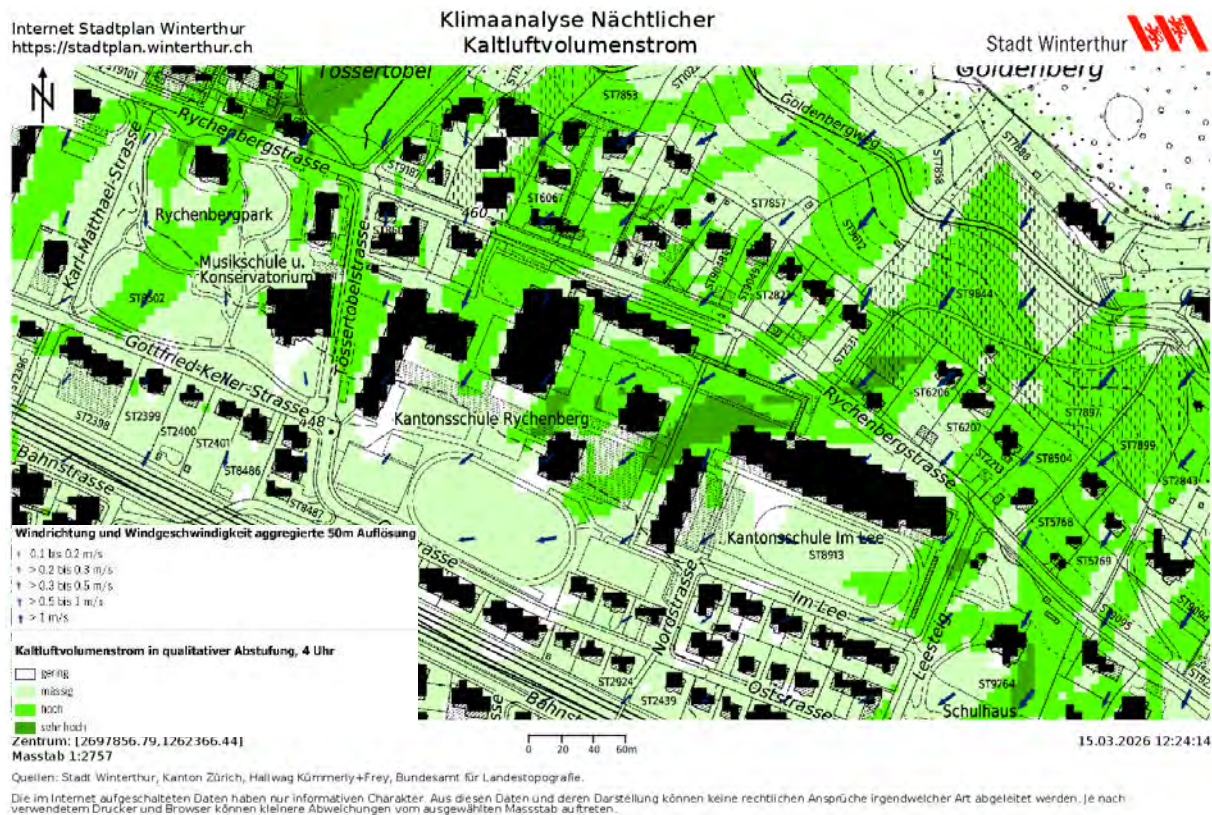
1.4.3 Klima und Ökologie

Beide Schulareale liegen in einem dicht bebauten, stark versiegelten Siedlungsraum, den die städtische Klimaanalyse als thermisch hochbelastet einstuft (vgl. Abb. 4): Die versiegelten Pausenflächen verstärken den lokalen Wärmeinseleffekt. Die Wärmebelastung entlang der Südfassaden während heissen Sommertagen wird als „stark“ oder sogar „extrem“ eingeschätzt.



4 - Übersichtsplan Wärmebelastung (PET) an heissen Sommertagen

Für die nächtliche Abkühlung sind Kaltluftbildung auf und entlang der Hänge des Goldenberg relevant (vgl. Abb. 5): Der Kaltluftabfluss vom bewaldeten Goldenberghang nordöstlich des KRW verläuft durch den KRW-Perimeter und macht das Areal potenziell zu einem bedeutsamen Durchströmungsraum im städtischen Frischluftverbund (Rahmenplan Stadtklima Winterthur). Die Kaltluftvolumenströme werden dabei als hoch bis sehr hoch eingestuft und verlaufen zwischen den Gebäuden hindurch, schwächen sich jedoch noch im unteren, flacheren Teil deutlich ab.



5 - Übersichtsplan nächtlicher Kaltluftströme

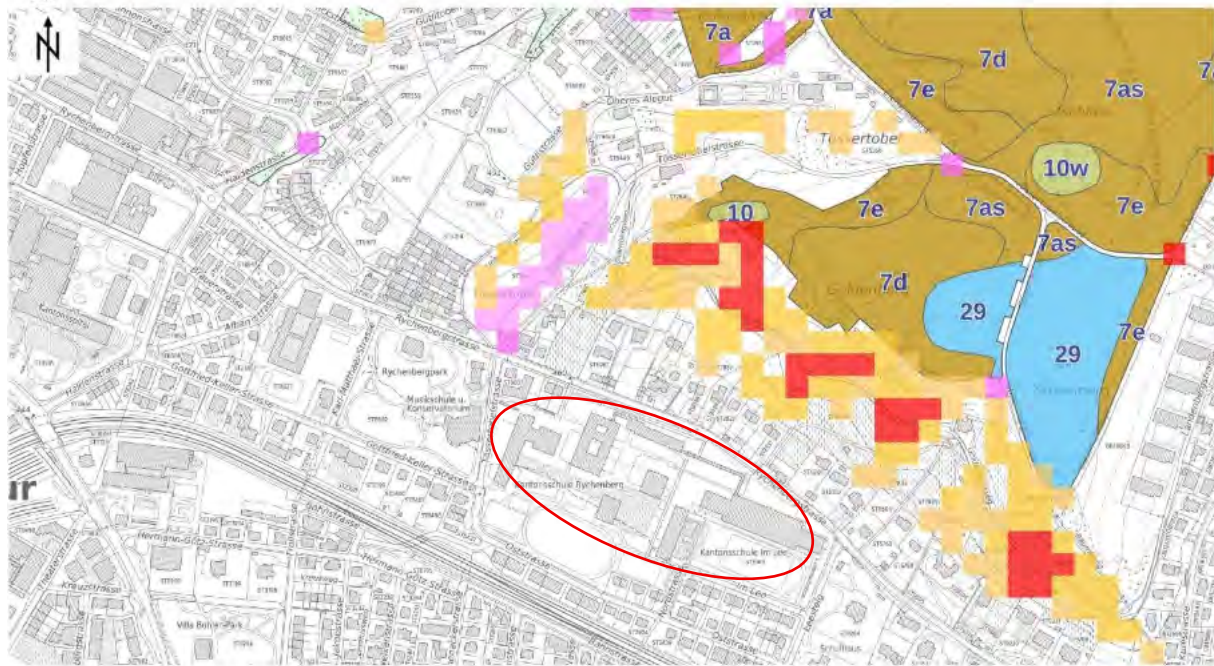
Die Böden im Untersuchungsgebiet sind überwiegend kolluviale Hangfussböden — je nach Lage normaldurchlässig oder stauwasserbeeinflusst — mit entsprechenden Konsequenzen für die Eignung als Baumstandorte und für wassersensitive Gestaltungsansätze. Unterkellerte Bereiche auf dem KRW-Areal schränken die Bodentiefe für Grosspflanzungen stellenweise ein. (vgl. Anhang, 7.3.2)

Die vegetationskundliche Kartierung des Kantons Zürich weist der Umgebung beider Areale vor allem den Typ der Eichen-Hainbuchen-Mischwälder (Einheiten 7d/7e, vgl. Abb. 6) zu. Dieser Waldgesellschaftstyp auf frischen, basenreichen Kolluvialböden definiert den naturräumlichen Rahmen für eine standortgerechte Artenwahl: *Quercus robur*, *Carpinus betulus*, *Acer campestre*, *Tilia cordata* und *Corylus avellana* entsprechen der potenziellen natürlichen Vegetation und weisen eine hohe Klimaresilienz und grossen ökologischen Mehrwert auf. Für Teile beider Areale und deren Umgebung ist zudem ein mittleres bis hohes Magerwiesen-Potenzial ausgewiesen, und entlang des Tössertobels sind Feuchtgebiets-Potenzialflächen kartiert, die für die Anlage von Gewässerlebensräumen nutzbar wären. (vgl. Abb. 6)



Kanton Zürich
GIS-Browser (<https://maps.zh.ch>)

Vegetationskundliche Kartierung der Wälder im Kanton Zürich, Lebensraum-Potenziale



© GIS-ZH, Kanton Zürich, 11.03.2026 18:07:03

Diese Karte stellt einen Zusammenschluss von amtlichen Daten verschiedener Stellen dar. Keine Garantie für Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität. Rechtsverbindliche Auskünfte erteilen allein die zuständigen Behörden.

Massstab 1:5000

0 50 100 150m
Zentrum: 2697830 / 1262519

Legende

Wald ungeneralisiert

- Wald ungeneralisiert
Wald generalisiert

Seen

- Seen

Kantonsgrenzen

- Kantonsgrenzen

Bezirks- und Kantonsgrenzen

- Kantons Grenzen
Kantons Grenzen
Bezirks Grenzen
Bezirks Grenzen

Gemeindegrenzen

- Gemeindengrenzen

Waldgesellschaften

- Unbestockte Flächen
- Simsen-Buchenwälder und «anspruchsvolle»
Buchenwälder auf eher sauren Böden
- Waldmeister-Buchenwald
- Waldhirschen-Buchenwälder
- Lungenkraut-Buchenwälder
- «Anspruchsvolle» Buchenwälder auf eher
basischen Böden
- Orchideen-Buchenwälder
- Tannen-Buchenwälder
- Linden-Bergahornwälder
- Erlen-Eschenwälder

- Eichen-Hagebuchenmischwälder und Eichenmischwälder
- Weidenauenwälder und Erlen- und Moorbirkenbruchwälder und Fichten-Tannenwälder
- Erika-Föhrenwälder

Beschriftung Einheit nach E+K72

Az

mit Standortfaktoren modellierte

- | | |
|---|--|
| Lebensraum Feuchtgebiet, inventarisiert (1) | |
| Pot. f. Feuchtgebietsergänzung > 50% (11) | |
| Pot. f. Feuchtgebietsergänzung 46% (145) | |
| Pot. f. Feuchtgebietsergänzung 40% (140) | |
| Pot. f. Feuchtgebietsergänzung 35% (135) | |
| Lebensraum Trockenstandorte (2) | |
| Pot. f. Magerwiesen > 55% (21) | |
| Pot. f. Magerwiesen 55% (255) | |
| Pot. f. Magerwiesen 50% (250) | |
| Pot. f. Magerwiesen 46% (245) | |
| Pot. f. Magerwiesen 40% (240) | |
| Pot. f. Magerwiesen 35% (235) | |
| Pot. f. Magerwiesen (wechselfeucht) 45% (345) | |
| Pot. f. Magerwiesen (wechselfeucht) 40% (340) | |
| Pot. f. Magerwiesen (wechselfeucht) 35% (335) | |

6 - Lebensraumtypen

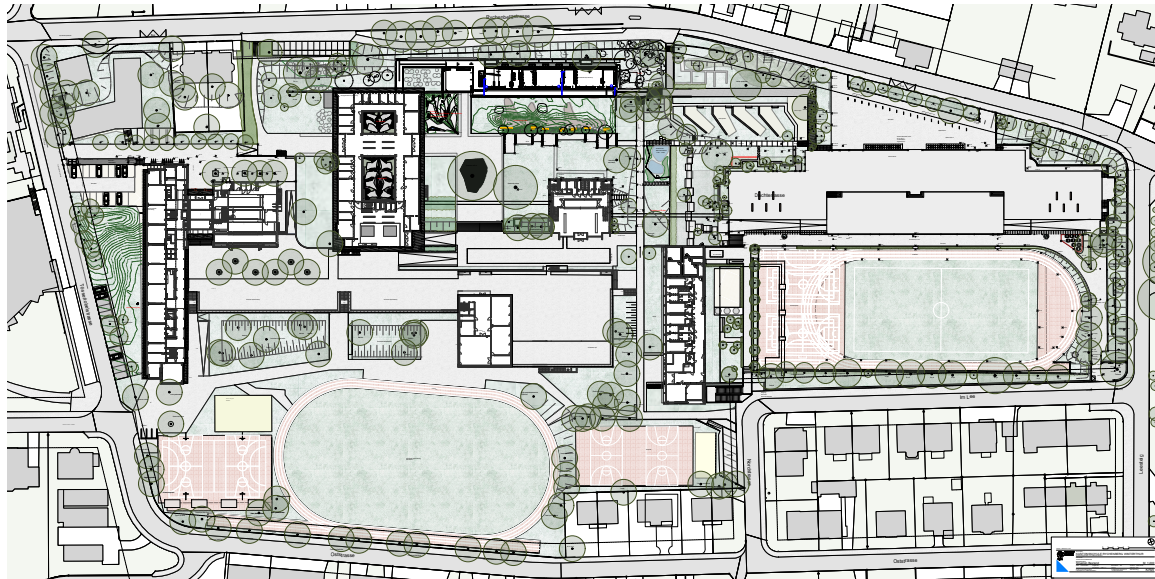
Die Schulareale nehmen in diesem Landschaftsgefüge eine Übergangsposition ein: Sie liegen am Rand des bebauten Stadtgebiets, in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Gehölz- und Waldrandstrukturen des Goldenbergs sowie zum Tössertobel als linearem Vernetzungskorridor. Beide Strukturen sind gleichzeitig Kaltluftentstehungsgebiete und strukturreiche Lebensräume — sie bedingen und verstärken sich gegenseitig. Grünkorridore und Kaltluftschneisen sind in diesem Raum keine unabhängigen Systeme.

Die Schulareale liegen in der Wirkungszone dieser Systeme, nutzen deren Potenzial heute jedoch kaum. Jede Entsiegelung und Erhöhung des Vegetationsanteils stärkt gleichzeitig die Kaltluftproduktion, verbessert die Durchlüftung des angrenzenden Siedlungsraums und erhöht die ökologische Durchlässigkeit für mobile Tierarten. Dieser doppelte Nutzen — klimatisch und ökologisch — bildet die übergeordnete Leitidee für alle Massnahmen, die in den folgenden Kapiteln entwickelt werden.

1.5 Plangrundlagen

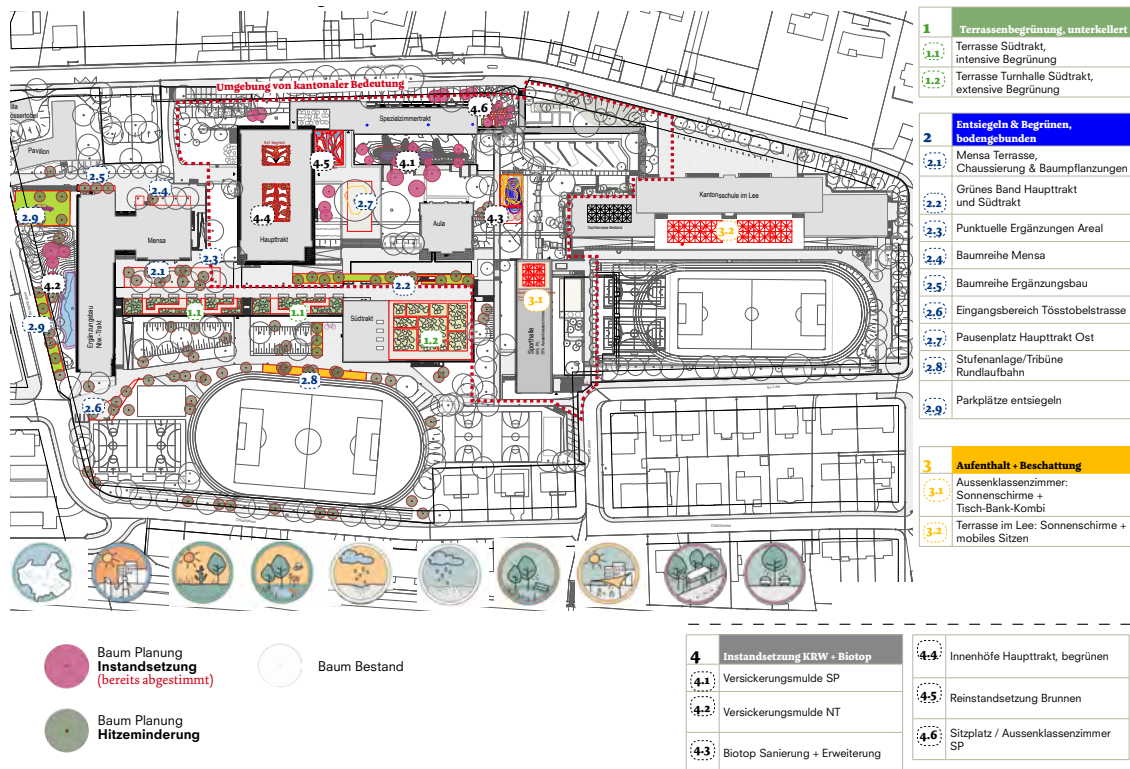
1.5.1 Konzeptstudie

Eine zentrale Grundlage für die Analyse und Bewertung der Aussenräume der Kantonsschulen Rychenberg und Im Lee bildet die durch das Büro **Krebs und Herde** erarbeitete Konzeptstudie. Sie liefert eine umfassende Bestandsaufnahme (vgl. Abb. 7) der räumlichen, funktionalen und klimarelevanten Bedingungen beider Schulareale und bildet damit das planerische Fundament für die weitere Untersuchung. Die Bestandsaufnahme umfasst detaillierte Analysen der Freiraumstrukturen, der Oberflächen- und Versiegelungsverhältnisse, der Vegetations- und Grünraumqualitäten sowie der klimatischen Ausgangslage.



7 - Bestandsplan, Krebs und Herde

Darüber hinaus zeigt die Konzeptstudie erste Transformationsoptionen und Entwicklungsperspektiven auf, die als Leitplanken für eine klimaresiliente Weiterentwicklung der Aussenräume dienen (vgl. Abb.8).



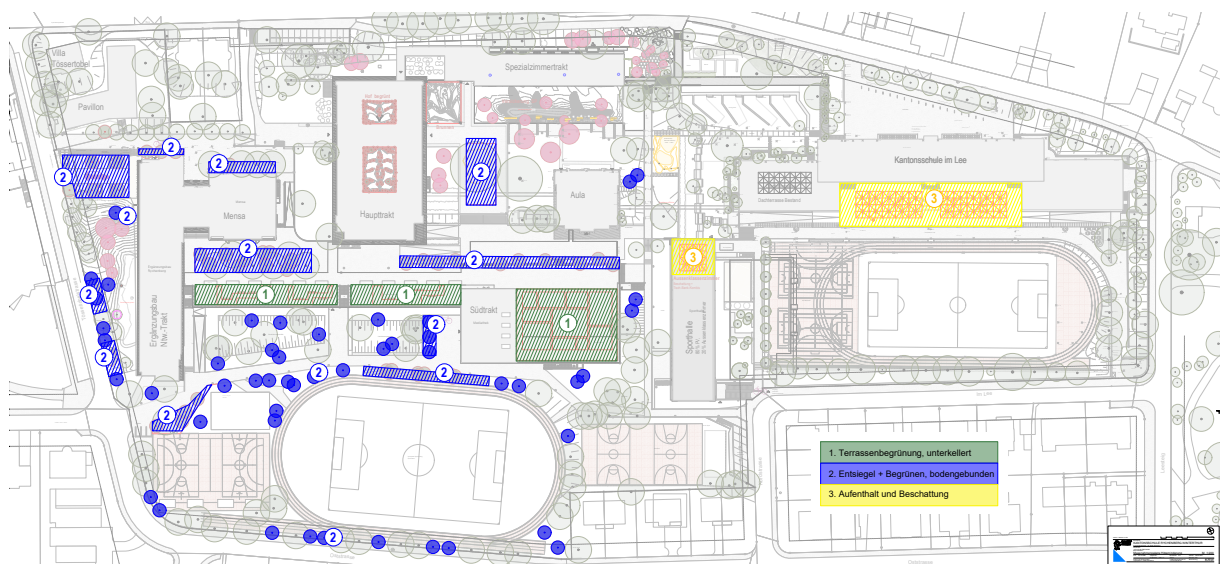
8 - Konzeptplan Massnahmen & Hitzeminderung, Krebs und Herd

Die Konzeptstudie wurde im Projektverlauf mit eigenen Erhebungen – darunter Vor-Ort-Begehungen, die qualitative Bewertung der Aufenthaltsqualität und Biodiversität und das partizipative Format «Come In» – verknüpft. Sie diente sowohl der fachlichen Orientierung als auch der Identifikation jener räumlichen Fragestellungen, die im Rahmen der Analyse vertieft betrachtet wurden. Auf ihrer Basis wurden zudem die Massnahmenpakete entwickelt, welche im weiteren Verlauf mikroklimatisch simuliert, und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit beurteilt wurden.

1.5.2 Massnahmenpakete

Auf Grundlage der Konzeptstudie wurden die verschiedenen räumlichen und klimarelevanten Interventionen zu **Massnahmenpaketen** gebündelt, um ihre Wirkung systematisch und vergleichbar untersuchen zu können. Die Paketbildung folgt drei zentralen Kriterien:

- 1) thematische Zugehörigkeit (z.B. Entsiegelung/Begrünung, Beschattung/Aufenthalt),
- 2) Umsetzbarkeit und Kostenlogik (Massnahmen mit ähnlichem Realisierungs- und Investitionsrahmen), sowie
- 3) klimatische Wirkmechanismen und potenzielle Interaktionen.



9 - Massnahmenpakete Hitzeminderung, Plan Krebs und Herde

Letzteres ist zentral, da sich mikroklimatische Effekte nicht additiv verhalten müssen: Einzelmassnahmen können sich synergetisch verstärken (z.B. führt mehr Entsiegelung zu einem verbesserten Wasserhaushalt und Standortqualität und fördert dadurch langfristig eine höhere Vegetations-

leistung, sich überlagern (z.B. Beschattung) oder Zielkonflikte erzeugen (z.B. zusätzliche Vegetation erhöht Rauigkeit und kann die lokale Durchlüftung reduzieren).

Durch die paketweise Simulation (je Paket vs. Bestand) wird sichtbar, welcher Anteil der Wirkung auf welche Massnahmenlogik zurückzuführen ist. Die zusätzliche Gesamtsimulation (Pakete 1–4 kombiniert) dient dazu, Kombinationseffekte zu erfassen und unbeabsichtigte Nebenwirkungen (z.B. Verlagerung von Hotspots, Windstau in angrenzenden Bereichen) zu identifizieren. Damit wird die Massnahmenentwicklung sowohl fachlich als auch strategisch (Priorisierung nach Wirksamkeit und Aufwand) transparent begründbar.

Im vorliegenden Projekt sind die Pakete wie folgt zusammengefasst:

- Paket 1: Terrassenbegrünung auf unterkellerten Bereichen
- Paket 2: Entsiegeln & Begrünen ohne Unterkellerung, bodengebunden
- Paket 3: Aufenthaltsbereiche auf Terrassen mit Beschattung
- Paket 4: Vorhandene Bauprojektthemen Instandsetzung KRW

2 Qualitative Untersuchung

2.1 Stand der Forschung

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Auswirkungen der Klimaänderung auf Kinder, deren Gesundheit und schulische Lernumgebungen hat in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. Zunehmend wird erkannt, dass Hitze und andere klimatische Belastungen nicht nur ökologische oder gesundheitliche Herausforderungen darstellen, sondern auch Lernprozesse, Wohlbefinden und Bildungsqualität beeinflussen. Parallel wächst das Interesse an klimaresilient gestalteten Schulfreiräumen, da naturbasierte Lösungen sowohl thermische Belastungen reduzieren als auch soziale, emotionale und kognitive Entwicklungsprozesse unterstützen. Der folgende Forschungsstand fasst zentrale Erkenntnisse zu Klimaänderung, Hitze und klimage-rechter Schulentwicklung zusammen.

2.1.1 Klimaerwärmung und Folgen für Schüler:innen

Die Klimaerwärmung führt bereits heute zu deutlich spürbaren Veränderungen in Temperatur, Niederschlag und der Häufigkeit von Extremwetterereignissen. Besonders urbane Räume sind betroffen, da sich Versiegelungsgrade hoch sind und sich Hitzeinseln verstärken. Kinder und Jugendliche zählen zu den am stärksten gefährdeten Gruppen, da ihre Thermoregulation noch nicht vollständig ausgereift ist und sie einen grossen Teil ihres Alltags in schulischen Innen- und Aus-senräumen verbringen (UNICEF 2021; WHO 2024). Global hat sich die Durchschnittstemperatur seit der vorindustriellen Zeit um rund 1.1 °C erhöht (IPCC 2023). In der Schweiz liegt die Erwärmung mit etwa 2 °C seit 1900 deutlich darüber, begleitet von längeren Hitzeperioden und einer Zunahme an Hitzetagen und veränderten Niederschlagsmustern. (Climate CH2025)

Diese Entwicklungen haben direkte Folgen für Schüler:innen. Zahlreiche Studien zeigen, dass hohe Temperaturen die kognitive Leistungsfähigkeit reduzieren. Schon ab etwa 26–27 °C sinken Prüfungsleistungen, die Fehlerquote steigt und Reaktionszeiten verlängern sich (Park et al. 2020; Graff Zivin et al. 2018). Hitze wird damit sowohl zu einem physiologischen als auch zu einem pädagogischen Problem. Zudem verstärkt sie bestehende soziale Ungleichheiten: Schulen in sozio-ökonomisch benachteiligten Quartieren weisen oft geringere Grünanteile sowie unzureichende Verschattung und bauliche Hitzeschutzmassnahmen auf, was die Belastung kumulativ erhöht (EEA 2021).

Auch emotionale und psychologische Belastungen nehmen zu. Hitze verschlechtert die Schlafqualität, erhöht Stress und beeinträchtigt das allgemeine Wohlbefinden. Extremwetterereignisse wie Starkregen oder Stürme führen zu Störungen des Schulbetriebs und können Unsicherheiten oder Zukunftsängste verstärken. Das IPCC weist darauf hin, dass klimabedingte Umweltbelastungen langfristige Entwicklungsrisiken mit sich bringen, wenn Schulen ihre Infrastruktur nicht aktiv klimaresilient ausbauen.

Damit wird die Gestaltung schulischer Aussenräume zu einem Bestandteil der Bildungsqualität: Beschattung, Luftzirkulation, Grünanteile und die Entschärfung thermischer Hotspots sind nicht nur technische, sondern auch pädagogische und sozialräumliche Fragen. Internationale und nationale Studien belegen, dass klimaangepasste Schulen zentrale Orte der Prävention darstellen und wesentlich zur Reduktion klimabedingter Belastungen beitragen können (Bowler et al. 2010; Aram et al. 2019).

2.1.2 Hitze und Gesundheit

Hitze zählt weltweit zu den am stärksten unterschätzten Gesundheitsrisiken und verursacht bereits heute mehr hitzebedingte Todesfälle als alle anderen klimatischen Extremereignisse zusammen (WHO 2023). Besonders anfällig sind Kinder und Jugendliche, da ihre Thermoregulation noch nicht vollständig ausgereift ist und sie Dehydrierung sowie hitzebedingte Erschöpfung schneller entwickeln (He 2025). Schulen sind zentrale Orte für Prävention, da viele Hitzeexpositionen während Unterrichts- und Pausenzeiten auftreten.

Physiologisch führt Hitze zu einer Erhöhung der Herz-Kreislauf-Belastung, zu Flüssigkeitsverlust und zu einer Beeinträchtigung der Konzentrations- und Gedächtnisleistung (Kjellstrom et al. 2016). Bereits moderate Hitzebelastung (ab ca. 28 °C) kann bei Jugendlichen zu Symptomen wie Müdigkeit, Kopfschmerzen oder Schwindel führen. Bei intensiver Sonneneinstrahlung in nicht beschatteten Pausenaussenräumen steigen die Strahlungstemperaturen oft bis zu 10–15 °C über die gemessenen Lufttemperaturen (Böhm et al. 2020). Qian et al. (2025) weisen darauf hin, dass Kinder aufgrund ihrer geringeren Körperhöhe besonders hohe Strahlungstemperaturen in Bodennähe erfahren, insbesondere auf Asphalt und synthetischen Belägen.

Auch aus Public-Health-Sicht sind Schulen besonders relevant: Hitzebelastung verschärft chronische Erkrankungen wie Asthma oder ADHS, verstärkt neurophysiologische Stressreaktionen und führt zu erhöhten Abwesenheiten (Beatty & Shimshack 2014). Zudem zeigt Forschung, dass Hitze das Aggressionsverhalten sowie Konflikte in Gruppen verstärken kann, was für pädagogische Settings relevant ist (Ranson 2014).

Präventive Massnahmen im Aussenraum – Verschattungssysteme, Begrünung, Wasserelemente, helle Beläge – reduzieren die thermische Belastung nachweislich um mehrere Grad (Bowler et al. 2010; Aram et al. 2019). Schulen, die solche Anpassungen implementieren, zeigen geringere hitzebedingte Beschwerden und bessere Lernbedingungen.

2.1.3 Klimagerechte Schulentwicklung

Klimagerechte Schulentwicklung bezeichnet die systematische Integration von Klimaschutz- und Anpassungsmassnahmen in Planung, Bau, Betrieb und pädagogische Konzepte von Schulen. Internationale Leitlinien betonen die doppelte Rolle von Schulen als lernende Institutionen und als resiliente infrastrukturelle Vorbilder (OECD, 2020; UNESCO, 2024; Umweltbundesamt, 2022). Ergänzend weisen aktuelle Schulbaukonzepte wie die *10 Thesen zu einem zukunftsfähigen Schulbau* der Montag Stiftung (2023) darauf hin, dass insbesondere schulische Aussenräume als multifunktionale Bewegungs-, Lern- und Aufenthaltsräume sowie als zentrale Elemente der Klimaanpassung zu verstehen sind. Diese Perspektive wird durch neuere Beiträge der deutschsprachigen Schulbaudebatte bestätigt, etwa im Hochparterreartikel *Was ein gutes Schulhaus ausmacht* (Hochparterre, 2026).

Empirische Forschung zeigt, dass Grünflächen, Beschattung und vielfältig nutzbare Freiräume nicht nur das Mikroklima verbessern, sondern auch soziale Interaktion, motorische Aktivität und Stressreduktion fördern (Kelz et al., 2015; Chawla, 2018). Insbesondere im Primarschulbereich ist nachgewiesen, dass naturnahe Aussenräume kreatives und exploratives Spielverhalten anregen und qualitativ hochwertigere Spielformen ermöglichen (Herrington & Brussoni, 2015; Tranter & Malone, 2018). Diese räumlichen Qualitäten wirken auch in weiterführenden Schulen, indem sie Lernmotivation, Erholung und soziale Kohäsion stärken.

Im architektur- und planungsbezogenen Fachdiskurs werden Schulfreiräume zunehmend als integrative Gestaltungsaufgabe verstanden, in der Klimaanpassung, Regenwassermanagement, Biodiversität und soziale Nutzungsanforderungen zusammenwirken (Kowarik et al., 2021; Montag Stiftung, 2023). Unter den Bedingungen des Klimawandels gewinnen Aspekte wie Verschattung, Oberflächenentsiegelung und robuste Begrünung besondere Relevanz, da sie unmittelbar zur Reduktion thermischer Belastungen beitragen und gleichzeitig Gesundheit und Nutzbarkeit der Schulareale verbessern.

Klimagerechte Schulentwicklung erfordert daher eine enge Verzahnung von Infrastrukturplanung und pädagogischer Orientierung. Wals' Konzept sustainability-orientierter Lernökologien (Wals, 2019, 2020) bietet hierfür einen theoretischen Rahmen: Schulen fungieren als «Living Labs», in denen Lernende aktiv in Klimaanpassungsprozesse einbezogen werden und ökologische Kom-

petenz durch praktische Erfahrung erwerben. Partizipative Gestaltung verstärkt diese Effekte und erhöht zugleich die Akzeptanz von Massnahmen (Chawla & Cushing, 2007; Barratt Hacking et al., 2010).

Zahlreiche Studien belegen die klimatische und pädagogische Wirksamkeit naturbasierter Massnahmen: Entsiegelung, Baumpflanzungen, Fassadenbegrünung und wassersensitive Gestaltung senken Umgebungstemperaturen im Sommer signifikant (Norton et al., 2015; Kabisch et al., 2021), fördern Biodiversität (Kowarik et al., 2021) und unterstützen Bildungsziele der Bildung für nachhaltige Entwicklung (UNESCO, 2024). Naturnahe Strukturen erweitern zudem Lern- und Erlebnisräume und fördern eine ganzheitliche kindliche und jugendliche Entwicklung (Kelz & Evans, 2010; Chawla, 2018).

Klimagerechte Schulentwicklung ist somit ein integrativer Ansatz, der Klimaanpassung, Gesundheit, Lernqualität und ökologische sowie soziale Nachhaltigkeit verbindet. Grössere Schulareale – wie Kantons- und Sekundarschulen – verfügen aufgrund ihrer räumlichen Ausdehnung und hohen Aufenthaltsdichte über ein besonderes Potenzial, durch langfristige Massnahmen sowohl mikroklimatisch als auch pädagogisch substanziell zu profitieren.

2.1.4 Biodiversität – Beitrag zur Gesundheit

Schulaussenräume mit hoher biologischer Vielfalt leisten weit mehr als nur Temperaturregulation. Sie schaffen multifunktionale Ökosysteme, die sich positiv auf die physische und psychische Gesundheit von Schülerinnen und Schülern auswirken. Eine wachsende Zahl wissenschaftlicher Studien belegt die gesundheitsfördernden Effekte biodiverser Schulumgebungen auf verschiedenen Ebenen.

Psychisches Wohlbefinden und kognitive Leistung

Forschungsergebnisse zeigen eindeutig, dass strukturreiche, artenreiche Schulaussenräume das psychische Wohlbefinden fördern. Eine systematische Übersichtsarbeit dokumentiert positive Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Spielqualität, Wohlbefinden, Aufmerksamkeit und sozialem Verhalten (Davis et al. 2024). Konkret belegt eine Vergleichsstudie zwischen biodiversen und vegetationsarmen Schulhöfen, dass Kinder auf artenreichen Schulaussenräumen vielfältigere Spielformen zeigen (funktionales, konstruktives und Fantasiespiel), mehr Orte für Rückzug und Gespräche nutzen und stärkere Naturvorlieben entwickeln (Samborski 2023).

Die kognitiven Effekte sind ebenfalls bemerkenswert. Studien dokumentieren verbesserte Aufmerksamkeit, selektive Aufmerksamkeit und Kreativität bei Kindern, die regelmässig Zugang zu naturnahen Schulumgebungen haben (Li et al. 2025; Verheyen et al. 2025; Davis et al. 2024). Ein

ganzjähriges Biodiversitäts-Programm im Schulgelände verbesserte Stimmung und Wohlbefinden von 8- bis 11-Jährigen nachhaltig, wobei besonders Kinder mit anfangs geringer Naturverbundenheit profitierten (Harvey et al. 2020).

Bereits frühere Untersuchungen zeigten, dass begrünte Zonen auf Schulhöfen zu einer Steigerung von Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit führen (Dadvand et al. 2015). Diese Befunde unterstreichen die Bedeutung biodiverser Aussenräume für die kognitive Entwicklung und Lernleistung.

Immunsystem und Mikrobiomvielfalt

Eine bahnbrechende Entdeckung der jüngeren Forschung betrifft die Wirkung biodiverser Umgebungen auf das Immunsystem von Kindern. Das "Biodiversitätshypothese"-Modell postuliert, dass Kontakt zu vielfältigen Umweltmikroben das Immunsystem trainiert. Experimentelle Studien in Kindertagesstätten und Schulen bestätigen diese Hypothese eindrucksvoll: Aufgewertete, "waldartige" Aussenräume führten binnen weniger Wochen zu diverserer Haut- und Darmflora sowie zu mehr regulatorischen T-Zellen und anti-entzündlichen Signalstoffen (Roslund et al. 2020). Eine Langzeitstudie dokumentierte, dass diese Biodiversitäts-Intervention die gesundheitsassoziierte kommensale Mikrobiota bei Kindern nachhaltig prägt (Roslund et al. 2021).

Diese Veränderungen werden mit einem potenziell geringeren Risiko für Allergien und Autoimmunerkrankungen in Verbindung gebracht. Die Ergebnisse legen nahe, dass naturnahe Schulaussenräume nicht nur akute Stressreduktion bieten, sondern auch langfristige immunologische Schutzeffekte entfalten können.

Soziale Kompetenzen und Verhalten

Biodiversitätsreiche Schulumgebungen fördern nachweislich prosoziales Verhalten und vielfältigere Gruppenspiele (Samborski 2023; Verheyen et al. 2025; Herrera-Oesterheld et al. 2025; Fischer et al. 2019). Die Strukturvielfalt naturnaher Aussenräume schafft Gelegenheiten für verschiedene soziale Interaktionsformen: von aktivem Gruppenspiel über ruhige Gespräche bis zu individuellem Rückzug. Diese Diversität an Aufenthaltsqualitäten ermöglicht es Kindern und Jugendlichen, situativ angemessene soziale Räume zu wählen.

Eine Studie zu Schul- und Bildungsgärten zeigt, dass diese nicht nur Umweltbewusstsein und naturbezogene Einstellungen fördern, sondern auch gesunde Ernährung und Bewegung unterstützen (Retzlaff-Fürst 2016; Herrera-Oesterheld et al. 2025; Fischer et al. 2019).

Bildung für nachhaltige Entwicklung

Biodiversitätsunterricht in naturnahen Schulumgebungen steigert nachweislich das Wissen über Ökosystemleistungen und das Verständnis für ökologische Bedrohungen wie Klimawandel oder

Landnutzungswandel (Børresen et al. 2022). Besonders wirksam ist dabei die Verknüpfung von Biodiversität mit Themen, die für Jugendliche persönlich relevant sind: Gesundheit, Medizin, Ernährung und direkter Nutzen für Menschen (Franzolin et al. 2021).

Schulgärten mit hoher Pflanzenvielfalt, einschliesslich Wildpflanzen und Insektenhabitaten, fungieren als "essbare Schulen" und schaffen konkrete Lernanlässe für ökologische Zusammenhänge (Retzlaff-Fürst 2016; Herrera-Oesterheld et al. 2025; Fischer et al. 2019). Durch die direkte Beobachtung von Bestäubern, Nützlingen und jahreszeitlichen Phänomenen werden abstrakte ökologische Konzepte erfahrbar.

Synergien zwischen Klimaschutz und Gesundheit

Die gesundheitlichen Vorteile biodiverser Schulaussenräume ergänzen sich ideal mit klimaanpassenden Massnahmen. Strukturreiche Vegetation mit heimischen Arten bietet nicht nur vielfältige sensorische Erlebnisse und Habitatfunktionen, sondern trägt auch zu Verdunstungskühlung, Schattenwirkung und verbesserter Luftqualität bei. Die Integration von Hitzeminderung und Biodiversitätsförderung schafft damit einen doppelten Gesundheitsnutzen: Schutz vor Hitzebelastung und Förderung psychischer sowie immunologischer Gesundheit.

2.2 Aufenthaltsqualitäten Aussenraum

2.2.1 Einleitung

Die Untersuchung zur klimaresilienten Gestaltung der Aussenräume der Kantonsschulen Rychenberg und Im Lee basiert auf einem Methodenmix aus naturwissenschaftlichen Analysen, ökologischen Bewertungen und sozialwissenschaftlichen Erhebungen. Während Stadtklimasimulationen und ökologische Gutachten eine fachliche Grundlage für die Beurteilung von Hitzeminderung, Versickerungsfähigkeit und Biodiversität liefern, ergänzt die **Sicht der tatsächlichen Nutzer:innen diese Erkenntnisse um eine alltagsnahe, wahrnehmungsbasierte Ebene**. Um diese Perspektive systematisch zu erfassen und in die Gesamtbewertung der Freiraumqualitäten einzubeziehen, wurden zwei qualitative Bewertungsmethoden angewendet:

- **Format «Come In»** – Es handelt sich um ein partizipatives Verfahren, das qualitative Informationen zu Nutzungsmustern, Aufenthaltspräferenzen und räumlichen Wahrnehmungen liefert. Im nachfolgenden Kapitel 2.2.2 werden Methode, Zielsetzung, Aufbau und Ablauf dieses Formats sowie seine Rolle innerhalb des Forschungsdesigns erläutert.
- **Kriterienkatalog Aufenthaltsqualität** – Als zweite qualitative Methode wurde ein Kriterienkatalog eingesetzt, der zentrale Dimensionen der räumlichen Aufenthaltsqualität an-

hand einer fünfstufigen Skala (1 = sehr schwach bis 5 = ausgezeichnet) bewertet. Die Kriterien umfassen die Bereiche Erlebbarkeit von Biodiversität und Ökologie, Sonnen- und Regenschutz, Kommunikations- und Aufenthaltsräume sowie unterrichtsbezogene Freiräume. Jedes Kriterium wird durch beobachtbare Merkmale wie Qualität des Grüns, Angebot an Schatten, soziale Nutzbarkeit oder pädagogische Einsatzmöglichkeiten konkretisiert. Methode, Zielsetzung und Aufbau dieser Bewertungssystematik werden in Kapitel 2.2.3 beschrieben.

2.2.2 Methode und Vorgehen «Come In» Kantonsschule Rychenberg



10 - Fotos «Come-In» KRW: Durchführung

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das **«Come In»** als niedrighschwellige, partizipative Erhebungsmethode in der Kantonsschule Rychenebrg eingesetzt. Da die Kantonsschule Im Lee bereits umfangreiche Sanierungsmassnahmen gemacht hat, hat man auf eine dortige Einbindung der Schüler:innen verzichtet, um keine Erwartungen zu wecken.

Ziel dieses Formats ist es, die Wahrnehmung und Nutzung der bestehenden Aussenräume durch Schüler:innen, Lehrpersonen und Mitarbeitende systematisch zu erfassen und qualitative Grundlagen für die klimatische und ökologische Bewertung der Schulareale zu gewinnen. Durch die Integration der Nutzer:innenperspektiven sollen klimawirksame Massnahmen identifiziert und zugleich deren funktionale Relevanz für den Schulalltag berücksichtigt werden.

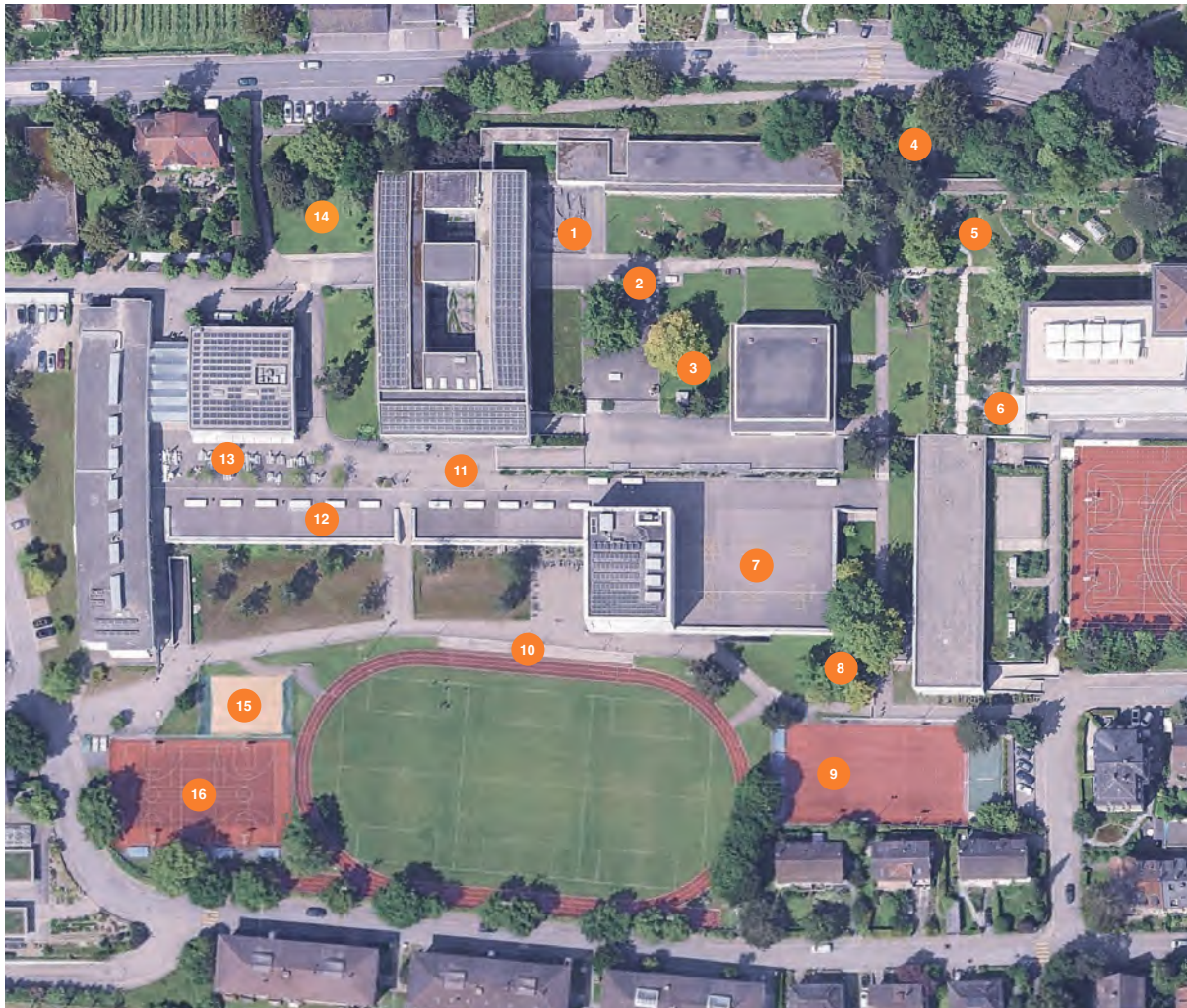
Das «Come In» fand während einer zweistündigen Mittagspause statt und kombinierte kartengestützte Markierungen, kurze schriftliche Rückmeldungen und offene Interaktion mit den Teilnehmenden. Zur Vorbereitung wurden drei grossformatige Bestandspläne der Aussenräume sichtbar im Raum platziert und mit einer Leitfrage ergänzt, die dazu aufforderte, genutzte oder gemiedene

Bereiche sowie die jeweiligen Gründe anzugeben. Zusätzlich wurden Materialien wie farbige Klebpunkte, Post-its und Stifte bereitgestellt.

Während der Durchführung markierten die Teilnehmenden zunächst jene Orte auf den Plänen, an denen sie sich zu verschiedenen Jahreszeiten aufhalten. Hierfür kamen farbcodierte Punkte zum Einsatz, die zwischen Frühling, Sommer, Herbst und Winter unterschieden. Anschliessend ergänzten sie auf Post-its die Gründe für ihre Ortswahl oder -vermeidung, etwa Aspekte wie Schatten, Hitze, Lärm, Aufenthaltsqualität oder Ruhe. Darüber hinaus notierten sie auch die jeweiligen Nutzungsarten, beispielsweise Ballspielen, Klettern oder Ausruhen. Eine weitere wichtige Informationsquelle stellten die persönlichen Gespräche mit den Teilnehmenden dar. Dieser kombinierte Ansatz ermöglichte eine **differenzierte Betrachtung** sowohl **räumlicher Muster** als auch **subjektiver Wahrnehmungen** der Aufenthaltsqualität.

Nach Abschluss des Formats wurden alle Materialien eingesammelt und fotografisch dokumentiert, um eine systematische Auswertung zu ermöglichen. Diese umfasste eine **erste Analyse stark und schwach frequentierter Orte, eine Betrachtung saisonaler Unterschiede sowie die inhaltliche Clusterung der auf den Post-its erfassten Themen**. Die so gewonnenen Erkenntnisse fliessen direkt in die übergeordnete Studie ein und tragen dazu bei, klimawirksame und zugleich alltagspraktische Massnahmen für die Weiterentwicklung der Aussenräume zu priorisieren.

Mit diesem methodischen Ansatz trägt das Come In wesentlich zur integralen Bewertung der Zukunftsfähigkeit der Schulareale bei, indem es die Perspektive der tatsächlichen Nutzung als zentrale Komponente in die wissenschaftliche Untersuchung einbindet.



11 - Plangrundlage «Come-In»: Ausschnitt KRW, Markierung der Aufenthaltsorte

Die **Auswertung** des «Come In» an der Kantonsschule Rychenberg basiert auf den Rückmeldungen der Teilnehmenden vom 16. Januar 2026, erhoben während der grossen Pause von 11.30 bis 13.30 Uhr. Insgesamt zeigte sich eine rege Beteiligung von Seiten der Schüler:innen, während das Lehrpersonal und die Mitarbeitenden eher zurückhaltend teilnahmen. Diese unterschiedliche Beteiligungsintensität reflektiert sowohl die alltäglichen Bewegungsmuster als auch die zeitlichen Ressourcen der jeweiligen Gruppen und bildet eine wichtige Grundlage für die Interpretation der Nutzungsmuster.

Bei den **Schüler:innen** zeigte sich eine deutliche räumliche Konzentration der Aufenthaltsorte rund um die Mensa, die von der grossen Mehrheit als zentraler Aufenthaltsbereich genutzt wird. Weitere häufig genutzte Orte umfassen die Tischtennisplatten beim Schuleingang sowie die schattigen Rasenflächen im gleichen Bereich. Die Sportanlagen, insbesondere die Tribüne und

die blauen Matten, wurden ebenfalls punktuell frequentiert, vor allem von sportlich aktiven Gruppen. Der Bereich „7“ (vgl. Abb. 11) hingegen wurde nur selten genutzt, vornehmlich für Fangspiele oder bei Schneefall. Im Winter weichen viele Schüler:innen in Innenräume aus, darunter Mensa, Flure, Mediathek, Musikraum und informelle Treffpunkte wie ein sogenannter „Homeless-Spot“. Einzelne ältere Schüler:innen verlassen das Schulareal und gehen in die Stadt.

Die qualitativen Kommentare verdeutlichen die jeweiligen Nutzungsmotivationen und Bedingungen: Schattige Bereiche und leichte Windverhältnisse wurden wiederholt positiv hervorgehoben, ebenso Orte mit wenig Personenaufkommen oder guten Sitzgelegenheiten. Demgegenüber wurden hitzeanfällige Flächen, insbesondere der als „Betonwüste“ bezeichnete Bereich, im Sommer als unangenehm heiss beschrieben. Im Winter hingegen werden offene Flächen teilweise spielerisch genutzt, etwa für Schneeballschlachten. Die Rückmeldungen der Schüler:innen zeigen damit eine starke Sensibilität gegenüber klimatischen Bedingungen und eine Präferenz für schattige, ruhige und zugleich soziale Räume.



12 - Foto «Come-In»: Beliebte Aufenthaltsorte der Schüler:innen, Panel 1

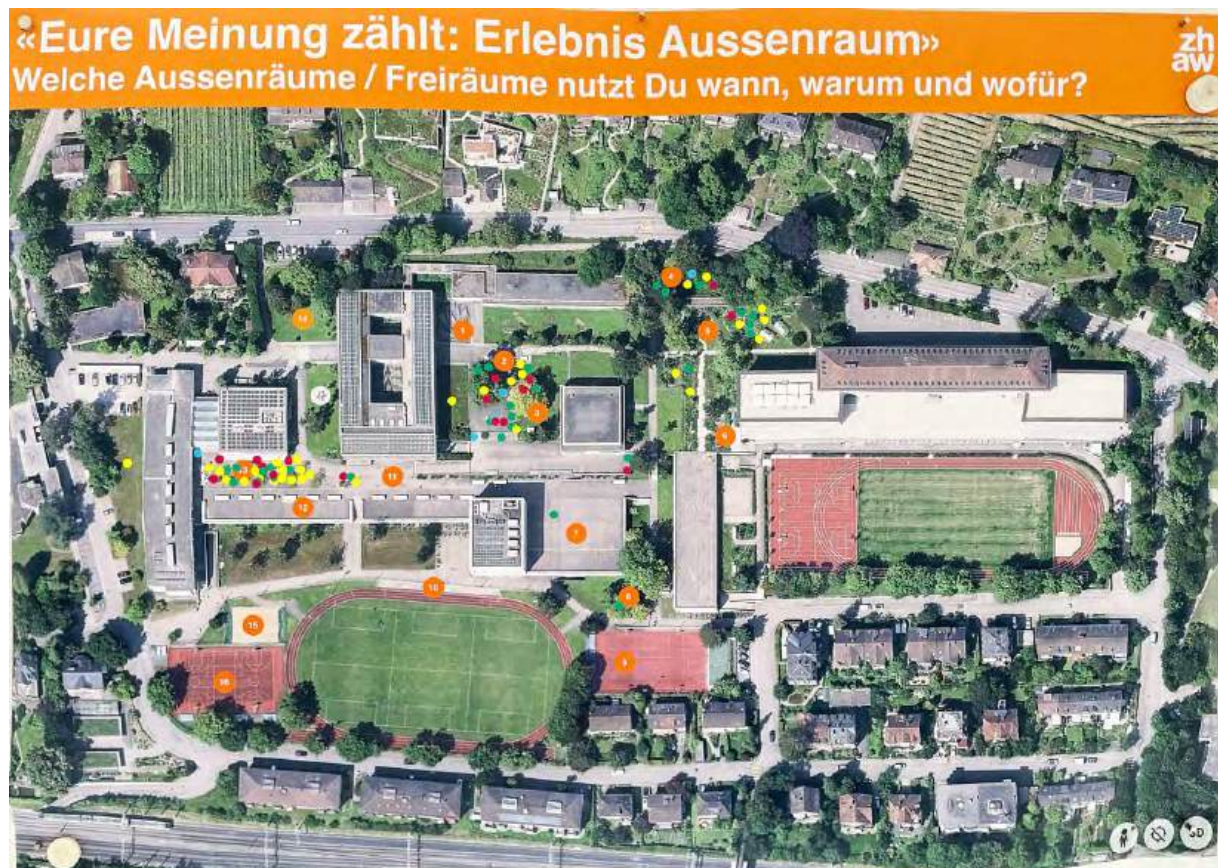


13 - Foto «Come-In» KRW: Beliebte Aufenthaltsorte der Schüler:innen, Panel 2



14 - Foto «Come-In» KRW: Auswertung Kommentare der Schüler:innen beider Panels, sortiert nach Aufenthaltsorten

Auch für das **Lehrpersonal und die Mitarbeitenden** lassen sich klare Aufenthaltspräferenzen identifizieren. Ähnlich wie bei den Schüler:innen bildet die Mensa einen zentralen Ort. Darüber hinaus werden die Tischtennisplatten, die schattigen Rasenflächen sowie Stufenanlagen regelmässig genutzt. Besonders hervorgehoben wurden jedoch der Biotopbereich und der Schulgarten, die als Rückzugsorte geschätzt werden. Gründe hierfür sind Ruhe, Schatten, angenehme Temperaturen und vorhandene Sitzgelegenheiten. Mehrere Rückmeldungen weisen jedoch darauf hin, dass bestimmte Flächen im Sommer als zu heiss empfunden werden und dass zusätzliche Beschattung sowie Sitzgelegenheiten gewünscht würden. Ebenso wurden funktionale Aspekte angesprochen, beispielsweise der Wunsch nach einem direkten Zugang ins Freie aus dem Lehrerzimmer.



15 - Foto «Come-In» KRW: Beliebte Aufenthaltsorte der Mitarbeitenden



16 - Foto «Come-In» KRW: Auswertung Kommentare der Mitarbeitenden, sortiert nach Aufenthaltsorten

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse beider Gruppen eine deutliche Klimasensitivität der Aufenthaltswahl. Schatten, Vegetation, Windverhältnisse und ausreichende Sitzgelegenheiten stellen zentrale Qualitätsmerkmale dar, während hitzeexponierte oder unbegrünte Bereiche sowohl von Schüler:innen als auch von Mitarbeitenden gemieden werden. Gleichzeitig weisen die Rückmeldungen auf ein hohes Potenzial für ökologische und klimatische Aufwertungen hin, um die Aufenthaltsqualität im Aussenraum ganzjährig zu verbessern. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden damit eine wichtige Grundlage für die vertiefte Analyse innerhalb des Forschungsprojekts und unterstützen die Priorisierung von Massnahmen zur Hitzeminderung und Steigerung der Aufenthaltsqualität.

2.2.3 Kriterienkatalog Aufenthaltsqualität

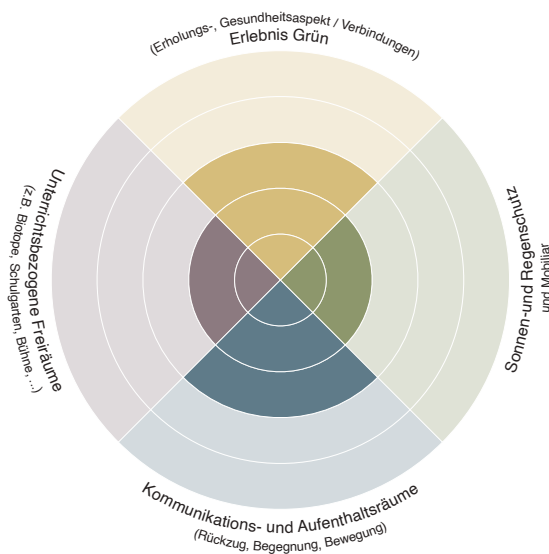
Die Bewertungskriterien zur Aufenthaltsqualität verfolgen das **Ziel**, die räumlichen Eigenschaften der Aussenräume der Kantonsschulen Rychenberg und Im Lee systematisch und nachvollziehbar zu erfassen. Im Zentrum steht die Identifikation räumlicher Qualitäten und Defizite im Hinblick auf klimatische, ökologische, soziale und schulische Anforderungen sowie die Ableitung konkreter Handlungsbedarfe, beispielsweise in Bezug auf fehlende Beschattung, ungenügende Aufenthaltsmöglichkeiten oder eine geringe ökologische Vielfalt. Die Methode ergänzt damit die nutzerorientierten Erkenntnisse aus dem Format «Come In» um eine strukturierte, fachlich fundierte Beobachtungsperspektive des Forschungsteams.

Grundlage der **Methode** ist ein Kriterienkatalog, der die vier zentralen Dimensionen umfasst:

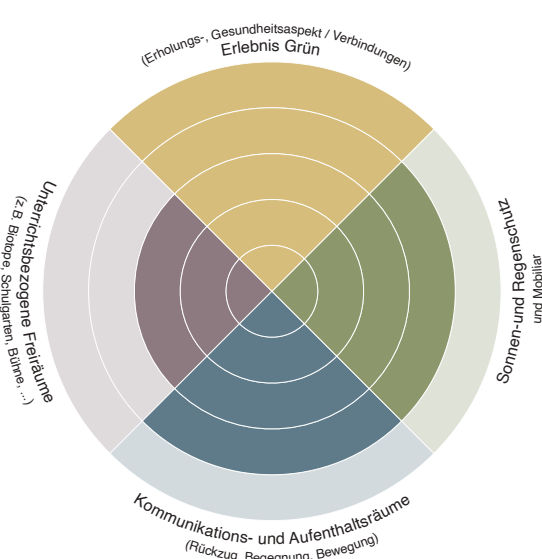
- Biodiversität und Ökologie
- Sonnen- und Regenschutz
- Kommunikations- und Aufenthaltsräume
- unterrichtsbezogene Freiräume

Die Bewertung erfolgte während zwei Vor-Ort-Begehungen anhand einer **fünfstufigen Skala** von 1 (sehr schwach) bis 5 (ausgezeichnet). Ergänzende Erläuterungen ermöglichen eine ortsspezifische Dokumentation der Beobachtungen. Neben den direkten Erhebungen stand auch der Bestandsplan des Büros Krebs und Herde (vgl. Abb.7, S. 21) zur Verfügung, der eine vertiefte Analyse der räumlichen Ausgangslage erlaubte. Die im Projektverlauf gemeinsam mit dem Planungsbüro definierten Massnahmenpakete dienten zusätzlich als inhaltliche Orientierung, um die Bewertung auf jene Aspekte auszurichten, die für die klimaresiliente Weiterentwicklung der Schulareale besonders relevant sind.

Die anhand des Kriterienkatalogs gewonnenen Bewertungen ergeben ein differenziertes Bild der Aufenthaltsqualitäten an den beiden Schularealen. Insgesamt bewegen sich die Resultate überwiegend im mittleren Bereich der Skala, was auf vorhandene Grundqualitäten, aber gleichzeitig deutliches Entwicklungspotenzial hinweist. (vgl. Anhang 7.3.3)



17 - Spider Aufenthaltsqualitäten, Bestand



Spider 'Aufenthaltsqualitäten', Ziel

Die Auswertung der Bewertungskriterien zeigt ein insgesamt differenziertes Bild der Aufenthaltsqualitäten an den beiden Schulstandorten. In der Dimension **Biodiversität und Ökologie** ergibt sich mit einer Gesamtbewertung von drei ein durchschnittliches Niveau. Zwar sind punktuell hochwertige Grünstrukturen vorhanden, wie etwa das Biotop, Vegetationsflächen mit Baumbestand oder bepflanzte Randbereiche vor Klassenzimmern, die sowohl klimatisch als auch atmosphärisch positive Effekte entfalten. Gleichzeitig dominieren jedoch grossflächige, intensiv gemähte Rasenflächen, welche das ökologische Potenzial erheblich einschränken. (vgl. Kapitel 2.3) Auch die Eingangsbereiche der Gebäude erscheinen häufig stark exponiert und nur wenig durch Grün begleitet, was sich sowohl bei sommerlichen Temperaturen als auch hinsichtlich der Aufenthaltsqualität negativ bemerkbar macht.

Die Dimension **Sonnen- und Regenschutz** schneidet insgesamt deutlich schwächer ab und erreicht lediglich eine Bewertung von zwei. Die Analyse zeigt, dass verschattete oder überdachte Aufenthaltsbereiche nur in sehr geringem Umfang vorhanden sind. Insbesondere der Standort Im Lee weist einen erheblichen Mangel an natürlichen und baulichen Beschattungselementen auf. Zwar besteht im Umfeld der Mensa punktuell nutzbares Mobiliar, im übrigen Aussenraum fehlt jedoch eine ausreichende und flexible Möblierung, die zu einem längeren Aufenthalt einlädt oder Schutz vor Witterungseinflüssen bietet. Gerade im Kontext zunehmender sommerlicher Hitzeperioden stellt dieser Befund einen zentralen Handlungsbedarf dar.

Auch die Dimension **Kommunikations- und Aufenthaltsräume** zeigt mit einer Bewertung von drei eine heterogene Situation. Rückzugsorte sind punktuell vorhanden – hervorzuheben sind

insbesondere naturnahe Bereiche wie das Biotop –, doch mangelt es an klar definierten, gut gestalteten Aufenthaltszonen mit einladender Möblierung. Oder andererseits, Möglichkeiten zur temporären Umnutzung, welche kaum vorhanden sind, was auf eine geringe räumliche Anpassbarkeit hindeutet. Offene Begegnungsflächen existieren zwar flächenmässig, verfügen jedoch oft nicht über die notwendige räumliche oder klimatische Qualität, um regelmässig genutzt zu werden. Bewegungsflächen sind zahlreich vorhanden, werden aufgrund fehlender Klarheit oder mangelnder Beschattung jedoch nicht vollständig ausgeschöpft. Hier sind die beiden grossen Sportanlagen nicht mit einbezogen, da diese aufgrund ihrer Funktion nur am Rand beschattet werden können.

Die Dimension **unterrichtsbezogene Freiräume** wurde mit einer Gesamtbewertung von zwei ebenfalls deutlich kritisch beurteilt. Zwar existieren einzelne naturnahe Bereiche, doch fehlen explizite und funktional ausgestattete Aussenräume für Unterricht, Gruppenarbeit oder schulische Veranstaltungen vollständig. Weder wettergeschützte Lernorte noch technisch ausgestattete Aussenklassenzimmer sind vorhanden, und auch Bühnen- oder Präsentationsflächen fehlen. Damit bleibt das Potenzial des Aussenraums als pädagogische Ressource weitgehend ungenutzt, obwohl gerade naturnahe Lernorte wertvolle Chancen für fächerübergreifende und handlungsorientierte Unterrichtsformen bieten könnten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die untersuchten Aussenräume über punktuelle räumliche Qualitäten verfügen, jedoch in mehreren zentralen Bereichen erhebliche Defizite bestehen. Besonders die mangelnde Beschattung, die begrenzte Aufenthaltsqualität in den Begegnungsräumen sowie die fehlende pädagogische Infrastruktur erfordern eine gezielte Weiterentwicklung.

2.3 Biodiversität

Die **Biodiversitätserhebung** an der Kantonsschule Rychenberg (KRW) und der Kantonsschule Im Lee (KLW) folgt einem zweigliedrigen Ansatz: einer floristischen Bestandsaufnahme auf Basis von Begehungen im Frühjahr und Sommer 2025 sowie der Auswertung der Vegetationspläne von Krebs und Herder, ergänzt durch eine indirekte faunistische Einschätzung anhand bestehender Datenquellen. Beide Teilerhebungen werden für die abschliessende ökologische Bewertung zusammengeführt. Die Erhebung ist als qualitative Strukturierung zu verstehen; eine vollständige Artenliste mit Deckungsgraden wurde nicht erstellt. (vgl. Anhang 7.3.4)

2.3.1 Floristische Bestandsaufnahme KRW

Das KRW-Areal zeigt ein heterogenes Bild mit deutlichen Qualitätsunterschieden. Der **Baumbestand** wird von Spitzahorn (*Acer platanoides*), Hainbuche (*Carpinus betulus*) als Alleegehölz entlang der Rychenbergstrasse sowie von ökologisch besonders wertvollen Stieleichen (*Quercus robur*) im nordwestlichen Bereich geprägt. Vereinzelt finden sich Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Fichte (*Picea abies*), Schwarzkiefer (*Pinus nigra*), Eibe (*Taxus baccata*), Birke (*Betula pendula*), Roteiche (*Quercus rubra*), Eisenholzbaum (*Parrotia persica*) und Fächerahorn (*Acer palmatum*). Die **Strauchschicht** ist stark unterrepräsentiert: Hartriegel (*Cornus* spp.), Hasel (*Corylus avellana*), Rote Heckenkirsche (*Lonicera xylosteum*) und Böschungsmyrthe (*Lonicera pileata*) treten nur punktuell auf; die Rosenbeete bestehen überwiegend aus Hybridsorten mit geringem ökologischem Wert. Eine **Krautschicht** fehlt bis auf den Bereich des Naturteiches, wo Bärlauch (*Allium ursinum*) als Frühljahrsaspekt und weitere Feuchtezeiger vorhanden sind, nahezu vollständig. Die dominierenden Rasenflächen mit wöchentlicher Mahd weisen keine floristische Vielfalt auf.

Die **Biotoptypenkartierung** erlaubt eine grobe Einordnung der vorhandenen Vegetationseinheiten in pflanzensoziologische Gesellschaften. Der Altbaumbestand aus Stieleiche (*Quercus robur*) und Hainbuche (*Carpinus betulus*) im nordwestlichen Bereich entspricht in seiner Artenzusammensetzung dem **Eichen-Hainbuchenwald** (*Carpinion betuli*), der die potenzielle natürliche Vegetation auf frischen, basenreichen Kolluvialböden dieses Standorts darstellt. Es handelt sich um einen siedlungsökologisch bedeutsamen Rest der standorttypischen Waldgesellschaft, wenngleich durch die Parknutzung stark vereinfacht. Die Uferbereiche rund um den Naturteich weisen mit Bärlauch (*Allium ursinum*) und weiteren Feuchtezeigern Elemente der **Verlandungsgesellschaften** (*Phragmites communis*) auf; das kartierte Schilf-Landröhricht bestätigt diese Einordnung, auch wenn eine vollständige Ausbildung durch den beeinträchtigten Zustand des Teiches nicht gegeben ist. Die Ruderalfluren trockenwarmer Standorte an Böschungen und besonnten Randbereichen entsprechen dem Verband *Dauco-Melilotion* (thermophile Ruderalgesellschaft), die nährstoffreichen, beschatteten Säume dem Verband *Galio-Urticetea*. Die dominierenden Rasenflächen repräsentieren artenarme Ausprägungen des *Arrhenatherion elatioris* und weisen aufgrund der intensiven Pflege keine nennenswerte floristische Vielfalt auf.

Ökologisch **positiv** sind der Altbaumbestand der Stieleiche (*Quercus robur*) mit über 500 assoziierten Insektenarten, die Hainbuche (*Carpinus betulus*) sowie die Hasel (*Corylus avellana*) als frühe Pollenquelle und der bestehende Naturteich als Feuchtbiotop mit hohem Potenzial. Als **Defizite** stechen die nicht klimaresilienten Fichte (*Picea abies*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*), die nicht heimische Schwarzkiefer (*Pinus nigra*), die fehlende Krautschicht sowie die monotonen Ra-

senflächen hervor. Studien zeigen, dass die Pflanzen- und Wirbellosendiversität in Schulgärten stark von Gestaltungsentscheidungen beeinflusst wird (Herrera-Oesterheld et al. 2025).

2.3.2 Floristische Bestandsaufnahme K LW

Die 2023 sanierte K LW präsentiert sich floristisch deutlich artenärmer. Der **Baumbestand** wird von nicht heimischen Ziergehölzen wie Fächerahorn (*Acer palmatum*), Zierkirschen (*Prunus* spp.) und Wacholder (*Juniperus* spp.) dominiert; heimische Arten wie Hainbuche (*Carpinus betulus*) und einzelne Eichen (*Quercus* spp.) aus dem Altbestand sind stark unterrepräsentiert. Die Artenauswahl orientiert sich erkennbar an gestalterischen Kriterien wie Wuchsform und architektonischer Wirkung, weniger an ökologischen Funktionen. Die **Strauchschicht** beschränkt sich auf immergrüne Ziergehölze wie Rhododendron, Stechpalme (*Ilex* spp.) und Berberitze (*Berberis* spp.), während ökologisch wertvolle heimische Sträucher wie Hasel (*Corylus avellana*), Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*) und Hundsrose (*Rosa canina*) vollständig fehlen. Die wenigen vorhandenen Strauchpflanzungen sind geometrisch-formal gestaltet und stark geschnitten, was ihre ökologische Funktionalität zusätzlich einschränkt. Eine differenzierte **Krautschicht** ist praktisch nicht vorhanden; die Flächen werden von Intensivrasen, Mulchflächen und Bodendeckerpflanzungen aus nicht heimischen Arten wie Immergrün (*Vinca* spp.) dominiert. Wildstauden, blütenreiche Säume oder extensiv gepflegte Wiesenbereiche fehlen vollständig.

Der **kritischste Bereich** ist die nahezu vollständig versiegelte Südterrasse auf den Sporthallen mit den davor liegenden punktuellen Pflanzinseln, minimalen Substratvolumen, fehlenden Beschattungs- sowie Wasserelementen. Dieser Bereich weist sowohl aus Biodiversitätssicht als auch hinsichtlich Hitzeminderung die grössten Defizite auf.

Aus **pflanzensoziologischer Sicht** weist das K LW-Areal aufgrund der überwiegend nicht heimischen Bepflanzung und der intensiven Pflege keine eigenständigen naturnahen Pflanzengesellschaften auf. Die Intensivrasenflächen entsprechen einer artenarmen Ausprägung des *Lolio-Plantaginetum*; die Mulchflächen unterdrücken jegliche spontane Vegetationsentwicklung. Einzig im Bereich der verbliebenen Hainbuchen (*Carpinus betulus*) und Eichen (*Quercus* spp.) lassen sich ansatzweise Elemente der **Schlehengebüschgesellschaften** (*Prunetalia spinosae*) erkennen — in stark fragmentierter und anthropogen überformter Form. Das vollständige Fehlen von Ruderalfluren, Säumen und extensiv gepflegten Wiesenbereichen verdeutlicht, dass auf dem K LW-Areal derzeit keine Grundlage für die Entwicklung naturnaher Pflanzengesellschaften vorhanden ist und ein grundlegender Strukturaufbau erforderlich ist.

2.3.3 Faunistische Einschätzung und Leitarten

Da keine direkten Faunaerhebungen durchgeführt wurden — die Geländebegehung fand im November 2025 statt — stützt sich die faunistische Einschätzung auf stadtwildtiere.ch, die Info-Fauna-Datenbank (CSCF) sowie lebensraumspezifische Fachliteratur. Pro kartiertem Lebensraumtyp wurden **Leitarten** als Indikatoren für den aktuellen und potenziellen Habitatwert abgeleitet, beschränkt auf Arten, die im urbanen Raum Winterthur nachgewiesen sind.

Der **Altbaumbestand** aus Stieleiche (*Quercus robur*) auf dem KRW-Areal ist faunistisch am wertvollsten: Gartenrotschwanz (*Phoenicurus phoenicurus*) und Kleiber (*Sitta europaea*) sind auf stadtwildtiere.ch regelmässig für Winterthur gemeldet; Baumhöhlen bieten potenzielle Quartiere für den Siebenschläfer (*Glis glis*). Wo Hasel (*Corylus avellana*) vorhanden ist, gilt die Haselmaus (*Muscardinus avellanarius*) als Leitart, für die aus dem angrenzenden Goldenbergbereich Nachweise vorliegen. Der **Naturteich** ist trotz eingeschränkter Pflege der bedeutsamste Einzelstandort: Erdkröte (*Bufo bufo*), Grosse Königslibelle (*Anax imperator*) und Gebänderte Prachtlibelle (*Calopteryx splendens*) sind für das Stadtgebiet belegt; bei gezielter Aufwertung wäre eine deutliche Ausweitung des Artenspektrums realistisch. Die **Ruderalfluren** bieten Steinhummel (*Bombus lapidarius*) und Sandbiene (*Andrena* spp.) Nistflächen sowie Tagpfauenauge (*Aglais io*) und Kleinen Fuchs (*Aglais urticae*) Raupenhabitat. An den **Gebäudefassaden** sind Mauersegler (*Apus apus*) und Haussperling (*Passer domesticus*) als potenzielle Gebäudebrüter relevant; die **Gehölzsäume** bieten Igel (*Erinaceus europaeus*) und Blindschleiche (*Anguis fragilis*) Deckungsstrukturen — letztere ausschliesslich auf dem KRW-Areal.

Lebensraumtyp	Leitarten (Auswahl)	KRW	KLW	Potenzial
Altbaumbestand	Gartenrotschwanz, Kleiber, Siebenschläfer	mittel	gering	hoch
Naturteich / Feucht	Erdkröte, Grosse Königslibelle	mittel	—	hoch
Ruderalfluren	Steinhummel, Tagpfauenauge	gering	gering	mittel
Gebäude / Fassaden	Mauersegler, Haussperling	gering	gering	hoch
Gehölzsäume	Igel, Blindschleiche	mittel	gering	mittel–hoch

Das KRW-Areal verfügt trotz insgesamt niedrigem ökologischem Ist-Zustand über wertvolle Ausgangspunkte für eine gezielte Aufwertung. Das KLW-Areal erfüllt aktuell kaum Habitatfunktionen und erfordert einen grundlegenden Strukturaufbau, bevor sich charakteristische Leitarten dauerhaft etablieren können.

2.3.4 Ökologische Bewertung und Spider-Diagramm

Die **Bewertungsmethode** stützt sich auf eine mehrdimensionale Spider-Diagramm-Analyse, die beide Areale gemeinsam erfasst und einen direkten Vergleich des Ist-Zustands mit dem Zielbild 2060 ermöglicht. Die Bewertung orientiert sich an aktuellen Forschungserkenntnissen, die zeigen, dass strukturreiche Schulgelände mit Bäumen, Sträuchern, Wiesen, Rückzugsorten und Bereichen für freies Spiel die vielfältigsten positiven Effekte auf Kinder und Jugendliche haben (Samborski 2023; Verheyen et al. 2025). Die fünf Bewertungsdimensionen — Vernetzung, Altersstrukturen, Pflanzenbestand, Vielfalt an Strukturelementen und ungestörte Bereiche — werden je mit 0–5 Punkten bewertet. (vgl. Anhang 7.3.5)

Die Spider-Diagramme (vgl. Abb. 18, S 46) zeigen für beide Areale im Bestand einen markant niedrigen ökologischen Grundwert über alle Dimensionen; besonders ausgeprägt ist der Handlungsbedarf bei Vernetzung und ungestörten Rückzugsbereichen. Das Zielbild 2060 sieht deutlich erhöhte Werte in allen Dimensionen vor: **Vernetzung** — beide Areale als Trittsteinbiotope im Biotopverbund Winterthurs, mit für Insekten, Igel und Kleinsäuger durchlässigen Perimetergrenzen; **Altersstrukturen** — Durchmischung von Alters- und Entwicklungsstadien zur Sicherung langfristiger Habitatkontinuität; **Pflanzenbestand** — mindestens 70 % standortgerechte, klimaangepasste Gehölze (*trockenheitstolerante, hitzeresistente Arten gemäss aktueller Empfehlungslisten*) mit mehrschichtiger Vegetation und artenreicher Wildkrautflur; **Vielfalt an Strukturelementen** — systematisch verteilte Kleinstrukturen wie Totholz, Lesesteinhaufen, Sandflächen und Nisthilfen; **ungestörte Bereiche** — dauerhaft ausgewiesene «No-mow»-Zonen und Rückzugsbereiche für spontane Besiedlung.

2.3.5 Biodiversitätspotenzial

Trotz der dokumentierten Defizite verfügen beide Areale bei konsequenter ökologischer Optimierung über ein erhebliches Potenzial. Die Stärkung der Habitatvielfalt durch mehrschichtige Vegetationsstrukturen mit heimischen Nektar- und Pollenquellen — von April bis Oktober durchgehend verfügbar —, ergänzt durch Totholzelemente, Lesesteinhaufen, Sandlinsen und Nisthilfen für Gebäudebrüter und Wildbienen, kann beide Areale zu funktionsfähigen Trittsteinbiotopen im städtischen Biotopverbund Winterthur entwickeln. Die Aufwertung des Naturteiches auf dem KRW-Areal durch flache Uferzonen, standortgerechte Ufervegetation und die Einbindung des Regenwassermanagements erschliesst ein bisher unzureichend genutztes Potenzial für Amphibien, Libellen und wassergebundene Insekten. Offene Kleingewässer wirken in dicht bebauten Stadtgebieten nachweislich als ökologische Magnetpunkte und fördern die Besiedlung angrenzender Ha-

bitate. Der Umbau des Pflanzenbestands — insbesondere die mittelfristige Ablösung klimatisch nicht zukunftsfähiger Arten wie Fichte (*Picea abies*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*) durch klimaresilientere Arten wie Flaumeiche (*Quercus pubescens*) oder Feldahorn (*Acer campestre*) — verbessert gleichzeitig ökologische Qualität und Hitzeresilienz. Alle Neupflanzungen sollten dem Grundsatz «standortgerecht, klimaangepasst, ökologisch mehrwertig» folgen. Fassaden und Flachdächer bieten mit heimischen Kletterpflanzen wie Efeu (*Hedera helix*) und Waldgeissblatt (*Lonicera periclymenum*) eine zusätzliche Habitatressource für Gebäudebrüter und Wildbienen und leisten gleichzeitig einen Beitrag zur Hitzeminderung.

Ein ökologisch aufgewerteter Schulaussenraum entfaltet über die reine Habitatfunktion hinaus eine bedeutende **Bildungswirkung**. Naturnahe Schulgärten, Insektenhabitate, Biotopteiche und strukturreiche Gehölzzonen bieten unmittelbare, sinnlich erfahrbare Lernanlässe für ökologische Zusammenhänge: von Bestäubungsbiologie über Nahrungsnetze bis hin zu Klimaanpassung. Forschung zeigt, dass Schul- und Bildungsgärten mit hoher Pflanzenvielfalt und gezielt gestalteten Insektenhabitaten besonders wirksam sind, um das Umweltwissen und die Naturverbundenheit von Jugendlichen nachhaltig zu fördern (Fischer et al. 2019; Herrera-Oesterheld et al. 2025). Der Schulaussenraum kann so zum **«Living Lab»** werden — ein realer Lernort, an dem ökologische Prozesse nicht abstrakt vermittelt, sondern direkt beobachtet, dokumentiert und mitgestaltet werden. Die Einbeziehung der Schülerinnen und Schüler in Pflege- und Monitoringaufgaben stärkt die Eigenverantwortung und schafft eine langfristige emotionale Bindung an den Naturraum (Kartenset Grün macht Schule 2023). Für eine Kantonsschule mit naturwissenschaftlichem Profil ergibt sich daraus ein direkter Mehrwert für den Fachunterricht in Biologie, Geografie und Ökologie.

Besonders hervorzuheben ist das **Synergiepotenzial mit den Hitzeminderungszielen**: Grossbäume mit ausgedehnten Kronenflächen, mehrstufige Vegetationsstrukturen, begrünte Fassaden und Kleingewässer leisten sowohl einen nachweisbaren Beitrag zur Evapotranspiration und Beschattung als auch zur Förderung der lokalen Artenvielfalt. Ökologisch hochwertige Lösungen sind in der Regel auch klimatisch wirksamer als rein technische oder ästhetische Massnahmen — diese Doppelfunktion ist ein zentrales Argument für eine konsequente Biodiversitätsorientierung der geplanten Massnahmen.

2.4 Empfehlungen

Die Massnahmenpakete mit der Zieldefinition 2060 bildet den normativen Rahmen für alle Massnahmenentscheide dieses Projekts. Sie benennt konkrete Qualitätsansprüche, die bis zum Zeit-

horizont 2060 auf beiden Schularealen in den zwei Dimensionen Aufenthaltsqualität und Biodiversität erreicht werden sollen. Beide Dimensionen sind nicht als parallele Zielsysteme zu verstehen, sondern als sich gegenseitig bedingende Qualitäten: **Ein ökologisch hochwertiger Aussenraum ist in der Regel auch ein thermisch angenehmer, erlebnisreicher und gesundheitsfördernder Aufenthaltsraum.**

2.4.1 Aufenthaltsqualitäten - Ziele

Die Ausgangslage beider Schulareale ist aus Sicht der Aufenthaltsqualität unbefriedigend. Grossflächige versiegelte Flächen, fehlende Beschattung und eine monotone Raumgliederung führen in Hitzeperioden zu thermisch unkomfortablen bis unnutzbaren Aussenbereichen. Die Temperaturen überschreiten an Sommertagen in exponierten Pausenbereichen regelmässig die Schwellenwerte für komfortables Aufhalten im Freien. Gleichzeitig fehlt es an räumlicher Differenzierung, die den unterschiedlichen Bedürfnissen der Schülerinnen und Schüler nach Bewegung, Kommunikation, Rückzug und Erholung gerecht wird. Beobachtungen aus vergleichbaren Projekten zeigen, dass hohe Temperaturen sich nachteilig auf die Gesundheit, die Konzentrationsfähigkeit und das allgemeine Wohlbefinden der Schülerinnen und Schüler auswirken, während begrünte Zonen nachweislich Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit steigern.

Bis 2060 sollen beide Schulareale als ganzjährig nutzbare, klimaangepasste Aussenräume mit hoher Aufenthaltsqualität gestaltet sein. Im Einzelnen gelten folgende Zielsetzungen:

- **Thermischer Komfort:** Wesentliche Pausenbereiche sind durch einen hohen Kronenschlussgrad aus Grossbäumen so beschattet, dass die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) an heissen Sommertagen dauerhaft im Bereich des thermischen Komforts liegt. Begrünte Böden und offene Wasserelemente ergänzen die Beschattungsleistung durch Verdunstungskühlung.
- **Räumliche Qualität und Nutzungsvielfalt:** Der Aussenraum bietet klar ablesbare, durch naturnahe Vegetationselemente gegliederte Zonen für Bewegung, Begegnung und Rückzug. Organische Raumstrukturen mit gestuften Übergängen ersetzen monotone Restflächen. Sitzgelegenheiten im Schatten, zugängliche Wasserelemente und ein Aussenklassenzimmer unter Baumkronen erhöhen die Nutzungsvielfalt.
- **Wassererlebnis:** Mindestens ein erlebbares Wasserelement, ob instand gesetzter Brunnen, Wasserspiel oder naturnahe Versickerungsmulde, ist ganzjährig vorhanden und trägt zur Kühlung sowie zur Attraktivität des Aussenraums bei.

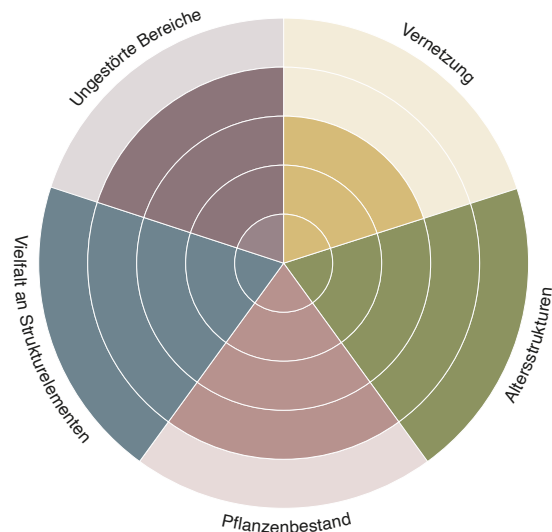
- **Entsiegelung:** Der Anteil versiegelter Flächen ist auf das betrieblich notwendige Minimum reduziert. Wo Versiegelung unumgänglich ist, werden helle, reflexionsarme oder begrünte Beläge mit Wasserversickerungsfunktion bevorzugt.
- **Inklusion und Zugänglichkeit:** Die Aussenraumgestaltung berücksichtigt die Bedürfnisse aller Nutzergruppen; naturnahe Strukturen und Materialien sind barrierefrei erreichbar und in die tägliche Nutzung integriert.

2.4.2 Biodiversität - Ziele

Das Zielbild 2060 (vgl. Abb. 16) sieht für alle fünf Bewertungsdimensionen deutlich erhöhte Werte vor. Bis 2060 sollen beide Schulareale als funktionale, naturnahe Lebensräume mit messbarem Beitrag zur urbanen Biodiversität Winterthurs etabliert sein:



18 - Spider 'Biodiversität', Bestand



Spider 'Biodiversität', Ziel

- **Vernetzung:** Beide Areale sind als Trittsteinbiotope in das übergeordnete Biotopverbundsystem der Stadt Winterthur eingebunden. Perimetergrenzen sind für mobile Tierarten – insbesondere Insekten, Igel und Kleinsäuger – möglichst durchlässig gestaltet.
- **Altersstrukturen:** Die Pflanzenbestände und Strukturelemente weisen eine Durchmischung verschiedener Alters- und Entwicklungsstadien auf, die langfristige Habitatkontinuität sicherstellt.

- **Pflanzenbestand:** Mindestens 70 % der Gehölze sind standortgerechte, klimaangepasste Arten mit hohem ökologischem Wert (*trockenheitstolerante, hitzeresistente Arten gemäss aktueller Empfehlungslisten*). Eine mehrschichtige Vegetation (Baum-, Strauch-, Krautschicht) mit artenreicher Wildkrautflur ist auf allen geeigneten Flächen etabliert.
- **Vielfalt an Strukturelementen:** Ökologische Kleinstrukturen (Totholz, Lesesteinhaufen, Sandflächen, Nisthilfen) sind systematisch und räumlich verteilt vorhanden.
- **Ungestörte Bereiche:** «Nicht-Mähen»-Zonen und dauerhaft ausgewiesene Rückzugsbereiche sind für spontane Besiedlung zugänglich und von störungsintensiven Nutzungen freigehalten.

3 Modellierung

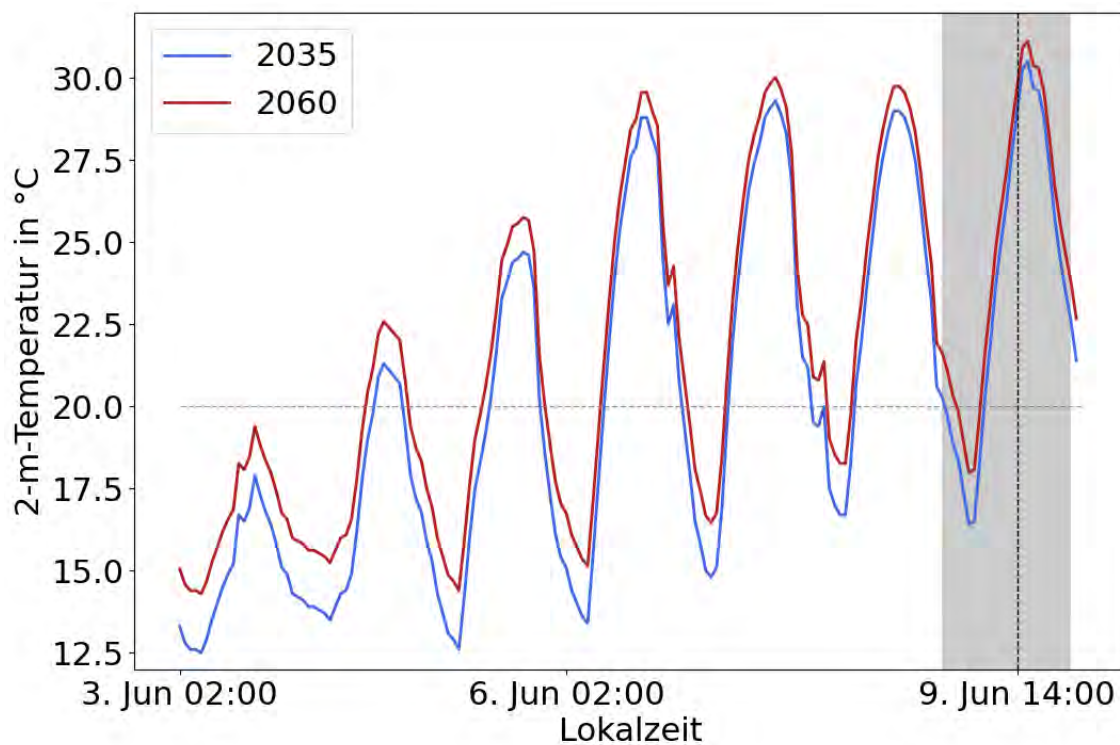
3.1 Aufbau der drei Modelliermodule

In den folgenden **Kapiteln 3-5** werden die drei unterschiedlichen Modellansätze erläutert. Wie bereits einleitend erklärt, ist das Ziel der unterschiedlichen Modelle eine wissenschaftlich fundierte Analyse der Auswirkungen aller Massnahmenpakete sowohl auf das Aussen- als auch auf das Innenklima. Die Modelle haben unterschiedliche Anwendungsbereiche, Stärken und Schwächen; ergänzen sich jedoch, um umfassendere und robustere Vorhersagen treffen zu können. Die Module wurden dabei aufeinander abgestimmt, mit der Absicht möglichst ähnliche Ausgangsdaten zu verwenden. Insbesondere in Bezug auf die meteorologischen Bedingungen, bestehende und geplante Vegetation (Standort und Wachstum) und Oberflächenbeschaffenheiten. Die PALM-Simulationen des Aussenklimas in Modul B sind die Grossräumigsten, gefolgt von den mikroklimatischen Prüfungen der Planungs-Varianten mit QKM in Modul C und schliesslich Simulationen des Innenklimas mittels BIM in Modul D. Resultierende Daten aus Modul B werden ausserdem in Modul D als Eingangsdaten verwendet.

3.2 Ausgangslage Wetter und Klima

Untersucht werden die klimatischen Bedingungen in den Jahren 2035 und 2060. Dies widerspiegelt einerseits eine Periode nach abgeschlossener Umgestaltung, jedoch noch mit relativ junger und kleiner Vegetation, und andererseits ein späterer Zeitpunkt mit ausgewachsenen Bäumen. Die Kühlleistung und der Schattenwurf hängen stark von der Höhe und dem Kronenvolumen ab, wodurch in 2060 ein grösserer Effekt auf das Aussenklima erwartet wird. Das globale, respektive Schweizer, Klima wird sich in den kommenden Jahren jedoch auch verändern. Die simulierte meteorologische Situation orientiert sich daher an den «Klimaszenarien Raumklima RCP8.5» (MeteoSchweiz, 2022) für die Station Reckenholz, welche wiederum auf den Klimaszenarien CH2018 (NCCS, 2018) aufbauen. Der gewählte Zeitpunkt der Analysen ist der 9. Juni 2035 um 14:00 Lokalzeit. Dies ist ein Hitzetag am Ende einer relativen Schönwetterperiode (siehe Abbildung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Der Monat Juni wurde explizit gewählt, obwohl maximale Hitzeperioden eher im Juli oder August zu erwarten sind. Zu diesem Zeitpunkt findet generell noch Unterricht statt. Um die Simulationen für 2060 vergleichbar zu machen, wurden nicht direkt die Klimaszenarien 2060 verwendet. Stattdessen wurden die Werte von 2035 aufskaliert entsprechend den zu erwartenden Veränderungen laut Klimaszenarien. Spezifisch

sind die Temperaturen im Szenario 2060: $T_{2060} = T_{2035} + 0.206 (35.4 - T_{2035})^{0.692}$. Diese Skalierung erhöht tiefere Temperaturen mehr, während das Jahresmaximum der Temperaturen der beiden Klimaszenarien (35.4 °C) unverändert bleibt. Somit erreicht die Temperaturspitze am 9. Juni am Nachmittag 30.5 °C im Szenario 2035 und etwas über 31 °C im 2060. Die Durchschnittliche Temperatur im 2060 ist in etwa 1 °C höher. Jedoch befinden sich in dieser Periode keine Tropennächte³, was vor allem für die nächtliche Auskühlung und das Innenraumklima relevant ist. Die Luftfeuchtigkeit und Windverhältnisse der beiden Szenarien sind identisch. Da die Temperaturdifferenz relativ klein ausfällt, ist damit zu rechnen, dass die sich entwickelnde Vegetation die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien weit gewichtiger beeinflusst.



19 - Temperaturverlauf während der modellierten Periode. Graue Schattierung markiert den 09. Juni und die vertikale Linie den analysierten Zeitpunkt um 14:00 Lokalzeit

3.3 Methodik Stadtklimamodellierung (ZAV)

Bei PALM (Maronga et al., 2020) handelt es sich um ein kontinuierlich weiterentwickeltes numerisches Strömungsmodell, welches explizit für die Untersuchung der atmosphärischen Grenz-

³ Tropennacht = Minimumtemperatur fällt nicht unter 20°C

schicht entwickelt wurde und auch verschiedene Komponenten zur Simulation urbaner Fragestellungen enthält. Entwickelt und unterhalten wird PALM vom Institut für Meteorologie und Klima an der Leibniz Universität in Hannover, mit Beiträgen von diversen anderen Hochschulen, Universitäten und Instituten, wie zum Beispiel dem Deutschen Wetterdienst DWD. Für die vorliegende Untersuchung wurde PALM in der Version 21.10 verwendet. Bei PALM handelt es sich um ein sogenanntes Large-Eddy Simulationsmodell. Im Vergleich mit anderen Simulationsmodellen ist das hochaufgelöste Modellieren von turbulenten Strömungen auf dem Stadtgebiet ermöglicht. Dies ist insofern wichtig, weil turbulente Strömungsvorgänge in der Stadt allgegenwärtig sind und eine Schlüsselrolle bei der Verteilung von Luftmassen spielen. Vor allem werden dadurch auch Strömungen berücksichtigt, die durch lokale Temperaturunterschiede verursacht werden.

PALM erlaubt die Klassifikation der Oberfläche in ihre realen Bedeckungstypen. Dafür stehen eine Vielzahl verschiedener Vegetationstypen, Wassertypen und Typen von befestigten Oberflächen zur Verfügung. Ausserdem kann auch das Bodensubstrat unter dem jeweiligen Oberflächentyp variieren; unter anderem mit Auswirkungen auf die gespeicherte Wassermenge. Gebäude werden in PALM ebenfalls berücksichtigt, wobei die Interaktion von Gebäuden mit der Atmosphäre wiederum anhand vielfältiger Parameter beeinflusst wird. Bäume werden in PALM als durchlässige Gitterzellen modelliert und verändern somit Impuls und Energie der Luftströmung und die Strahlungsbilanz. In dieser Studie wurden überwiegend Standardklassen für die Oberflächenparametrisierung verwendet. PALM kann an den Modellgrenzen mit Daten eines Wettermodells wie beispielsweise COSMO-1 von MeteoSchweiz angetrieben werden. Somit können möglichst realistische Randbedingungen für eine Simulation verwendet werden, was die Simulation spezifischer ausgewählter Tage möglich macht. Bei den gewählten Klimaszenarien handelt es sich lediglich um einen prognostizierten mittleren Tagesgang der Temperatur in der Zukunft. PALM wiederum verwendet vierdimensionale Wettermodelldaten (Raum und Zeit). Um die Vergleichbarkeit mit Modul C zu gewährleisten, wurde deshalb der Tagesverlauf des Wettermodells an die gewählten Klimaszenarien angepasst.

3.4 Daten und Szenarien

Es wurden vier verschiedene Szenarien simuliert. Jeweils der jetzige Bestand in den Jahren 2035 und 2060, sowie mit kompletter Umsetzung aller Massnahmenpakete in den Jahren 2035 und 2060.

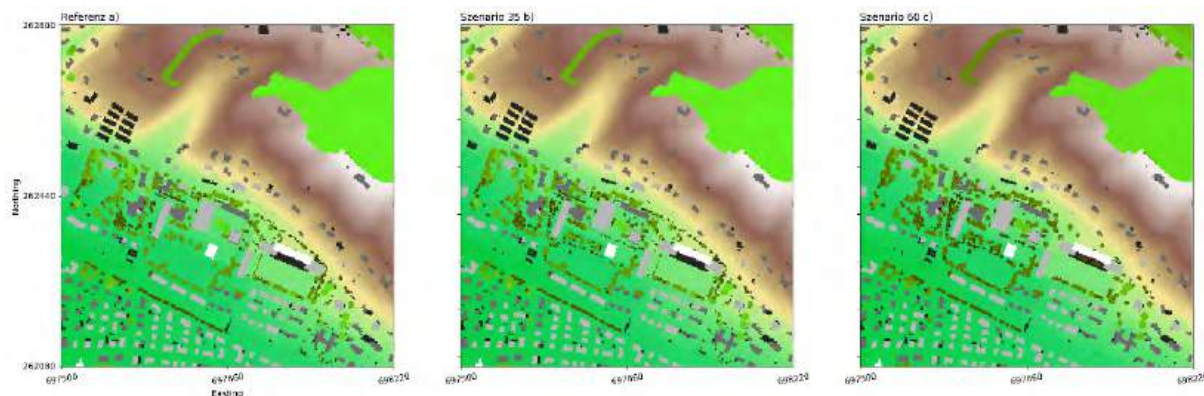
Aktuelle Geodaten sind wichtige Grundlagen, um möglichst relevante Stadtklimasimulationen durchführen zu können. Geodaten beinhalten beispielsweise Informationen über die Oberflächen-

beschaffenheit des Stadtgebiets, die Position und Höhe von Gebäuden, die Position von Bäumen und andere relevante städtebauliche Informationen. Diese Daten müssen für eine Stadtklimasimulation in das jeweils vom Modell erwartete Format transformiert werden. Eingeflossen sind nebst den Projektplanungsdaten auch Geoinformationen über Topographie (swissALTI3D, Swisstopo), Gebäude (Stadt Winterthur), Bäume (Stadt Winterthur) und Landnutzung (Amtliche Vermessung, Kanton Zürich) (siehe Abbildung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)



20 -Links: Darstellung des modellierten Gebietes in QGIS nach Umsetzung aller Massnahmenpakete. Rechts: Tatsächliche Repräsentation in PALM. Versiegelte Böden in Hellgrau, Gebäude in Dunkelgrau, Wasser in Blau, Vegetation in verschiedenen Braun- und Grüntönen

Die in Kapitel 1 definierten Massnahmenpakete werden auch in den Simulationen abgebildet. Der grösste Unterschied stammt von der vorhandenen Blattoberfläche (siehe Abb. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In den Szenarien wurden zusätzliche Bäume und Sträucher gepflanzt. Die Vegetation wächst ausserdem von Szenario 2035 bis zum Szenario 2060. Des Weiteren wurden diverse Flächen entsiegelt, Wasserflächen geschaffen und die Terrasse im Lee beschattet. Die Referenzen 2035 und 2060 unterscheiden sich lediglich durch die meteorologischen Bedingungen.

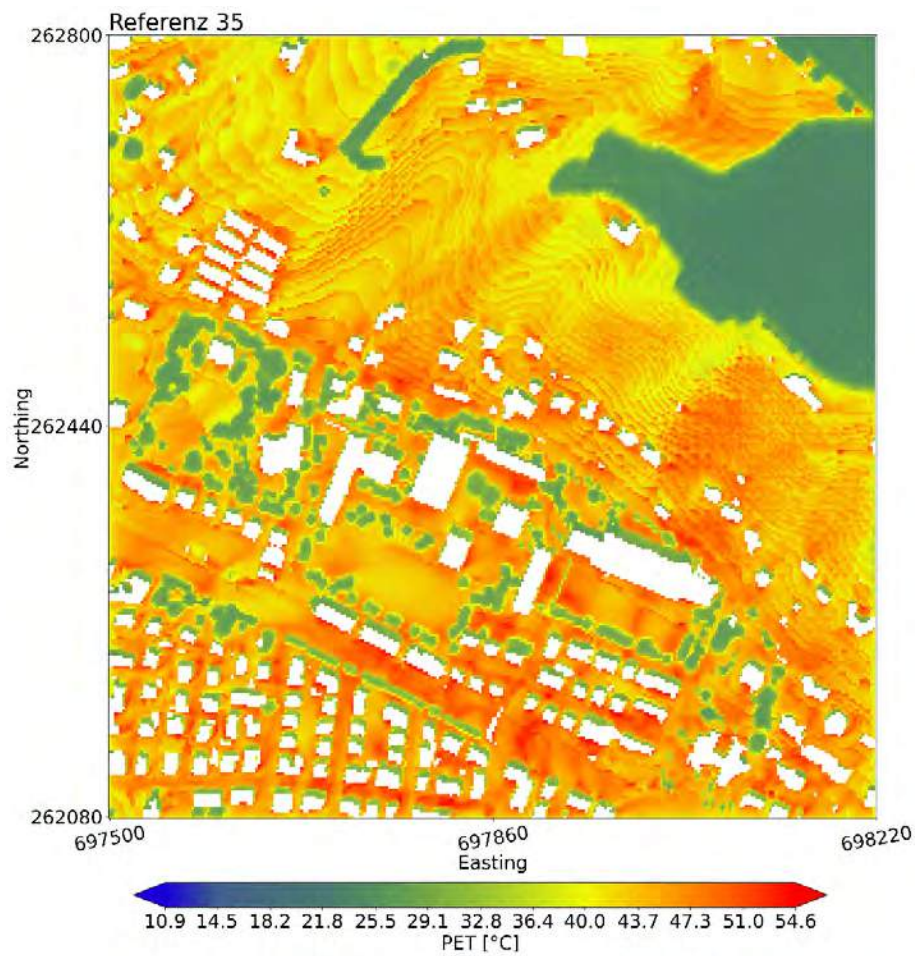


21- Blattoberfläche der Vegetation (Leaf Area Index (LAI)) der verschiedenen Szenarien von links nach rechts: «Referenz», «alle Massnahmenpakete 2035» und «alle Massnahmenpakete 2060».

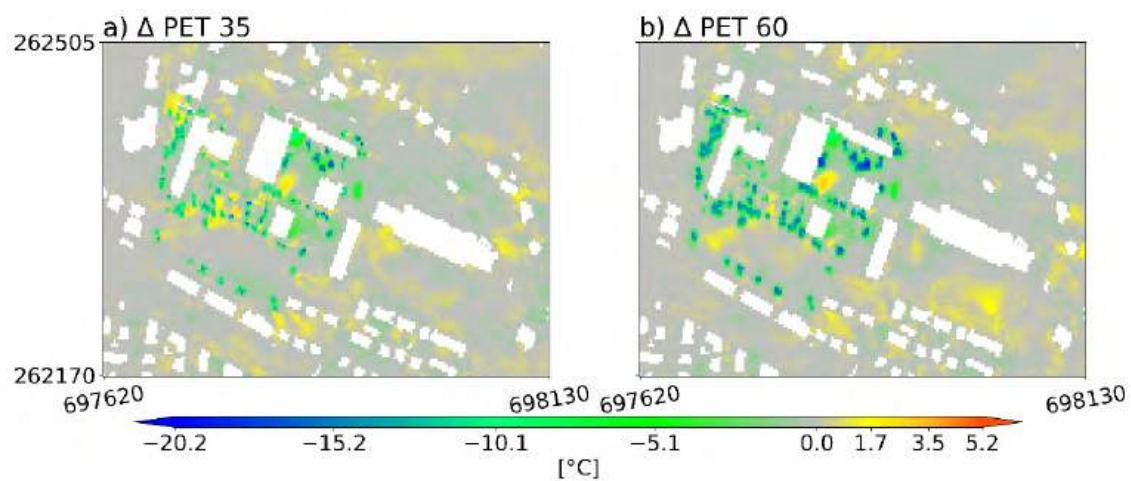
3.5 Ergebnisse

3.5.1 Physiologisch äquivalente Temperatur (PET)

Die physiologisch äquivalente Temperatur ist eine berechnete Grösse aus Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Strahlungsbilanz. Sie ist ein Mass der Wärmebelastung, die eine Person unter den gegebenen Umweltbedingungen erfährt. Der analysierte Zeitpunkt am Nachmittag eines heissen, relativ windstillen, wolkenfreien Tages widerspiegelt sich in den Ergebnissen (siehe Abb. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Qualitativ deckt sich Abbildung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** mit dem Übersichtsplan der Wärmebelastung (siehe Abb. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die hohe Einstrahlung während des Tages führt zu sehr hohen PET-Werten entlang der Südfassaden und hohen PET-Werten auf allen sonnenexponierten Flächen. Werte über 35 °C bedeuten bereits «starker Hitzestress», und Werte über 41 °C sogar «extremer Hitzestress». Die grünen Flächen, Schattenplätze auf der Nordseite von Gebäuden und unter Bäumen, bestärken daher die Bedeutsamkeit der Vegetation.



22 - PET in °C auf 2 m über Boden um 14:00. Gebäude in Weiss

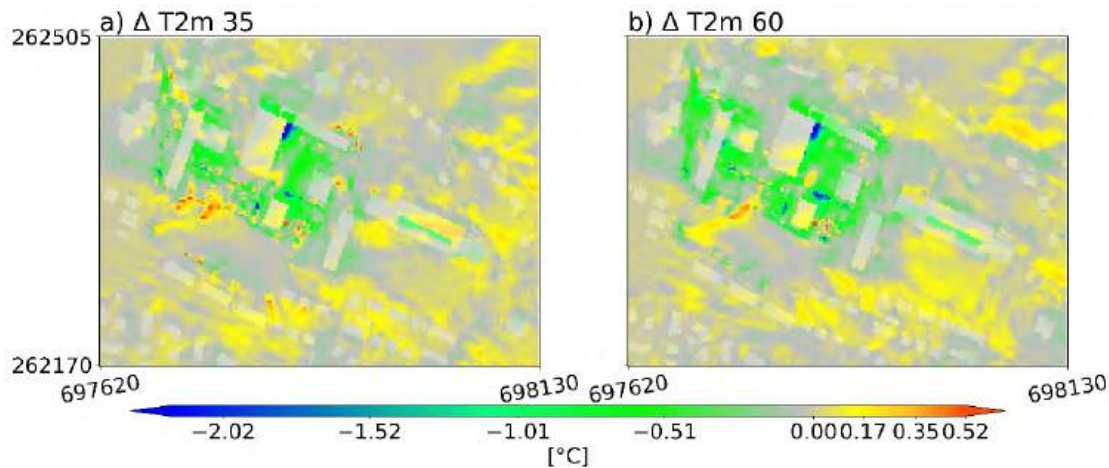


23 - Differenz der PET in °C auf 2 m über Boden. Mittelwert 13:00 – 14:00. Links: (Szenario 2035 – Referenz 2035), Rechts: (Szenario 2060 – Referenz 2060). Gebäude in Weiss.

Abbildung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt, dass die Summe aller Massnahmen zu sehr lokalen starken Effekten führt, mit einer Reduktion von bis zu -20 °C. Dominant ist dabei die zusätzliche Beschattung. Sowohl die PET-Reduktion als auch die betroffene Fläche nimmt dabei mit wachsender Vegetation zwischen den beiden Szenarien zu. Im gezeigten Ausschnitt beträgt die Gesamtfläche mit moderaten PET-Werten in beiden Referenzszenarien leicht mehr als 13000 m², von insgesamt etwa 64000 m² Aussenfläche. Die gewonnene zusätzliche Fläche mit moderate PET-Werte (< 35 °C) und einhergehend angenehmen Aufenthaltsbedingungen beträgt im 2035 rund 2100 m² (+16%) und im 2060 rund 3300 m² (+25%). Wodurch ein beinahe lückenloser Aufenthaltsraum um die Gebäude Ergänzungstrakt/Mensa geschaffen wird. Ausserdem werden die Verbindung Haupttrakt-Bürotrakt und grössere Teile des Platzes zwischen Haupttrakt und Aula markant kühler.

Es sind keine relevanten Effekte ausserhalb des Schulgeländes zu erwarten. Strahlungseffekte sind sehr lokal und die Luft durchmischt sich rasch, wodurch die Unterschiede in der Lufttemperatur verschwinden. Kleine PET-Unterschiede von +-1 Grad verteilt über das gesamte Gebiet entstehen durch die unterschiedliche Strömungsmuster in den Simulationen und sind grösstenteils irrelevant. Die zusätzliche Beschattung durch Sonnenschirme beim Schulhaus Im Lee ist auf den PET-Abbildungen nicht ersichtlich, da PET von PALM nicht auf Gebäuden berechnet wird.

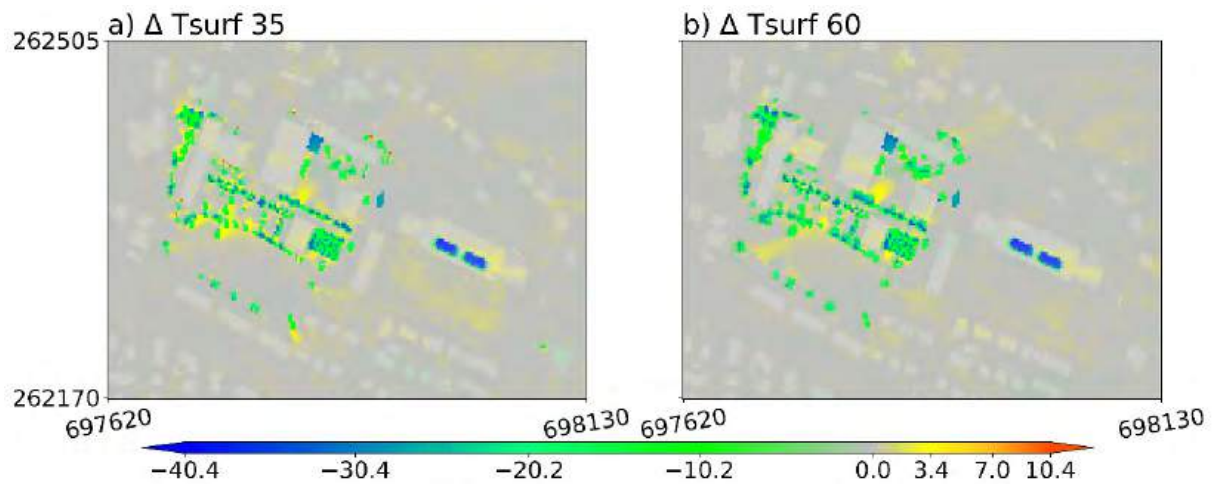
3.5.2 Luft- und Oberflächentemperaturen



24- Unterschied Lufttemperatur 2 m über Oberfläche. Mittelwert 13:00 – 14:00 Uhr. Links: (Szenario 2035 – Referenz 2035), Rechts: (Szenario 2060 – Referenz 2060). Gebäude in Hellgrau.

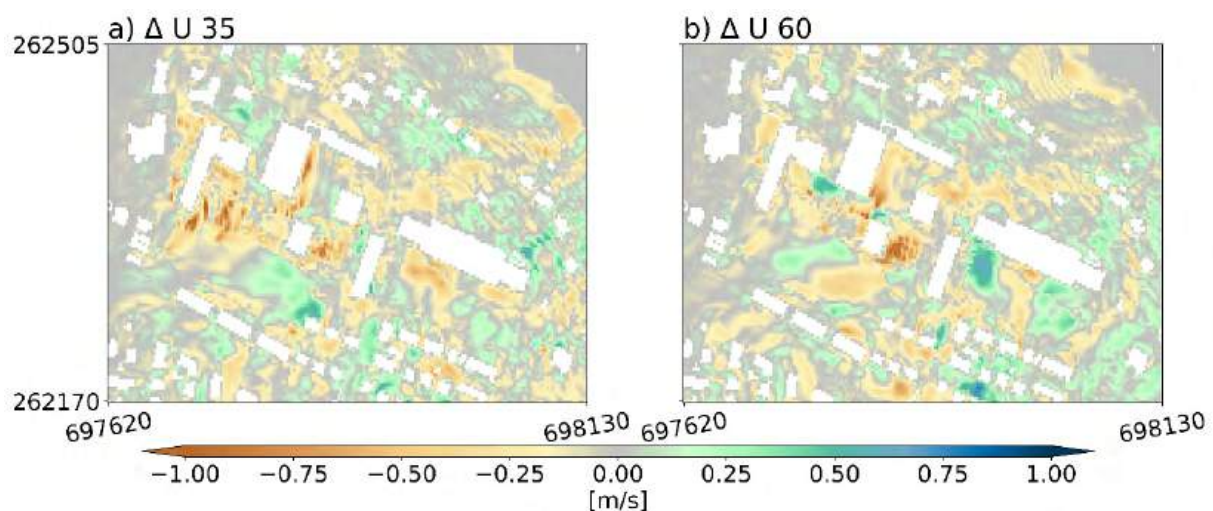
Die kühlssten Temperaturen treten auf der Nordseite der Gebäude auf, insbesondere in dem zwischen Wand und Hang liegenden Kessel, in dem sich kalte Luft sammelt und der dauerhaft im Schatten liegt. Bei sehr schwachen Winden, wie sie während Hitzeperioden häufig auftreten, wird diese Luft nur ineffizient ausgetauscht. Die Temperaturunterschiede zwischen den Szenarien sind hingegen auf das gesamte Areal verteilt (Abb. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Während verstreute Temperaturunterschiede von weniger als $\pm 0.25^\circ\text{C}$ kaum relevant sind, treten lokal deutlich stärkere Abkühlungen von 1°C oder mehr auf – besonders auf der Ostseite des Haupttrakts. Diese sind vermutlich auf die lokale Kühlwirkung des Brunnens sowie den sehr geringen Luftaustausch zurückzuführen. Sehr punktuell zeigen sich ähnliche Effekte auch unter Bäumen über neu entsiegelten Böden. In Bereichen mit umfassender Entsiegelung und Bepflanzung lässt sich zudem eine flächige Temperaturabnahme von rund 0.5°C feststellen.

Abbildung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt, dass die Oberflächentemperaturen deutlich abnehmen, wenn zusätzliche Beschattung durch Vegetation vorhanden ist, da Pflanzen sowohl die direkte Sonneneinstrahlung reduzieren als auch durch Verdunstungskühlung zur lokalen Abkühlung beitragen. Besonders starke Temperaturrückgänge zeigen sich im Bereich der Gewässer wie dem Teich und dem Brunnen, die durch Verdunstung und ihre hohe Wärmekapazität effektiv Wärme aufnehmen und die Umgebung kühlen. Ebenso lässt sich unter den Sonnenschirmen beim Schulhaus eine ausgeprägte Abnahme der Oberflächentemperaturen von rund 30°C feststellen, da die Abschattung dort sehr direkt und flächig wirkt. Dementsprechend wäre auch eine sehr markante PET-Reduktion zu erwarten.



25 - Unterschied Oberflächentemperatur. Mittelwert 13:00 – 14:00 Uhr. .Links: (Szenario 2035 – Referenz 2035), Rechts: (Szenario 2060 – Referenz 2060). Gebäude in Hellgrau

3.5.3 Wind



26 - Unterschied der Windgeschwindigkeiten auf 2 Meter Höhe. Mittelwert 13:00 – 14:00 Uhr. .Links: (Szenario 2035 – Referenz 2035), Rechts: (Szenario 2060 – Referenz 2060). Gebäude in Hellgrau.

Der Einfluss des Windes auf das Lokalklima (siehe Abb. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) zeigt sich vor allem in unmittelbarer Nähe der umgesetzten Massnahmen, da Windmuster nur schwach und lokal beeinflusst werden. Insgesamt führt die zusätzliche Vegetation zu einer leichten Abnahme der Windgeschwindigkeiten auf dem Areal, da Bäume und Sträucher den Luftstrom bremsen und verwirbeln. Gleichzeitig kann es punktuell auch zu einer mode-

raten Zunahme der Windgeschwindigkeit kommen, wenn die neue Vegetation die Winde umlenken und so lokal beschleunigen.

4 Mikroklimasimulationen

4.1 Methodik Mikroklimaanalysen

Ziel mikroklimatischer Analysen im Siedlungsraum ist es, die räumliche Verteilung thermischer Belastung und potenzieller Aufenthaltsqualität unter definierten meteorologischen Randbedingungen quantifizierbar zu machen. In stark versiegelten und intensiv genutzten Aussenräumen kann die Wärmebelastung an Hitzetagen lokal stark variieren; diese Unterschiede sind mit rein qualitativen Einschätzungen nur begrenzt erfassbar. Für planerische und politische Entscheidungen ist deshalb eine Methodik erforderlich, die Massnahmenwirkungen räumlich differenziert, transparent dokumentiert und zwischen Varianten vergleichbar darstellt.

Im vorliegenden Projekt wird die Quartierklimamodellierung (QKM) als entwurfsnahes Simulationsverfahren in Verbindung mit einem konsistent aufgebauten BIM Modell "Platine" eingesetzt. Analysiert werden die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) als menschenbezogener Indikator der thermischen Belastung sowie die Luftgeschwindigkeit als wesentliche Einflussgrösse für Konvektion und Durchlüftung. Die Simulationen werden für definierte Zeitpunkte und über 24 Stunden ausgewertet, um sowohl räumliche Muster (Hotspots, Kühlinseln) als auch zeitliche Verläufe (Tagesgang) abbilden zu können.

Die Interpretation erfolgt primär als Variantenvergleich zwischen dem heutigen Zustand (Bestand) und dem geplanten Zustand (Projekt). Damit wird der Fokus auf relative Unterschiede (Δ PET, Δ Wind) gelegt, da diese bei identischen Randbedingungen eine höhere Robustheit gegenüber modell- und parameterbedingten Unsicherheiten aufweisen als absolute Einzelwerte. Zur Beurteilung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen werden die geplanten Eingriffe in Massnahmenpakete gegliedert und sowohl einzeln als auch in Kombination simuliert. Dieses Vorgehen erlaubt eine nachvollziehbare Zuordnung von Wirkungen zu Massnahmen (z. B. Entsiegelung/Begrünung, Beschattung, Vegetationsentwicklung) und erleichtert die Ableitung von Prioritäten innerhalb begrenzter Umsetzungsspielräume.

Die räumliche Auswertung erfolgt mittels Effektivwertkarten (insbesondere für 14:00 Uhr) sowie Differenzkarten (Projekt minus Bestand) für PET und Windgeschwindigkeit. Ergänzend werden Messpunkte an typischen Aufenthaltsorten ausgewertet, um die Resultate auf nutzungsrelevante Aufenthaltsorte (z. B. Schulhof, Spielbereiche) zu beziehen. Durch die Kombination dieser Ausgaben entstehen Entscheidungsgrundlagen, die sowohl die Gesamtwirkung im Perimeter als auch die Wirksamkeit an konkreten Aufenthaltsorten abbilden. Die Szenarien für die Jahre 2035

und 2060 dienen der Prüfung der Massnahmen auf ihre Wirkung unter zukünftigen klimatischen Randbedingungen und unterstützen die Bewertung der längerfristigen Robustheit.

4.1.1 Simulationswerkzeuge und Modellbasis

Die Modellierung und Berechnung erfolgt auf Grundlage eines konsistent aufgebauten BIM-Modells "Platine" in Autodesk Revit 2025 unter Einsatz der Interaktiven Quartierklimamodellierung (QKM). Die Vegetationsobjekte, insbesondere Baumkörper und Kronenentwicklung, werden mittels BimTree parametrisiert, um eine szenarienkonsistente Entwicklung vegetationsbezogener Einflussgrössen (z.B. Artspezifisches Wachstum) zu gewährleisten.



27- Isometrieansicht BIM-Modell "Platine" Bestand ohne Analyseresultat



28 - Isometrieansicht BIM-Modell "Platine" Planung mit PET-Analyseresultat

4.1.2 Variantenbildung und Szenarien

Die Analysen umfassen die Varianten Bestand und Projekt sowie die massnahmenbezogenen Teilvarianten gemäss der in Kapitel 1.6 definierten Paketlogik (Einzelpakete und Kombination). Als Auswertgrössen werden PET und Luftgeschwindigkeit herangezogen. Die Bewertung erfolgt für die definierten Zeithorizonte 2035 und 2060 unter den in Kapitel 4.3: Daten und Szenarien beschriebenen Randbedingungen.

Tabelle 1 - Vergleichstabelle der enthaltenen Massnahmen in den Varianten

Paket-Nr.	Bestand	Terrassenbe- grünung, un- terkellert	Entsiegeln, begrünen, bodenge- bunden	Aufenthalt, Beschattung	Instandhal- tung KRW, Biotop	Szenario (2035)	Szenario (2060)
Paket 1	X	X				X	
Paket 1	X	X					X
Paket 2	X		X			X	
Paket 2	X		X				X
Paket 3	X			X		X	

Paket 3	X			X			X
Paket 4	X				X	X	
Paket 4	X				X		X
Pakete 1-4	X	X	X	X	X	X	
Pakete 1-4	X	X	X	X	X		X

4.1.3 Untersuchungsraum

Der Simulationsraum umfasst den Projektperimeter inklusive eines für Strömungs- und Verschattungseffekte relevanten Umgebungskontexts. Die Auswertung wird einerseits flächenbezogen für den gesamten Perimeter und andererseits nutzungsbezogen über vordefinierte Messpunkte an repräsentativen Aufenthaltsorten durchgeführt.

4.1.4 Ablauf der Simulationen

Zur isolierten Beurteilung der Einzelwirkungen werden die Massnahmenpakete wie beschrieben in Kapitel 1.6 jeweils separat gegenüber dem Bestand gerechnet. Zusätzlich wird eine Kombinationsvariante (Pakete 1–4 gesamthaft) gegenüber dem Bestand simuliert, um kumulative Effekte, Synergien sowie potenzielle Zielkonflikte zwischen Massnahmen abzubilden.

4.1.5 Ergebnisdarstellung

Die Resultate werden in **Effektivwertkarten** für definierte Zeitpunkte (insbesondere 14:00 Uhr) für PET und Windgeschwindigkeit dargestellt. Für die Vergleichbarkeit zwischen Varianten werden **Differenzkarten** (Projekt abzüglich Bestandes) verwendet. In den Differenzkarten zeigen blau/grüne Bereiche eine Verbesserung (geringere Werte als im Bestand), gelb/orange Bereiche eine Verschlechterung (höhere Werte als im Bestand). Ergänzend werden **Tagesgangdiagramme der PET** für den Gesamtperimeter sowie für ausgewählte Messpunkte ausgewertet, um die zeitliche Dynamik der thermischen Belastung zu erfassen.

4.2 Modell- und Informationsaufbau

4.2.1 Modellinhalt

Das BIM-Modell "Platine" bildet jene geometrischen Elemente und Objekteigenschaften ab, die für das Aussenklima im Projektperimeter massgebend sind, damit die Wirkung von Begrünung, Materialität und Baukörpern auf die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) sowie auf die Durchlüftung simulationsgestützt beurteilt werden kann. Abgebildet werden insbesondere Gebäudehüllen und Dächer als steuernde Faktoren für Verschattung, Strahlungsbilanz und Windführung sowie Belags- und Grünflächen als wesentliche Einflussgrössen für Aufheizung und Abkühlung. Vegetation wird in Form von Bäumen, Sträuchern und raumdefinierenden Pflanzstrukturen berücksichtigt, sofern eine wirksame Wuchshöhe von mindestens 2.5 m erreicht wird. Kleinstrukturen werden nur dann modelliert, wenn sie raumbildend wirken; Detailobjekte wie Geländer oder Möblierungen werden aufgrund ihrer nachrangigen Relevanz für die Berechnung nicht explizit berücksichtigt.

Die für die Simulation relevanten Parameter werden objektspezifisch im BIM-Modell hinterlegt, da sie die Strahlungs- und Energiebilanz der Berechnungen wesentlich beeinflussen. Die Parametrisierung wird für die Szenarien 2035 und 2060 konsistent fortgeschrieben, um die Vergleichbarkeit zwischen Varianten sicherzustellen. Für Bäume wird der **BimTree** verwendet dessen integrierte **Site Index** unterstützt die fachliche Einschätzung standortabhängiger Wachstumsbedingungen und ermöglicht eine nachvollziehbare Abbildung der Baum- und Kronenentwicklung über die Zeithorizonte.

4.2.2 Vegetationsparameter

Site Index (Bäume)

Der *Site-Index* unterstützt Fachpersonen, insbesondere Landschaftsarchitektinnen und Landschaftsarchitekten, bei der qualitativen Einschätzung der Standortbedingungen eines Baumes. Er beschreibt, wie sich Untergrund- und weitere wachstumsrelevanten Umgebungsfaktoren auf das potenzielle Baumwachstum im BIM-Modell auswirken.

Die Bewertung des Site-Index erfolgt manuell durch eine Fachdisziplin (hier Landschaftsarchitektur) auf Grundlage der örtlichen Gegebenheiten. Ein niedriger Wert steht für ungünstige, wachstumshemmende Bedingungen, während ein hoher Wert förderliche Standortverhältnisse und potenziell gesteigertes Wachstum kennzeichnet.



29 - Baumwachstum bimTree mit unterschiedlichen Site-Index

In die Einschätzung fließen Faktoren wie Bodenbeschaffenheit (z. B. Durchlässigkeit, Verdichtung, Substratqualität, pH-Wert), Versiegelungsgrad sowie Platzverhältnisse über und unter der Erde ein. Die Bewertung erfolgt objektspezifisch, da verschiedene Baumarten unterschiedlich auf Standortbedingungen reagieren.

Leaf Area Index (LAI)

- **Definition:** Blattflächenindex [$\text{Blatt (m}^2\text{)} / \text{Boden (m}^2\text{)}$]; Mass für Beschattung und Verdunstung.
- Wertebereiche: 0–8 (Stadtbäume typ. 2–5; Sträucher 1–3; Rasen ~0,5–2).
- **Zuordnung:** Vegetationsobjekte (Bäume, Sträucher, Unterwuchs); optional saisonal (Laub/Winter).
- **Vorgaben:** Neupflanzungen über Wachstumsstufen (2035/2060) mit Ziel-LAI parametrisieren.
- **Hinweis:** LAI ergänzt die Geometrie (Kronenform) um die Blattdichte.

4.2.3 Strahlungs- und Materialeigenschaften

Albedo (kurzwellige Reflexion)

- **Definition:** Anteil reflektierten Sonnenlichts (0–1). Höher bedeutet weniger solare Aufheizung am Tag.
- **Richtwerte:** Asphalt 0,05–0,15, Beton/Stein 0,20–0,40, helle Beschichtung 0,50–0,80, Vegetation 0,15–0,25.
- **Zuordnung:** Materialeigenschaft an Oberflächen (Beläge, Fassaden, Dächer).
- **Hinweis:** Alterung/Verschmutzung senkt Albedo; Zielwerte bei Sanierungen definieren.

Emissionsgrad ϵ (langwellige Abstrahlung)

- **Definition:** Fähigkeit, Wärme im Infraroten abzugeben (0–1). Höher = bessere nächtliche Auskühlung.

- **Richtwerte:** Nicht-Metalle 0,90–0,98 (Beton, Holz, Boden, Vegetation) polierter Metall 0,03–0,10.
- **Zuordnung:** Materialeigenschaft an Oberflächen; wirkt mit Albedo auf die Strahlungsbilanz.
- **Hinweis:** Bevorzugt werden matte helle Materialien.

4.3 Daten und Szenarien

4.3.1 Grundlagen und Klimaszenarien

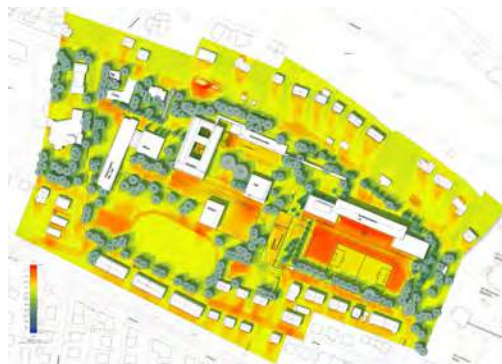
- Quelle/Station: simulierte Messwerte von Meteo Schweiz, Station Affoltern am Albis
- Referenzjahr(e)/Tag: 9.6.2035/2060
- Klimaszenarien: RCP 8.5 nach Szenarium CH2018

4.3.2 Rahmenbedingungen

- Zeitzone: Lokal, Auswertungszeitpunkt: UTC+2
- Koordinatensystem: LV95
- Auswertehöhe: 2m über Gelände
- Rastergrösse: 2x2 Meter
- Analysedauer: 24 Stunden
- Messpunkte/Zonen: gemäss Kapitel 4.1.6 Messpunkte und Teilbereich

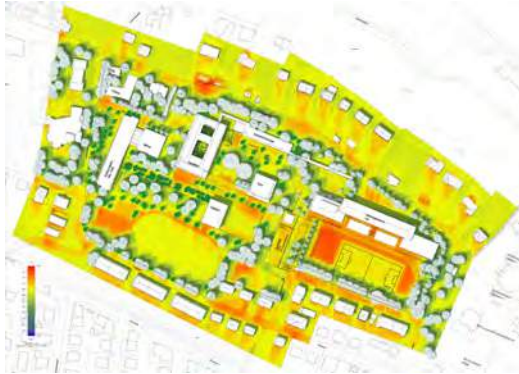
4.4 Ergebnisse

Übersicht Bestand (PET)

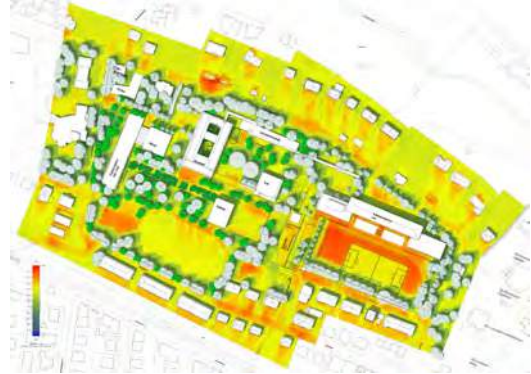


30 - Resultate PET Bestand

Übersicht alle Massnahmen (PET) Projektiert

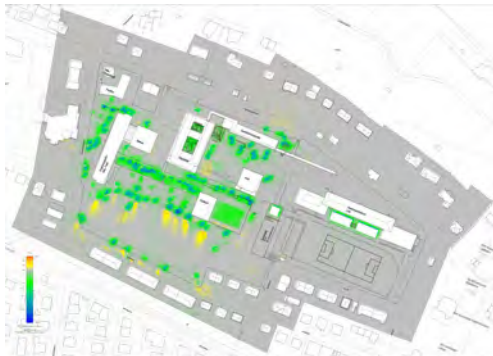


31- Resultate PET Projektiert 2060

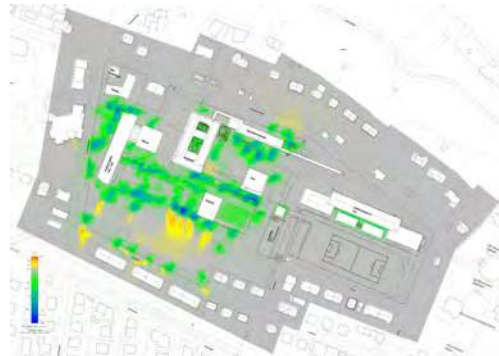


32 - Resultate PET Projektiert 2035

Übersicht aller Massnahmen (PET-Differenz)

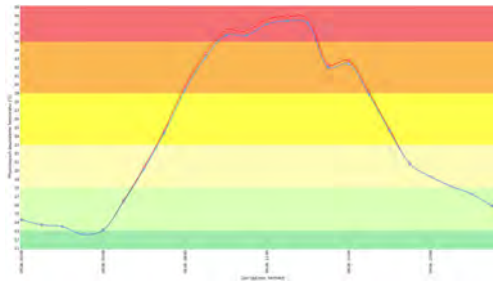


33 - Resultate PET-Differenz 2035

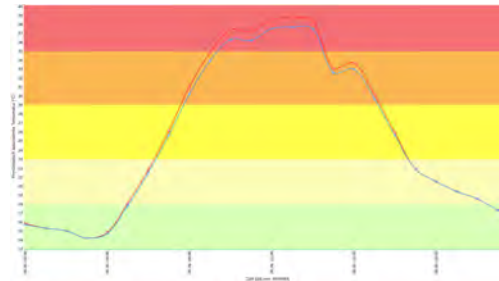


34 - Resultate PET-Differenz 2060

Liniendiagramm aller Massnahmen (PET)

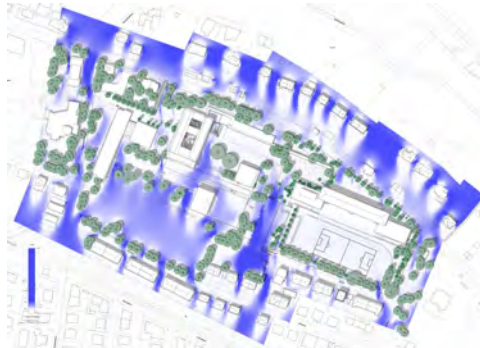


35 - Liniendiagramm PET 2035 Bestand und projiziert



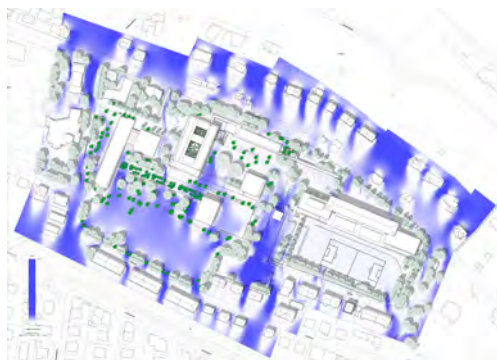
36 - Liniendiagramm PET 2060 Bestand und projiziert

Übersicht Bestand (Windgeschwindigkeit)

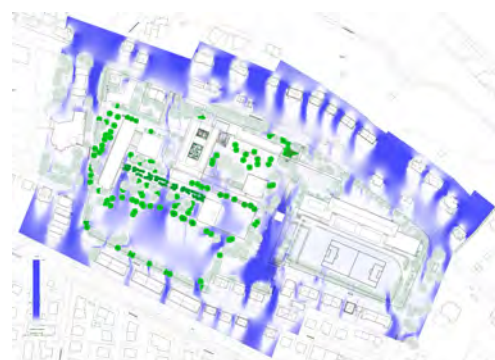


37 - Resultate Windgeschwindigkeit Bestand

Übersicht alle Massnahmen (Windgeschwindigkeit)



38 - Resultate Windgeschwindigkeit projiziert 2035



39 - Resultate Windgeschwindigkeit projiziert 2060

Massnahmenpakete 2035: Siehe Anhang 7.3.6

Massnahmenpakete 2060: Siehe Anhang 7.3.6

4.5 Klimatische Wirkung und ökologische Qualität

Aus den Ergebnissen lassen sich folgende planerische Leitlinien ableiten:

- **Hotspots zuerst:** Massnahmen priorisieren, wo Bestand bereits hohe PET-Werte und geringe Verschattung zeigt.
- **Schatten als Grundversorgung:** Aufenthaltsflächen benötigen eine verlässliche Beschattung, idealerweise kombiniert aus Baumkronen und baulichen Elementen.
- **Entsiegelung als Multiplikator:** Durchlässige, begrünte Böden verbessern Verdunstung und Standortqualität der Bäume (langfristig mehr LAI).
- **Windeinflüsse:** Durchlüftung ist Teil der thermischen Qualität; Eingriffe sollten Windlenkung miteinbeziehen und somit unbeabsichtigten Stauzonen vermeiden.
- **Downwash und Eckeffekte berücksichtigen:** An windzugewandten Fassaden und insbesondere an Gebäudeecken kann es durch Abwärtslenkung der Strömung (Downwash) und Kantenbeschleunigung lokal zu erhöhten Windgeschwindigkeiten kommen.

4.5.1 Vegetationseffekte

Bäume sind mikroklimatisch grundsätzlich kühlwirksam, da sie durch Beschattung und Evapotranspiration (Verdunstung und Atmung des Baums) die Strahlungs- und Energiebilanz in ihrem Umfeld entlasten. Bäume sind keine Wärmequelle, sondern reduzieren in der Regel die kurzwellige Einstrahlung auf Oberflächen und fördern Abkühlung über latente Wärmeflüsse.

Für die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) ist jedoch entscheidend, welche Teilprozesse am jeweiligen Ort dominieren. PET reagiert stark auf die Strahlungsbelastung (insbesondere direkte und reflektierte kurzwellige Strahlung), aber auch auf Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit. In bestimmten räumlichen Situationen kann der erwartete PET-Vorteil zusätzlicher Vegetation deshalb gering ausfallen oder lokal sogar ausbleiben, wenn sich gleichzeitig andere Einflussgrössen ungünstig verändern.

Im vorliegenden Projekt zeigen die Varianten, dass zusätzliche Bäume zwar einen Beitrag zur Kühlung leisten, jedoch nicht in allen Bereichen zu einer Verbesserung der PET führen. Ein zentraler Grund ist die Interaktion mit der Luftströmung: Vegetation wirkt als Strömungswiderstand (erhöhte Rauigkeit) und kann die Durchlüftung in leeseitigen oder bereits windschwachen Bereichen weiter reduzieren. Da Wind die sensible Wärmeabgabe des menschlichen Körpers unterstützt (Konvektion), kann eine Abnahme der Luftgeschwindigkeit die thermische Belastung teilweise kompensieren oder in angrenzenden Bereichen ungünstig beeinflussen, insbesondere dort

wo Beschattungseffekte nicht direkt am Aufenthaltsort wirksam werden oder wo sich Wärme zwischen Baukörpern staut.

Für die Planung bedeutet dies: Die Wirksamkeit zusätzlicher Bäume ist standort- und kontextabhängig. Positiv wirken Bäume insbesondere dort, wo sie gezielt Aufenthaltsflächen beschatten und gleichzeitig die Kaltluft- bzw. Durchlüftungsbahnen nicht beeinträchtigen. In Rand- und Engstellen sowie in Bereichen mit ohnehin geringer Luftbewegung ist die Baumsetzung so zu konfigurieren, dass keine unbeabsichtigten Windstauzonen entstehen (z. B. durch Staffelung, Durchlässe, Wahl der Anordnung und langfristige Kronenentwicklung).

Zusätzlich ist die Wirkung über die Zeit zu berücksichtigen: Mit zunehmendem Kronenvolumen und steigender Blattdichte (LAI) nimmt sowohl die Beschattungs-/Verdunstungsleistung als auch der Strömungswiderstand zu. Die Szenarien 2035 und 2060 sind daher nicht nur als Temperaturentwicklung, sondern auch als Vegetationsentwicklung zu interpretieren, wobei der gewählte Site-Index die erreichbare Kronenentwicklung beeinflusst.

4.6 Grenzen und Qualitätssicherung

Die Simulationen dienen primär dem Variantenvergleich (Bestand/Projektiert und deren Massnahmenpakete) und der Ableitung von planerischen Prioritäten. Absolute Werte (z.B. PET an einem Punkt) sind als modellabhängige Grössen zu verstehen; belastbarer sind Differenzen zwischen Varianten bei identischen Randbedingungen (Δ PET, Δ Wind).

4.6.1 QKM

Die Quartierklimamodellierung (QKM) ist als entwurfsnahes Werkzeug konzipiert und ermöglicht schnelle, iterative Variantenvergleiche direkt im BIM-Modell. Dadurch entstehen bewusst Vereinfachungen:

- **Geometrische Abstraktion:** Innenbauteile und viele Detailobjekte werden nicht berücksichtigt; relevant sind Aussenhüllen, Dächer, Topografieflächen und Vegetation. Komplexe/zu fein triangulierte Geometrien können die Berechnung beeinflussen bzw. verlangsamen.
- **Material- und Vegetationsparameter:** Resultate reagieren sensibel auf LAI, Albedo, Emissionsgrad und (bei Bäumen) die Wachstumsannahmen (Site Index). Diese Parameter werden projektspezifisch vergeben und sind mit Unsicherheiten behaftet.

- **Strömung:** Strömungseinflüsse werden modellabhängig abgebildet; lokale Turbulenzen und kleinräumige Effekte können vereinfacht dargestellt sein.

4.6.2 PALM

PALM ist ein hochauflösendes, wissenschaftliches Strömungs- und Mikroklimamodell, während QKM als entwurfsintegriertes Werkzeug stärker auf Planungsprozess, Bedienbarkeit und Variantenvergleich optimiert ist. Entsprechend unterscheiden sich Detailtiefe und Abbildungsgenauigkeit je nach Fragestellung (z. B. Strömung/Turbulenz, Schichtenaufbau, Behandlung erhöhter Flächen). Der Vergleich wird in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 2 - Vergleichstabelle der Analysemodelle QKM und PALM nach verschiedenen Kategorien

Modell	PALM	QKM
Flächen	<i>Grundflächen, PET wird auf Gebäudeflächen nicht automatisch ermittelt. Kann jedoch durch verwandte Grössen berechnet werden (Oberflächentemperatur/ Windgeschwindigkeit/...</i>	<i>PET-Ermittlung möglich bei Grundflächen, erhobenen Flächen wie Flachdächer, Terrassen, Balkone, ...</i>
Schichtenaufbau (Flächen)	<i>3-4 Schichten, Unterschiede werden relevant bei längerer Analysedauer. (> 4Tage)</i>	<i>Einfacher Schichtenaufbau mit anpassbarer Schichtenstärke</i>
Vegetation	<i>LAI-Profil, Höhen, Baumwachstum (manuell)</i>	<i>LAI, Höhen, Breiten, Kronenansatz, artspezifisches Baumwachstum *</i>
Ausgangsdaten	<i>An Klimaszenarien CH2018 angepasste Wettermodelldaten</i>	<i>An Klimaszenarien CH2018 angepasste Tagesprofile</i>
Mauern	<i>Ohne Verglasungsanteile, Mehrschichtige Aufbauten der Mauern berücksichtigt</i>	<i>Mit Verglasungsanteile, Mehrschichtige Aufbauten der Mauern berücksichtigt</i>
Kleinstrukturen	<i>Kleinstrukturen werden in der Regel nicht berücksichtigt</i>	<i>Kleinststrukturen, welche raumbildend sind werden berücksichtigt</i>

Luftströmungen	<i>Strömungseinflüsse vernetzt simuliert, Turbulenzen werden berücksichtigt</i>	<i>Strömungseinflüsse werden in vereinfachter Form dargestellt</i>
-----------------------	---	--

*Unter Anwendung des BimTree wie in Kapitel 2.2 Parametrisierung der Objekte beschrieben

Konsequenz für die Interpretation

- Für die Planung sind vorgängig festgelegte Rangfolgen zentral. Sie bestimmen wo welche Massnahmen wirken, und welche die höchste Wirkung erzielen.
- Für Fragestellungen mit hoher Strömungs-Komplexität (Turbulenzen, Kanalisierung, mehrtägige Ereignisse mit Schicht-/Wärmespeicher-Effekten) kann ein PALM-basierter Vertiefungsnachweis sinnvoll sein.

4.6.3 Qualitätssicherung und Plausibilisierung

Zur Sicherung der Ergebnisqualität wurden folgende Schritte angewandt:

- **Modellprüfung:** Vollständigkeit der relevanten Geometriekategorien (Aussenhüllen, Dächer, Topografieflächen, Vegetation) sowie Vermeidung unnötig komplexer Geometrien.
- **Parameterprüfung:** Stichprobenkontrolle der entscheidenden Objektparameter (LAI, Albedo, Emissionsgrad, Site Index) auf Plausibilität und Konsistenz zwischen 2035 und 2060.
- **Ergebnis-Plausibilisierung:** Abgleich der räumlichen Muster mit erwartbaren Wirkmechanismen
- **Vergleichbarkeit sichern:** Alle Varianten werden mit identischen Randbedingungen gerechnet; primär werden **Differenzen** ausgewertet.

4.7 Einordnung der Simulationsergebnisse

Die Aussagekraft mikroklimatischer Simulationen wird wesentlich durch die Qualität der Eingangsdaten, die Konsistenz des Modellaufbaus und die Nachvollziehbarkeit der Parametrisierung bestimmt. Mikroklimatische Kenngrössen (z. B. PET, Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit) reagieren nicht nur auf die Geometrie des Stadtraums, sondern in hohem Masse auf Materialeigenschaften und Vegetationsparameter (u. a. LAI, Albedo, Emissionsgrad) sowie auf die gewählten

Randbedingungen. Entsprechend entsteht Ergebnisqualität nicht ausschliesslich im numerischen Rechenmodell, sondern bereits in der vorgelagerten Modellierung und Datenaufbereitung.

Der im Bericht verwendete Ansatz zielt darauf ab, diese Voraussetzungen systematisch zu erfüllen: Relevante Flächen, Objekte und Vegetation werden in einem konsistenten Modell abgebildet, mit definierten Kategorien strukturiert und mit prüfbaren Parametern versehen. Dadurch wird insbesondere die Vergleichbarkeit zwischen Varianten sichergestellt. In der Ergebnisinterpretation wird folglich der Schwerpunkt auf relative Unterschiede zwischen Varianten (z. B. Δ PET zwischen Bestand und Massnahmenpaketen) gelegt, da diese bei identischen Randbedingungen eine höhere Robustheit gegenüber modell- und parameterbedingten Unsicherheiten aufweisen als absolute Einzelwerte.

Klassische, nicht durchgängig modellbasierte Arbeitsweisen (z. B. plan- oder layerbasierte Datenerfassung mit nachträglicher, manueller Zuweisung von Material- und Vegetationsannahmen) sind für simulationsgestützte Fragestellungen grundsätzlich nutzbar, erfordern jedoch zusätzliche Übersetzungsschritte, um die benötigte Objektlogik und Parametrisierung konsistent abzubilden. Insbesondere bei Variantenketten und Zeithorizonten erhöht sich dabei das Risiko von Inkonsistenzen (z. B. in der Flächenklassifikation oder Parametervariation) sowie der Dokumentationsaufwand zur Reproduzierbarkeit. Vor diesem Hintergrund wird im vorliegenden Bericht ein modellbasierter Ansatz (BIM-Modell "Platine") gewählt, um Datenhaltung, Parametrisierung, Variantenvergleich und Qualitätssicherung methodisch nachvollziehbar zu integrieren.

5 Gebäudesimulation K LW

5.1 Einleitung

Der Klimawandel beeinflusst zunehmend die thermische Leistungsfähigkeit von Gebäuden, insbesondere während warmer Sommerperioden und Hitzeereignisse. Steigende Aussentemperaturen und die zunehmende Häufigkeit extremer Hitzeperioden stellen erhebliche Herausforderungen dar, um in Nichtwohngebäuden wie Schulen eine angemessene Innenraumqualität aufrechtzuerhalten. Die Gewährleistung thermischen Komforts unter zukünftigen Klimabedingungen erfordert daher sowohl eine Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden als auch die Umsetzung wirksamer Klimaanpassungsstrategien.

In urbanen Räumen tragen konventionelle Bauweisen zudem zum städtischen Wärmeinseleffekt bei, der die Hitzebelastung weiter verstärkt und den Kühlbedarf erhöht (Santamouris, 2014). Mit der zunehmenden Ausprägung der Klimafolgen gewinnt die Identifikation nachhaltiger Strategien, die Überhitzung reduzieren und zugleich die Abhängigkeit von energieintensiven mechanischen Kühlsystemen minimieren, an Bedeutung. Passive Kühlstrategien wie Verschattung, Nachtlüftung und weitere Massnahmen der Baugestaltung, die solare Wärmegewinne begrenzen, wurden umfassend als wirksame Ansätze zur Reduzierung von Überhitzung und Kühlenergiebedarf untersucht (Karlsen et al., 2016; Schulze et al., 2018). Darüber hinaus finden Begrünungsmassnahmen wie Baumpflanzungen und Dachbegrünungen zunehmende Aufmerksamkeit, da sie das Aussenklima verbessern und indirekt auch die Innenraumverhältnisse beeinflussen können (Herath et al., 2018; Tseliou et al., 2023).

Vor diesem Hintergrund bewertet das vorliegende Projekt das Überhitzungsrisiko sowie die potenzielle Wirksamkeit ausgewählter passiver Hitzeminderungsstrategien für die Kantonsschule Im Lee. Mithilfe eines dynamischen Gebäudesimulationsmodells wird die thermische Performance des Gebäudes untersucht und der Einfluss verschiedener passiver Strategien unter aktuellen und zukünftigen Klimabedingungen analysiert. Die Analyse umfasst ein Basisszenario sowie Minderungsmaßnahmen wie Nachtlüftung und solare Verschattung, die unter Klimaprognosen für die Jahre 2035 und 2060 bewertet werden. Ziel ist es, Überhitzungsrisiken zu quantifizieren, die Effektivität unterschiedlicher Strategien zu vergleichen und praxisnahe Empfehlungen zur Verbesserung des sommerlichen thermischen Komforts bei gleichzeitig energieeffizientem Gebäudebetrieb abzuleiten.

5.2 Methodik

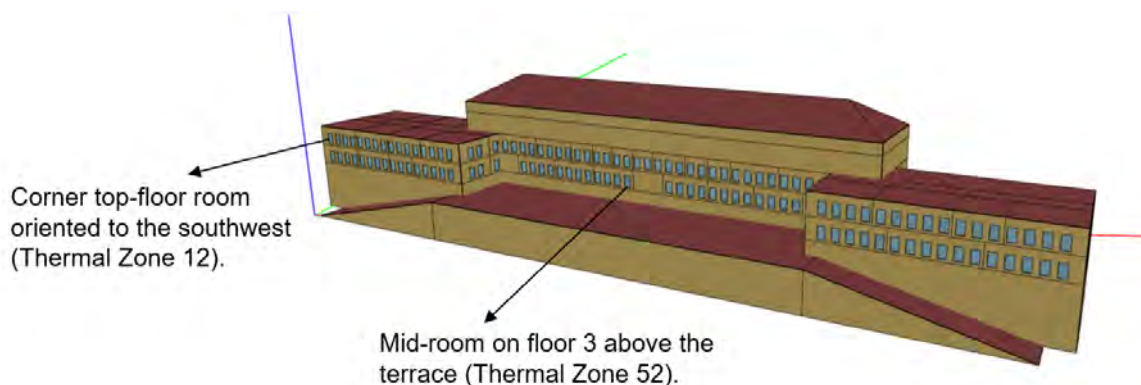
Die Bewertung des Überhitzungsrisikos und der passiven Hitzeminderungsstrategien für die Kantonsschule Im Lee erfolgte mittels dynamischer Gebäudeenergiesimulation. Die Methodik umfasst die folgenden Schritte:

5.2.1 Gebäudemodellentwicklung

Das Gebäude der Kantonsschule Im Lee wurde mithilfe von SketchUp in Kombination mit dem OpenStudio-Plugin modelliert; die resultierende Darstellung ist in Abbildung 40 gezeigt. Eine detaillierte Modellierung erfolgte für das 3. und 4. Obergeschoss, da Erfahrung zeigt, dass das Eckbüro im 4. Obergeschoss aufgrund seiner Orientierung besonders kritisch ist. Das 3. Obergeschoss wurde ausgewählt, weil die sonnenexponierte Terrasse voraussichtlich einen negativen Einfluss auf den thermischen Komfort hat und gleichzeitig die Möglichkeit bietet, die Wirksamkeit aussenliegender Verschattungsmassnahmen zu bewerten. Die anschliessenden Simulationen werden mit EnergyPlus durchgeführt, um die thermischen Innenraumbedingungen zu analysieren.

Die folgenden wesentlichen Gebäudeparameter wurden aus den Projektdaten und den SIA-Normen abgeleitet:

- Gebäudegeometrie und Eigenschaften der Gebäudehülle
- Fenstercharakteristika und solare Warmegewinne
- Interne Wärmelasten durch Nutzer, Beleuchtung und Geräte
- Belegungsmuster, typisch für den Schulbetrieb



40 - Das 3D-Energie-modell der Kantonsschule Im Lee

5.2.2 Definition und Modellierung passiver Strategien

Um Überhitzung ohne den Einsatz aktiver Kühlsysteme zu reduzieren, wurden die folgenden passiven Strategien untersucht.

Massnahmen am Gebäude:

- **Nachtlüftung:** Erhöhung des nächtlichen Luftwechsels sowie Umsetzung von Querlüftung, um die in der Gebäudemasse gespeicherte Wärme abzuführen.
- **Strategien zur solaren Verschattung:** Reduzierung des solaren Wärmeeintrags durch Fenster mittels optimierter Verschattungssteuerung und Anpassung der Verschattungsmaterialien.

Zur Analyse der Wirksamkeit dieser Massnahmen wurde das entwickelte Modell weiter verfeinert. Ein Airflow-Netzwerk wurde definiert, um die Querlüftung realistisch zu simulieren. Zudem wurden parametrisch verbesserte Verschattungsmaterialien implementiert, um den Einfluss veränderter Materialeigenschaften sowie unterschiedlicher Nutzungs- bzw. Steuerungszeiten der Verschattungssysteme (Öffnen und Schliessen anhand vordefinierter Zeitpläne) zu bewerten.

Aussenliegende Massnahmen, die den Innenraum beeinflussen können:

- **Aussenverschattung:** Installation von Verschattungselementen oder -strukturen auf Terrassen und Aussenbereichen, um direkte Sonneneinstrahlung zu begrenzen.
- **Terrassenbewässerung:** Benetzung der sonnenexponierten Terrasse zur Förderung evaporativer Kühlung und zur Verringerung des Wärmeeintrags in angrenzende Innenräume.

Das grundlegende Simulationsmodell wird angepasst, um die Leistungsfähigkeit der Massnahmen zu analysieren. Zu diesem Zweck wird ein Airflow-Netzwerk definiert, um die Querlüftung zu simulieren. Parametrisch verbesserte Verschattungsmaterialien wurden implementiert, um deren Einfluss zu untersuchen – zusammen mit Variationen des Nutzungsschemas und der Steuerung des Verschattungssystems.

5.2.3 CFD-Kopplung

Um die Genauigkeit der Analyse weiter zu erhöhen, werden die in diesem Projekt durchgeführten CFD-Simulationen mit energetischen Gebäudesimulationen gekoppelt. Die aus der PALM-Ana-

lyse gewonnenen Daten zu Luftfeuchtigkeit, Temperatur sowie Windgeschwindigkeit und -richtung werden über Aussenluftknoten, die mit den Airflow-Network-Oberflächen (Fensteröffnungen) verbunden sind, in EnergyPlus integriert.

Zur Definition dieser Knoten wurden – wie in Abbildung 4141 dargestellt – acht Punkte entlang des Gebäudeumfangs festgelegt. Diese Punkte sind auf zwei Höhenebenen verteilt, die den Mittelpunkten des 3. und 4. Obergeschosses entsprechen, sodass insgesamt 16 Aussenluftknoten entstehen. In EnergyPlus werden die sich in der Nähe dieser Positionen befindlichen Fenster den jeweiligen Knoten zugeordnet, wodurch die CFD-Ergebnisse wirkungsvoll mit dem energetischen Simulationsmodell gekoppelt werden.



41 - Festgelegte Punkte rund um das Gebäude für die CFD-Kopplung

5.2.4 Ziel und Geltungsbereich

Es werden die in Tabelle 3 dargestellten Szenarien definiert und szenariobasierte Simulationen durchgeführt:

- Simulation ausgewählter kritischer Gebäudebereiche unter aktuellen Klimabedingungen, um die thermische Ausgangsleistung (Baseline) zu bestimmen.
- Durchführung von Simulationen zur Bewertung der Wirksamkeit der implementierten passiven Strategien.

- Simulation des Basismodells und der Retrofit-Szenarien unter zukünftigen Klimaprojektionen für die Jahre 2035 und 2060.

Tabelle 3 - Definierte Simulationsszenarien

Szenario-Nr.	Nachtlüftung	Verbesserte Verschattungsmaterialien	Verschattungssteuerungsstrategien	Zukünftiges Klima (2035)	Zukünftiges Klima (2060)
Szenario 1				X	
Szenario 2	X			X	
Szenario 3		X		X	
Szenario 4			X	X	
Szenario 5		X	X	X	
Szenario 6	X		X	X	
Szenario 7	X	X		X	
Szenario 8	X	X	X	X	
Szenario 9					X
Szenario 10	X				X
Szenario 11		X			X
Szenario 12			X		X
Szenario 13		X	X		X
Szenario 14	X		X		X
Szenario 15	X	X			X
Szenario 16	X	X	X		X

Basisszenario (1 / 9)

Das Referenzmodell wurde entwickelt, um den Status quo des Gebäudes abzubilden, indem das aktuelle Nutzerverhalten sowie bestehende Regelstrategien angenähert werden:

- Natürliche Lüftung: Fenster werden nur geöffnet, wenn die Raumlufttemperatur 26,5 °C überschreitet und die Außentemperatur niedriger ist als die Innentemperatur sowie wenn die relative Luftfeuchtigkeit über 70 % liegt.
- Nachtlüftung: Im Referenzmodell ist weder Nachtlüftung noch Querlüftung aktiv.
- Verschattungsmaterial: Ein helles Material wird eingesetzt, um die Eigenschaften des bestehenden Verschattungssystems zu approximieren.
- Verschattungsregeln: Die Verschattung wird aktiviert, sobald die solare Einstrahlung 200 W/m² überschreitet und die Innenraumtemperatur über 26,5 °C liegt.

Fortgeschrittene Szenarien (2–8 / 10–16)

Die folgenden Einstellungen werden verwendet, um den thermischen Komfort im Gebäude zu verbessern:

- Nachtlüftung: Das Gebäude wird über Nacht (20:00–06:00 Uhr) gelüftet, um die thermische Speichermasse abzukühlen. Alle Türen und Fenster sollten geöffnet bleiben, um Querlüftung zu ermöglichen. Zusätzlich wird der morgendliche Lüftungs-Schwellenwert auf 22 °C festgelegt, um die kühlen Aussentemperaturen vor der Hitze am Nachmittag optimal zu nutzen.
- Verbesserte Verschattungsmaterialien: Optimierung des Verschattungssystems durch Materialien mit höherem Reflexionsgrad und geringerer solarer Transmission, um den solaren Wärmeeintrag zu reduzieren. Die Reflexions- und Transmissionswerte der Materialien wurden jeweils von 0,55 und 0,20 auf 0,75 bzw. 0,10 geändert.
- Verfeinerte Verschattungssteuerung: Einführung strengerer Steuerregeln, die bereits bei einer solaren Einstrahlung von 100 W/m² ausgelöst werden.

5.2.5 Wirkungsanalyse

Simulation des Gebäudes mit den angewendeten passiven Strategien unter zukünftigen Klimabedingungen (2035 und 2060).

- Vergleich der Ergebnisse zwischen Baseline- und Minderungsszenarien.
- Bewertung der Wirksamkeit jeder Strategie anhand von Überhitzungsindikatoren, darunter:
 - Maximale Innenraumtemperaturen
 - Anzahl Stunden > 26.5 °C (SIA 180) / ausserhalb der thermischen Komfortzone
 - Gesamte Temperaturverläufe im Innenraum
 - Identifikation der relativen Leistungsfähigkeit und der Grenzen jeder Strategie.

5.3 Ergebnisse der Analyse

Dieser Abschnitt präsentiert die Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulationen für die Kantonsschule Im Lee. Die Leistungsfähigkeit der vorgeschlagenen passiven Massnahmen wird im Vergleich zum Basisszenario über die aktuellen sowie die zukünftigen Klimahorizonte 2035 (Szenario 1) und 2060 (Szenario 9) bewertet.

Die mikroklimatische CFD-Analyse wurde über einen Zeitraum von 24 Stunden durchgeführt – von 17:00 Uhr am 8. Juni bis 17:00 Uhr am 9. Juni. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit wurden die energetischen Gebäudesimulationen ebenfalls für den Zeitraum vom 8. bis 9. Juni ausge-

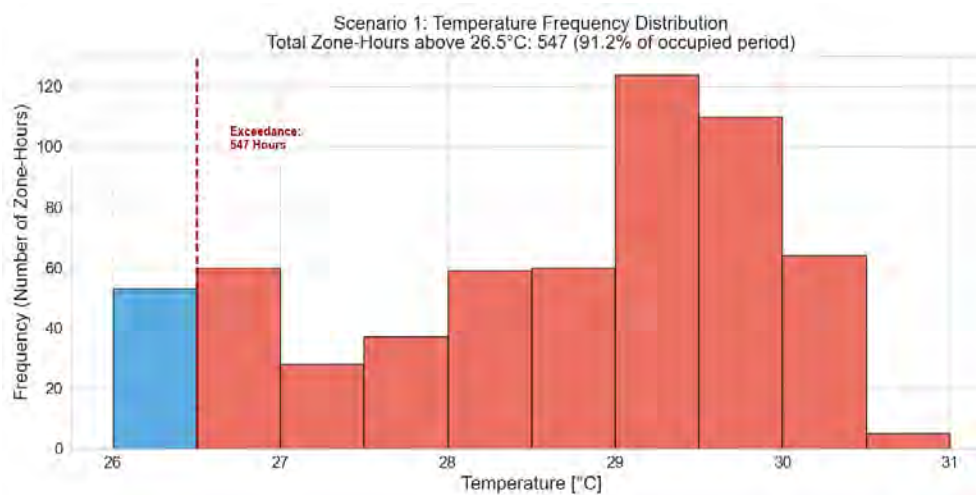
führt. Anschliessend wurden die thermischen Ergebnisse des 9. Juni während der belegten Stunden (08:00 bis 18:00 Uhr) ausgewertet.

Um sicherzustellen, dass sich das Gebäude im dynamischen thermischen Gleichgewicht befindet und aussagekräftige Tagesergebnisse erzielt werden, wurden in der Simulation Aufwärmäufe (Warm-Up Runs) von bis zu 25 Tagen durchgeführt.

5.3.1 Basisanalyse

Basissimulationen unter Klimabedingungen des Jahres 2035

Die Simulation der Kantonsschule Im Lee unter den projizierten Klimabedingungen des Jahres 2035 zeigt einen kritischen Überhitzungszustand. Basierend auf der Temperaturhäufigkeitsverteilung (siehe Abbildung 42) bietet das Gebäude während des Grossteils des Schultages keine komfortablen Innenraumbedingungen.



42 - Häufigkeitsverteilung der Zonenstunden für das 3. und 4. Obergeschoss des Gebäudes für Szenario 1 unter den Klimabedingungen des Jahres 2035 am 9. Juni von 08:00 bis 18:00 Uhr. Zonenstunden geben an, wie viele Stunden sich die thermische Zone (in diesem Fall, alle thermischen Zonen auf den Geschossen 3 und 4) innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls (°C-Klasse) während des simulierten Zeitraums befindet und liefern damit Hinweise auf die thermische Belastung und die Komfortbedingungen.

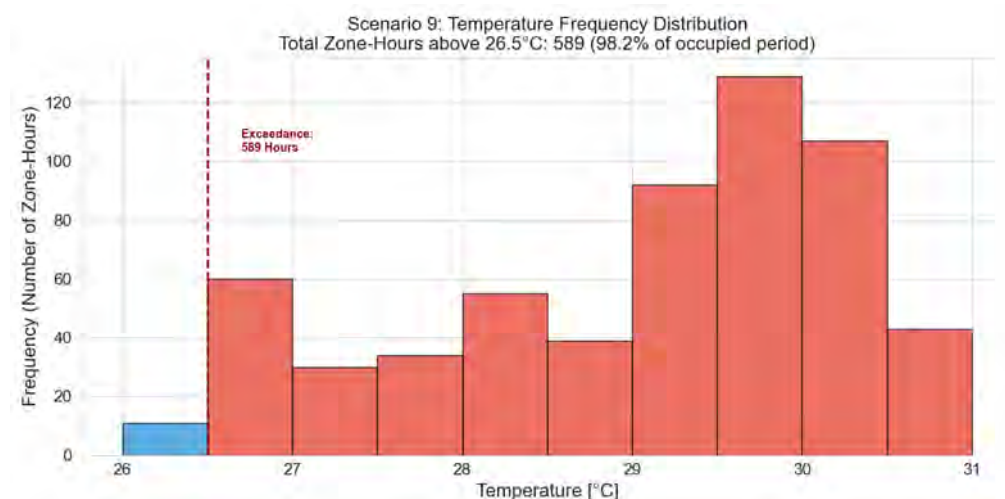
- Hohe Überschreitungsrage: Während der belegten Nutzungszeit (08:00 bis 18:00 Uhr) liegen die Innenraumtemperaturen für 91,2 % der gesamten Zonenstunden (547 Stunden über alle analysierten Zonen) oberhalb des Grenzwertes von 26,5 °C.
- Ausmass der Überhitzung: Die Daten zeigen, dass die Überhitzung keineswegs gering ist. Wie im Histogramm dargestellt, treten die häufigsten Temperaturen im Bereich zwischen 29,0 °C und 29,5 °C auf – nahezu 3 °C über der Komfortgrenze.

- **Temperaturspitzen:** Ein erheblicher Anteil der belegten Zeit liegt zwischen 29,5°C und 30,5°C, was darauf hinweist, dass ohne Gegenmassnahmen Temperaturen erreicht werden, die die kognitive Leistungsfähigkeit in den Unterrichtsräumen beeinträchtigen können.

Die stark nach rechts verschobene Verteilung in Richtung 30 °C unterstreicht den dringenden Bedarf an adaptiven Massnahmen – wie verbesserter Nachtlüftung oder optimierter solarer Verschattung –, um die Temperaturverteilung wieder in den komfortablen (blauen) Bereich unter 26,5 °C zu verschieben.

Basissimulationen unter Klimabedingungen des Jahres 2060

Wie erwartet zeigen die Simulationen unter den projizierten Klimabedingungen für das Jahr 2060 einen deutlich höheren Grad an Überhitzung im Vergleich zu 2035. Basierend auf der Temperaturhäufigkeitsverteilung (siehe Abbildung 43) bietet das Gebäude während der belegten Nutzungszeiten in keiner Zone ein komfortables Innenraumklima.



43 - Häufigkeitsverteilung der Zonenstunden für das 3. und 4. Obergeschoss des Gebäudes für Szenario 1 unter den Klimabedingungen des Jahres 2035 am 9. Juni von 08:00 bis 18:00 Uhr. Zonenstunden geben an, wie viele Stunden sich die thermische Zone (in diesem Fall, alle thermischen Zonen auf den Geschossen 3 und 4) innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls (°C-Klasse) während des simulierten Zeitraums befindet und liefern damit Hinweise auf die thermische Belastung und die Komfortbedingungen.

Häufigkeitsverteilung der Zonenstunden für das 3. und 4. Obergeschoss des Gebäudes für Szenario 1 unter den Klimabedingungen des Jahres 2060 am 9. Juni von 08:00 bis 18:00 Uhr. Zonenstunden geben an, wie viele Stunden sich die thermische Zone während des simulierten Zeitraums innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls (°C-Klasse) befindet und liefern damit Hinweise auf die thermische Belastung und die Komfortbedingungen.

- Weit verbreitete Grenzwertüberschreitungen: Während des Nutzungszeitraums von 08:00 bis 18:00 Uhr überschreiten die Innenraumtemperaturen den Grenzwert von 26,5 °C in 98,2 % der gesamten Zonenstunden, was 589 Stunden in den analysierten Gebäudebereichen entspricht.
- Ausmass der Überhitzung: Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die thermische Belastung erheblich und keineswegs gering ist. Die Häufigkeitsverteilung weist ein Maximum zwischen 29,5 °C und 30,0 °C auf und liegt damit durchgehend nahezu 3 °C über akzeptablen Komfortniveaus.
- Kritische Temperaturspitzen: Ein signifikanter Teil des Schultages entfällt auf Temperaturen zwischen 30,0 °C und 31,0 °C. Ohne Gegenmassnahmen ist zu erwarten, dass diese Extremwerte die kognitive Leistungsfähigkeit sowie das Wohlbefinden der Schüler deutlich beeinträchtigen.

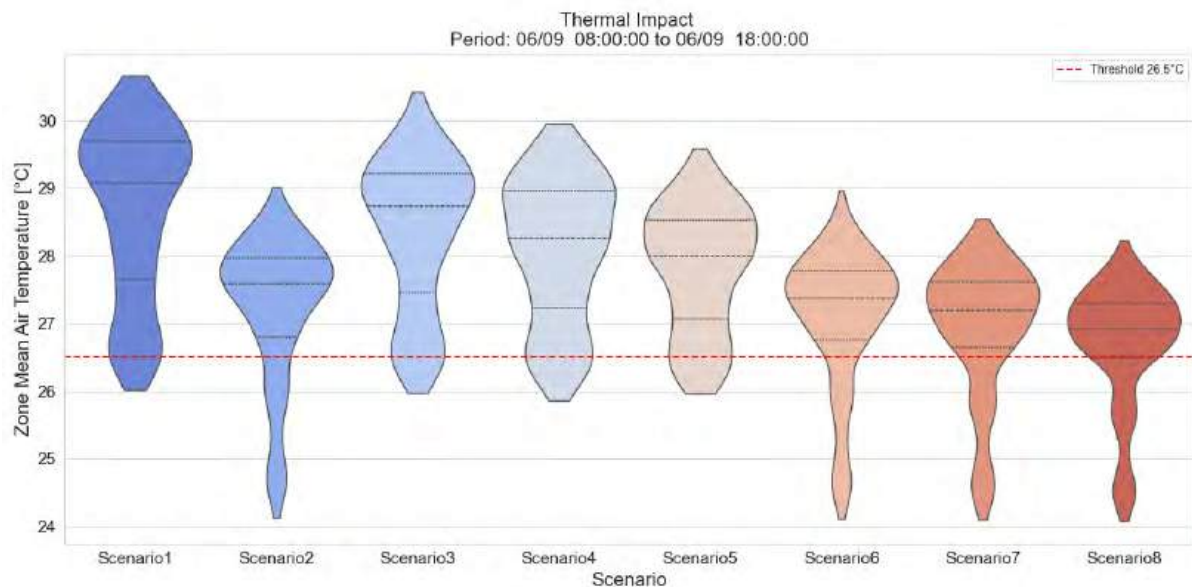
Die stark nach rechts verschobene Verteilung in Richtung 30 °C verdeutlicht den dringenden Bedarf an adaptiven Massnahmen – wie verbesserter Nachtlüftung oder optimierter solarer Verschattung –, um die Temperaturverteilung zurück in den komfortablen (blauen) Bereich unter 26,5 °C zu verlagern.

5.4 Bewertung der Auswirkungen

5.4.1 Szenario 1–8

Zur Bewertung der Wirksamkeit verschiedener passiver und betrieblicher Massnahmen wurden acht Szenarien unter den projizierten Klimabedingungen des Jahres 2035 simuliert. Diese Szenarien analysieren die individuellen sowie kombinierten Effekte von Nachtlüftung, verbesserten Verschattungsmaterialien und einer optimierten Verschattungssteuerung (automatisierte Verschattungslogik und Schwellenwert-Optimierung).

Der Violinen-Diagramm (Abbildung 44) zeigt die Verteilung der Lufttemperaturen über alle thermischen Zonen des Gebäudes (gesamte 3. und 4. Etage) während der Spitzenbelegungszeit von 08:00 bis 18:00 Uhr.

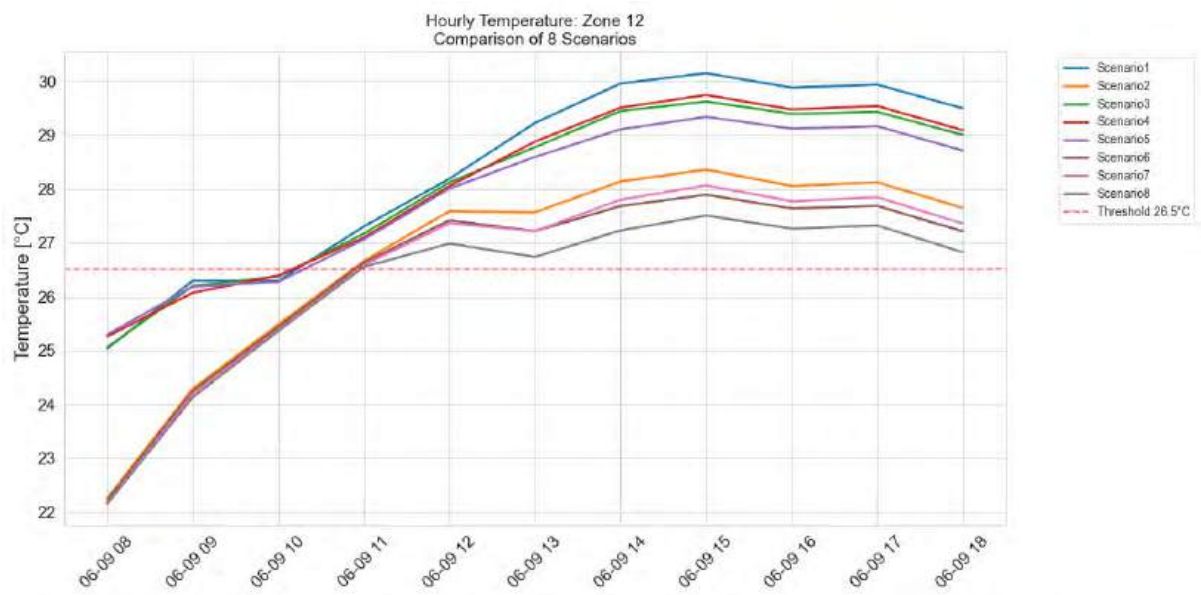


44 - Vergleichende thermische Wirkung der Minderungsmaßnahmen (2035) Die Szenarien 1–8 bewerten das Klimaszenario für das Jahr 2035, beginnend mit einem Baseline-Szenario (S1) sowie der jeweils separaten Anwendung von Nachtlüftung (S2), Verschattungsmaterialien (S3) und Regelstrategien (S4). Darauf aufbauend werden technische Kombinationen untersucht: Verschattungsmaterialien mit Regelstrategien (S5), Nachtlüftung mit Materialien (S6) sowie Nachtlüftung mit Regelstrategien (S7). Den Abschluss bildet eine vollständig integrierte Konfiguration aller drei Variablen (S8).

- Baseline-Performance (Szenario 1):
- Der „Status quo“ zeigt einen stark belasteten thermischen Zustand, wobei der Grossteil der Verteilung zwischen 28,5 °C und 30 °C liegt und damit deutlich über dem Grenzwert von 26,5 °C.
- Einfluss von Verschattungsmaterialien und Steuerungen (Szenario 3, 4, 5):
- Wenn sie isoliert eingesetzt werden, führen verbesserte Verschattungsmaterialien und optimierte Steuerungen nur zu einer geringen Reduktion der Spitzentemperaturen im Vergleich zum Basisszenario. Obwohl sie den solaren Wärmeeintrag reduzieren, zeigen die hohen Aussentemperaturen im Jahr 2035, dass Material- und Optimierungsoptimierungen allein nicht ausreichen, um das Überhitzungsproblem zu lösen. Eine Kombination aus verbesserten Materialien und Steuerungen hat hingegen einen deutlich stärkeren Effekt.
- Synergieeffekte der Nachtlüftung (Szenarien 2, 6, 7, 8):
- Sobald Nachtlüftung integriert wird, verschiebt sich die Temperaturverteilung klar erkennbar. Nachtlüftung wirkt als Haupttreiber zur Senkung der „Grundtemperatur“, sodass das Gebäude den Schultag mit einem deutlich niedrigeren Ausgangsniveau beginnt.
- Optimierter Zustand (Szenario 8):

- Der integrierte Ansatz erzielt die stabilste thermische Umgebung. Durch die Kombination aus wärmeabführender Nachtlüftung und solarer Blockierung durch verbesserte Verschattungsmaterialien sowie intelligente Steuerlogiken gelingt es Szenario 8, den Grossteil der Zonen-temperatur auf etwa 28 °C oder darunter zu begrenzen.

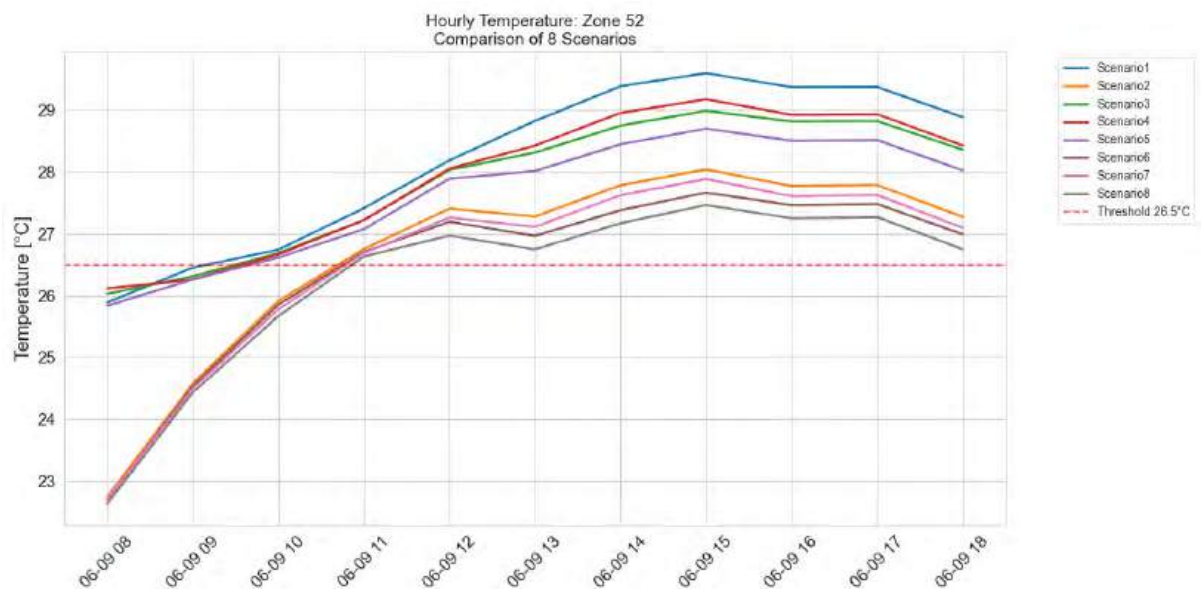
Die stündlichen Temperaturverläufe für das definierte kritische Eckbüro im obersten Geschoss (Thermal Zone 12) sowie das Mittelfeldbüro im 3. Obergeschoss (Thermal Zone 52) liefern eine detaillierte Darstellung der Leistungsfähigkeit der einzelnen Szenarien im Tagesverlauf unter den Klimabedingungen von 2035. Die Temperaturverläufe für Thermal Zone 12 und Thermal Zone 52 sind in Abbildung 45 bzw. Abbildung 46 dargestellt.



45 - Stündliche Temperaturverläufe für Zone 12 (2035)

Das auffälligste Merkmal dieser Diagramme ist die deutliche Einteilung der Szenarien in zwei Gruppen um 08:00 Uhr:

- High-Start-Gruppe (Szenarien 1, 3, 4, 5): Szenarien ohne Nachtlüftung beginnen den Tag bei ungefähr 26 °C. Da das Gebäude bereits warm in den Tag startet, überschreiten sie den Grenzwert von 26,5 °C bereits um 10:30 Uhr.
- Low-Start-Gruppe (Szenarien 2, 6, 7, 8): Szenarien mit Nachtlüftung starten deutlich kühler, bei etwa 21,5 °C bis 22,5 °C. Dieser um 4 °C niedrigere Ausgangspunkt ist der wirksamste Faktor zur Verzögerung des Auftretens von Überhitzung.



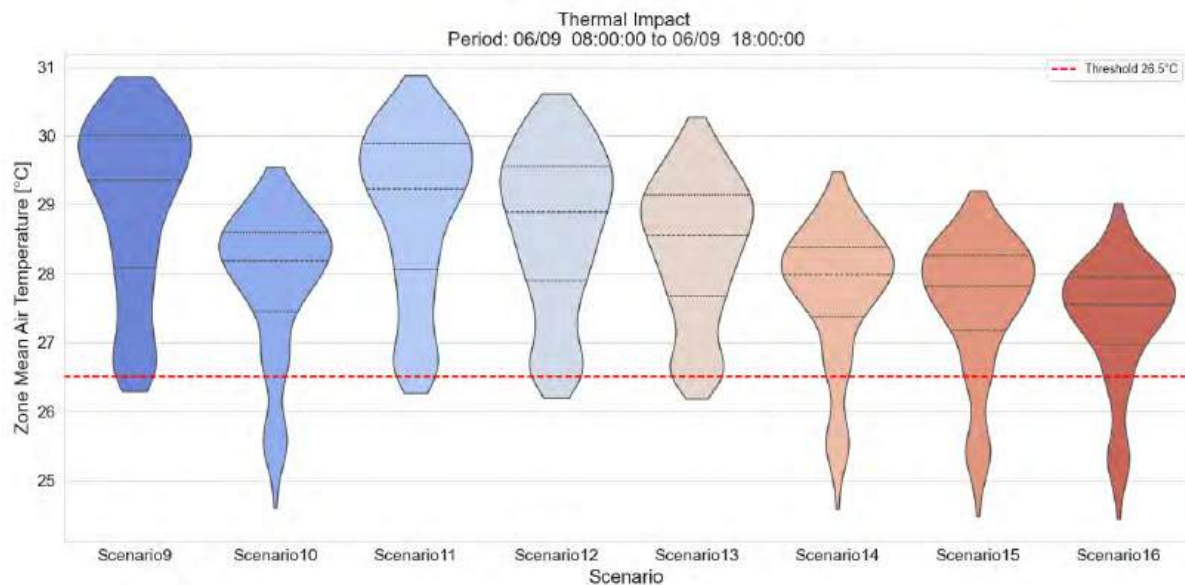
46 - Stündliche Temperaturverläufe für Zone 52 (2035)

Während die Nachtlüftung die Anfangstemperatur senkt, bestimmen die verbesserte Lüftung, die Verschattungsmaterialien und die Verschattungssteuerungen (am deutlichsten sichtbar in Szenario 8) die Steigung des Temperaturanstiegs im Tagesverlauf:

- Im Basisszenario (Szenario 1) steigt die Temperatur rasch an und erreicht gegen 15:00 Uhr nahezu 30 °C.
- In Szenario 8 führt die Kombination der Massnahmen nicht nur zu einem kühleren Tagesbeginn, sondern auch zu einer abgeflachten Temperaturkurve. In Zone 12 gelingt es Szenario 8, die Temperatur bis etwa 13:00 Uhr unter oder sehr nahe dem Grenzwert zu halten und den Spitzenwert auf rund 27,3 °C zu begrenzen – eine Reduktion um nahezu 2,7 °C im Vergleich zum Basisszenario.

5.4.2 Szenario 9–16

Um die Klimarobustheit für das Jahr 2060 zu bewerten, wurden acht zusätzliche Konfigurationen (Szenarien 9–16) modelliert, um die synergistischen Effekte von Nachtlüftung, hochleistungsfähigen Verschattungsmaterialien und optimierten Steuerstrategien zu untersuchen. Die resultierenden Temperaturverteilungen über alle Gebäudebereiche während des Nutzungszeitraums von 08:00 bis 18:00 Uhr sind im Violinen-Diagramm in Abbildung 47 dargestellt.



47 - Vergleichende thermische Wirkung der MinderungsMassnahmen (2060). Die Szenarien 9–16 bewerten das Klimaszenario für das Jahr 2060, beginnend mit einem Baseline-Szenario (S9) sowie der jeweils separaten Anwendung von Nachtlüftung (S10), Verschattungsmaterialien (S11) und Regelstrategien (S12). Die technischen Kombinationen umfassen Verschattungsmaterialien mit Regelstrategien (S13), Nachtlüftung in Kombination mit Materialien (S14) sowie Nachtlüftung mit Regelstrategien (S15). Den Abschluss bildet eine vollständig integrierte Konfiguration aller drei Variablen (S16).

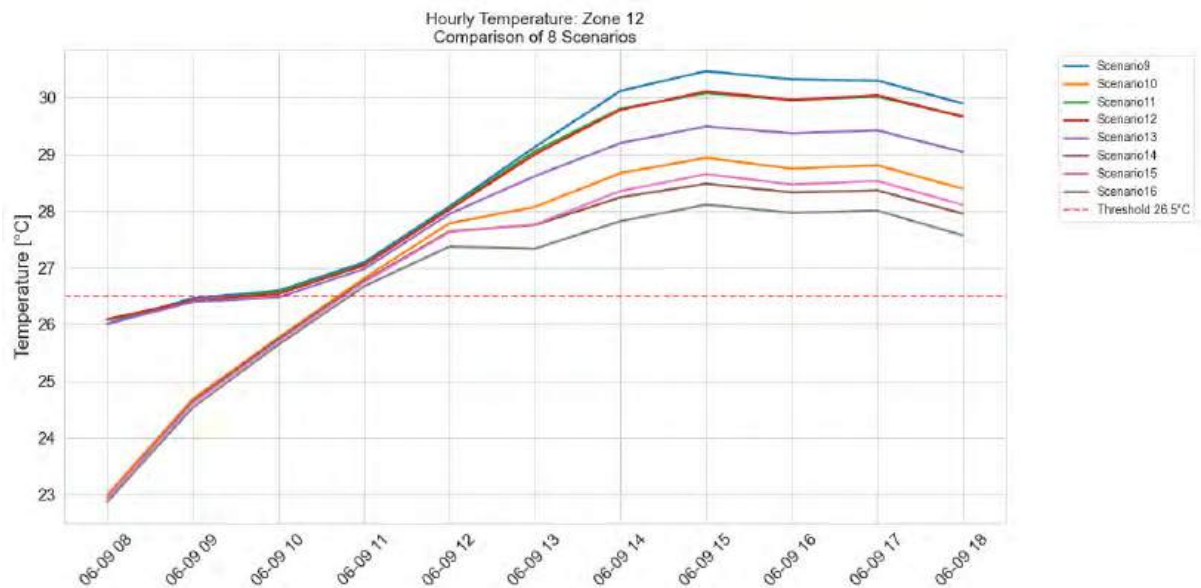
Die Simulationsergebnisse für das Jahr 2060 (Szenarien 9–16) verdeutlichen die extreme Belastung der thermischen Resilienz des Gebäudes. Unter diesen klimatischen Bedingungen werden die Wirksamkeit der Minderungsstrategien stark herausgefordert, wobei nahezu jede Konfiguration einen deutlich kritischen Zustand aufweist.

- Nahezu vollständige Grenzwertüberschreitung:
Der Status quo (Szenario 9) zeigt einen kritischen Zustand, bei dem die Temperaturen während 98,2 % der belegten Zonenstunden den Grenzwert von 26,5 °C überschreiten. Das Gebäude hält sich den gesamten Tag über im Bereich zwischen 29 °C und 30,8 °C.
- Nachtlüftung als primärer Hebel:
Passive Kühlung bleibt die wirksamste Einzelmassnahme. Szenarien, die Nachtlüftung nutzen (10, 14, 15, 16), zeigen eine deutliche Absenkung der Temperaturverteilung im Vergleich zu jenen, die ausschliesslich auf Verschattung setzen.
- Unzureichende Wirkung von Einzelmassnahmen:
Verbesserte Verschattungsmaterialien (Szenario 11) oder eine fortgeschrittene Steuerlogik (Szenario 12) sind allein nicht in der Lage, die thermischen Lasten des Jahres 2060 zu kompensieren. Ihre Verteilungen bleiben „kopflastig“, mit Medianwerten nahe 29 °C.

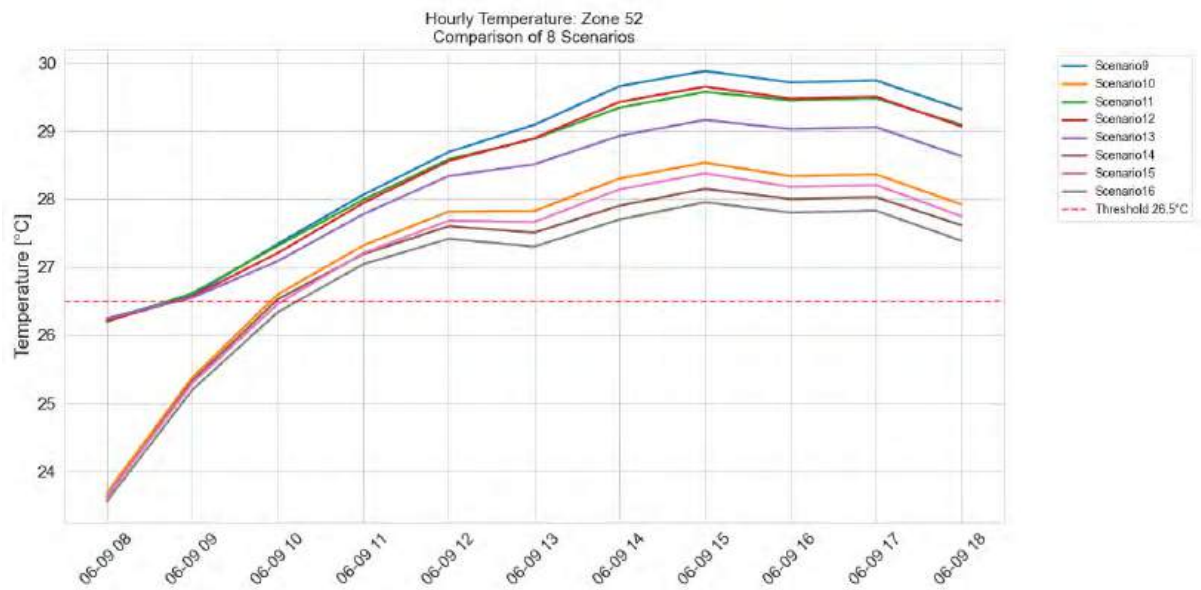
- Abnehmender Nutzen passiver Strategien:

Selbst der integrierte Ansatz (Szenario 16) hat Schwierigkeiten, akzeptable Komfortbedingungen aufrechtzuerhalten. Zwar begrenzt er die Spitzentemperaturen auf 29,0 °C (und verhindert so die Extremwerte von 31 °C in Szenario 9), doch bleibt der „thermische Kern“ des Gebäudes konstant oberhalb des Grenzwerts von 26,5 °C.

Die stündlichen Temperaturverläufe für das definierte kritische Eckbüro im obersten Geschoss (Thermal Zone 12) sowie das Mittelfeldbüro im 3. Obergeschoss (Thermal Zone 52) wurden ebenfalls unter den Klimabedingungen des Jahres 2060 dargestellt. Diese Temperaturverläufe für die Thermalzonen 12 und 52 sind in Abbildung 48 48 bzw. Abbildung 49 49 gezeigt.



48 - Stündliche Temperaturverläufe für Zone 12 (2060)



49 - Stündliche Temperaturverläufe für Zone 52 (2060)

Die thermischen Tagesprofile für das Jahr 2060 zeigen eine deutliche Aufwärtsverschiebung des temperaturbezogenen Ausgangsniveaus des Gebäudes, gekennzeichnet durch eine ‚Verengung‘ der Leistungsunterschiede zwischen den Szenarien:

- **Gruppenbildung um 08:00 Uhr:**
Die Wirkung der Nachtlüftung bleibt der wichtigste Differenzierungsfaktor. Die Szenarien 10, 14, 15 und 16 (mit nächtlicher Abkühlung) starten den Tag bei etwa 23,5 °C, während die übrigen Szenarien bei warmen 26,2 °C beginnen.
Dieser „Vorsprung“ ist jedoch weniger wirksam als im Jahr 2035:
Die kühlere Gruppe überschreitet den Grenzwert von 26,5 °C bereits um 11:00 Uhr im Eckbüro (Thermal Zone 12) und um 09:00 Uhr im Mittelfeldbüro (Thermal Zone 52), was auf höhere nächtliche Aussentemperaturen zurückzuführen ist.
- **Abflachung der Spitzen:**
Während das Basisszenario (Szenario 9) rasch auf einen Höchstwert von 29,8 °C (Thermal Zone 52) ansteigt, gelingt es den integrierten Massnahmen in Szenario 16, das nachmittägliche Temperaturplateau deutlich abzuflachen.
Diese Kombination aus Verschattung und optimierter Steuerlogik verhindert das Eindringen in den kritischen Bereich von 30 °C und begrenzt die maximale Temperatur auf ~27,9 °C.
- **Systemische Verschiebung:**
Im Gegensatz zu den Profilen von 2035, in denen einige Szenarien noch nahe am Grenz-

wert blieben, zeigen die Daten für 2060, dass der Grenzwert von 26,5 °C sich von einem Maximalziel zu einem quasi allgemeinen Ausgangsniveau entwickelt hat.

Nur der vollintegrierte Ansatz (Szenario 16) erreicht eine spürbare Reduktion der thermischen Belastung und verringert die Spitzenwerte um 2,0 °C im Vergleich zum Basisszenario.

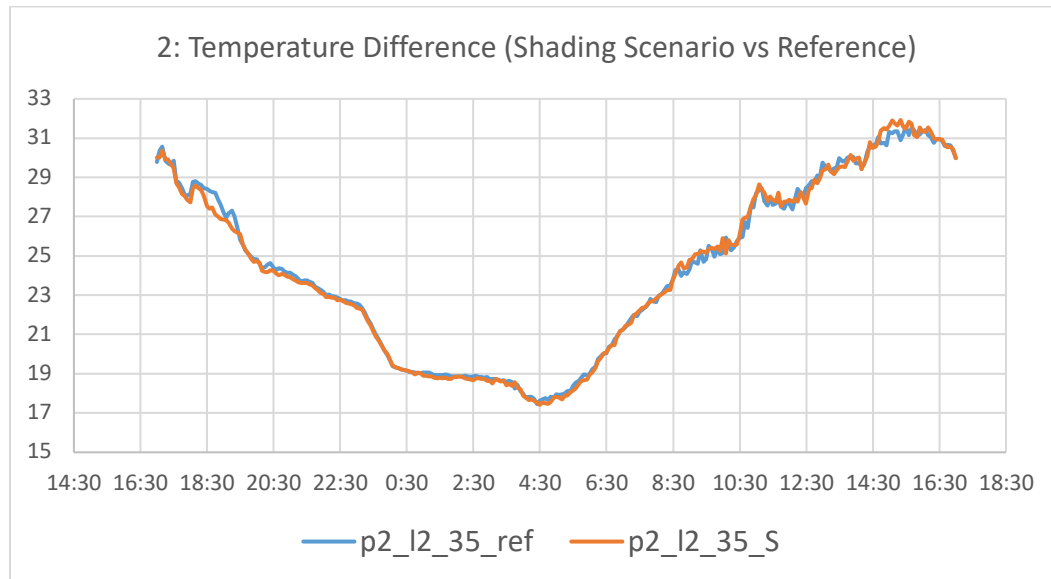
5.4.3 Auswirkungen von Massnahmen im Aussenbereich

Die Ergebnisse der CFD-Analyse wurden untersucht, um den Einfluss aussenliegender Verschattungselemente auf die Temperaturentwicklung auf Gebäudeebene zu bewerten. Wie in Abbildung 50 dargestellt, wurden drei Knotenpunkte ausgewählt, um Daten aus dem CFD-Modell zu extrahieren. Diese Knoten ermöglichen den Vergleich von Temperaturveränderungen auf Höhe des vierten Obergeschosses und veranschaulichen den Einfluss der Aussenverschattung, indem die Simulationsergebnisse mit und ohne Verschattungselemente gegenübergestellt werden.

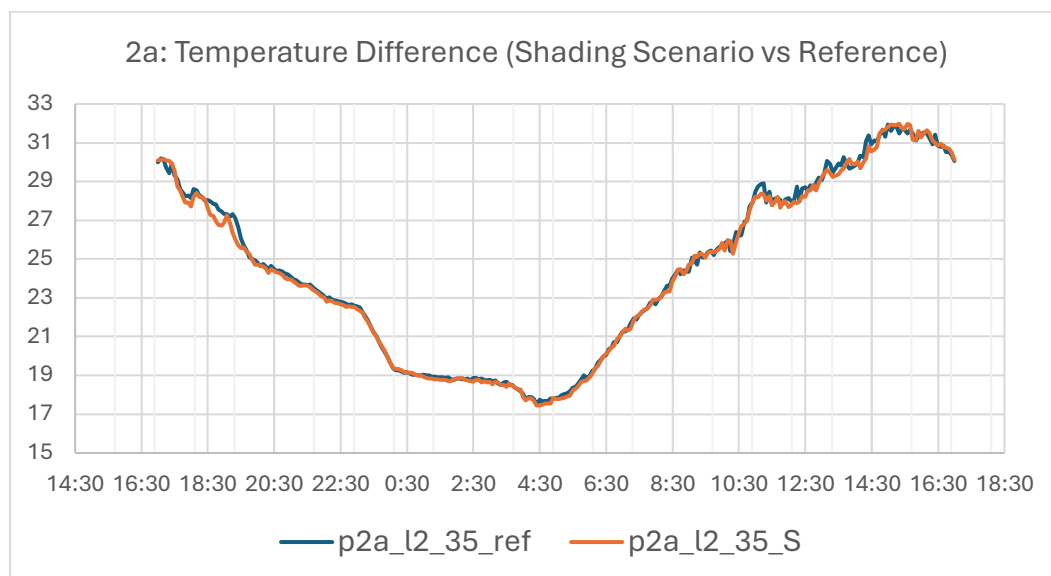


50 - In der CFD-Analyse definierte Knotenpunkte zur Messung des Einflusses der Aussenverschattung auf die Lufttemperatur.

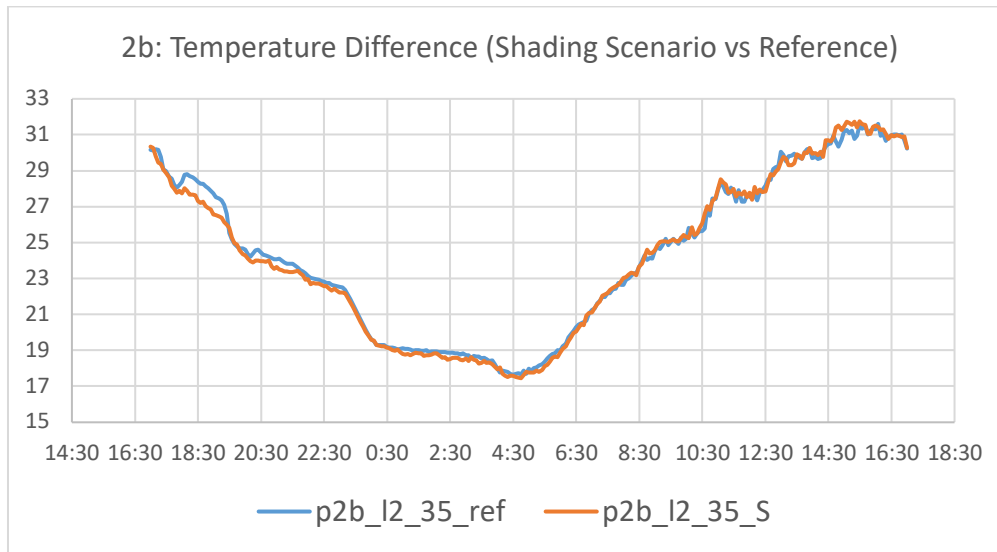
In den Abbildungen 51, 52 und 53 werden die Temperaturverläufe zwischen 17:00 Uhr am 8. Juni und 17:00 Uhr am 9. Juni dargestellt, um den Einfluss der Verschattung auf die Temperatur im Bereich des vierten Obergeschosses zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen dem Referenzszenario und dem Verschattungsszenario besteht.



51 - Temperaturdifferenz Verschattungsszenario vs. Referenz am Knoten 2.



52 - Temperaturdifferenz Verschattungsszenario vs. Referenz am Knoten 2a.



53 - Temperaturdifferenz Verschattungsszenario vs. Referenz am Knoten 2b.

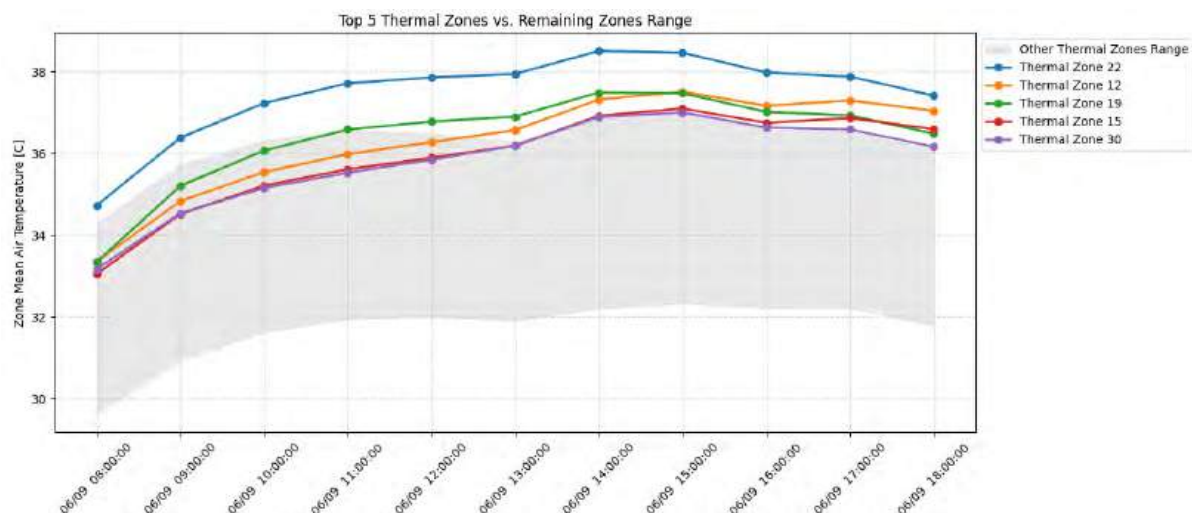
Die Ergebnisse der Literaturanalyse zeigen, dass die Bewässerung bzw. Befeuchtung des Bodens in urbanen Räumen in niedrigen Höhenbereichen wirksam sein kann, ihre Wirkung jedoch ab Höhen über 3 m deutlich nachlässt (Cheung et al., 2022; Ulpiani et al., 2019).

5.4.4 Identifikation kritischer Zonen

Vor der Durchführung der ersten Simulationen wurden das Eckbüro (Zone 12) und das Mittelbüro (Zone 52), wie in Abbildung 40 dargestellt, als kritische Zonen identifiziert. Zone 12 wurde aufgrund ihrer Konfiguration als Eckbüro ausgewählt, während Zone 52 herangezogen wurde, um den Einfluss von Begrünung und Verschattung auf die angrenzende Terrasse zu untersuchen. Ergebnisse aus der CFD-Analyse sowie eine Durchsicht der einschlägigen Literatur zeigten jedoch, dass diese spezifischen Massnahmen nur einen geringen Einfluss auf den thermischen Komfort im Innenraum haben. Folglich wurde in diesem Abschnitt eine parametrische Analyse durchgeführt, um zu bestimmen, welche Zonen tatsächlich als kritisch einzustufen sind.

Abbildung 54 veranschaulicht die Lufttemperaturverläufe der fünf kritischsten Zonen des Gebäudes unter Szenario 0 (bei dem keine Verschattungs- oder Lüftungsstrategien implementiert sind). Die graue Wolke repräsentiert den Temperaturbereich der übrigen Zonen. Diese Simulation wurde durchgeführt, um zu beobachten, wie sich die Temperaturen ohne Eingriffe verändern, und um die besonders vulnerablen Bereiche besser zu identifizieren. Nach Anwendung der Strategien kann sich die Kritikalität dieser Zonen in Abhängigkeit von ihren spezifischen architektonischen Eigenschaften verschieben. So erhalten südorientierte Eckbüros zwar die höchste solare Ein-

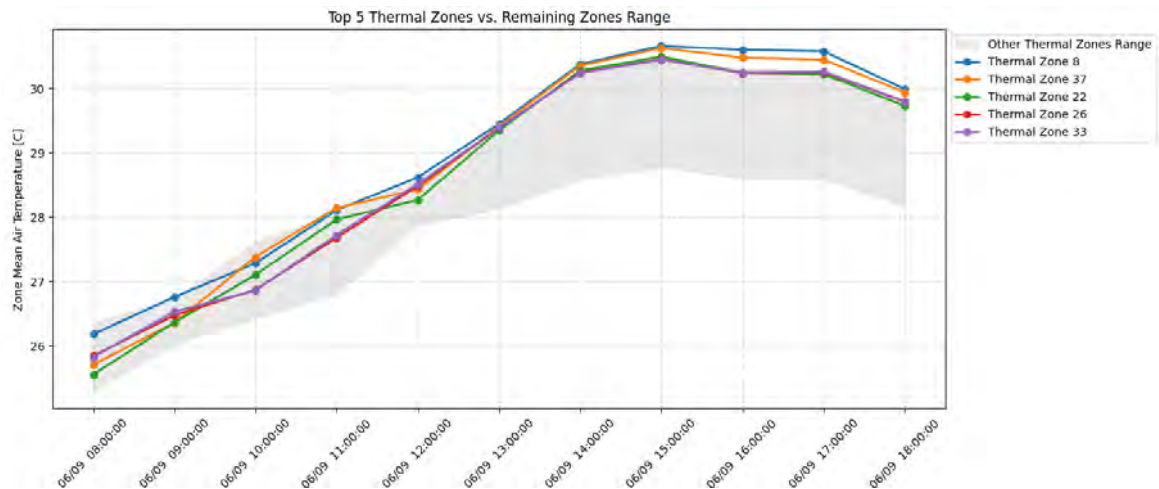
strahlung, profitieren jedoch zugleich von Querlüftung; aufgrund von Fenstern in mehreren Orientierungen können sie Wärme effizienter abführen als andere Zonen. (Zur besseren Visualisierung sind die Zonen in Abbildung 54 56 dargestellt.)



54 - Thermische Kritikalität der Zonen im Szenario 0 (ohne umgesetzte Verschattungs- oder Lüftungsmassnahmen).

Abbildung 55 veranschaulicht die Lufttemperaturverläufe der Zonen unter Szenario 1, das in dieser Studie als Baseline (Status quo) dient. In diesem Szenario wird eine automatisierte Verschattung aktiviert, sobald die Temperaturen 26,5 °C überschreiten und die solare Einstrahlung 200 W/m² erreicht; ergänzt wird dies durch tageszeitabhängige Lüftungsstrategien, die ebenfalls oberhalb von 26,5 °C wirksam werden. Die Umsetzung dieser Massnahmen führt zu einer deutlichen Reduktion der Spitzentemperaturen in allen Zonen. Besonders hervorzuheben ist, dass die thermischen Unterschiede zwischen Eckbüros und Standardbüros deutlich verringert werden. Die Eckbüros profitieren dabei überproportional von diesen Strategien, da die Verschattung ihre hohe solare Belastung reduziert, während ihre Geometrie eine effizientere Lüftung ermöglicht.

Eine zentrale Beobachtung in diesem Szenario betrifft das thermische Verhalten der Korridore. Aufgrund ihrer langgestreckten Geometrie und ihres höheren Formfaktors neigen diese Bereiche dazu, Wärme zu speichern; entsprechend weisen sie im Vergleich zu den primären thermischen Zonen eine verzögerte nächtliche Abkühlung auf. Insgesamt wird die Temperaturdifferenz zwischen den kritischsten Zonen und dem Gebäudemittelwert (dargestellt durch den grauen Bereich) während der Spitzenzeiten auf etwa 2 °C reduziert.

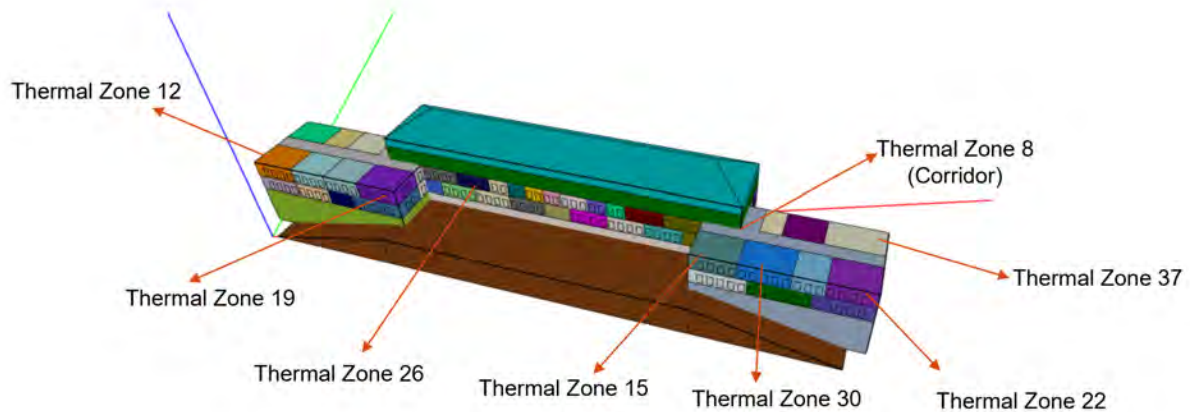


55 - Thermische Kritikalität der Zonen unter Szenario 1 (keine implementierten Verschattungs- oder Lüftungsstrategien).

Abbildung 5656 veranschaulicht die räumliche Verteilung der identifizierten kritischen Zonen innerhalb des 3D-Gebäudemodells. Die Kartierung hebt fünf primäre Problembereiche hervor: die thermischen Zonen 12, 15, 19, 22 und 30, die unter Szenario 0 als kritisch eingestuft wurden. Wie im Modell ersichtlich, handelt es sich dabei überwiegend um Eck- und Randbüros.

Die südorientierten Eckbüros (insbesondere Zone 12 und Zone 22) erweisen sich als die kritischsten Bereiche, mit maximalen Innenraumtemperaturen von bis zu 38,5 °C. Diese hohe Kritikalität ist auf ihre starke solare Exposition über mehrere Fassaden zurückzuführen. Gleichzeitig verfügen diese Zonen jedoch über das grösste Potenzial zur Wärmereduktion durch Querlüftungsstrategien, da ihre mehrfach orientierten Fensterkonfigurationen eine besonders effektive Wärmeabfuhr ermöglichen.

Darüber hinaus wird unter Szenario 1 der thermische Unterschied zwischen den thermisch unterschiedlichsten Bereichen des Gebäudes deutlich reduziert. Wie in Abbildung 55 dargestellt wird in allen identifizierten kritischen Bereichen ein hohes Mass an thermischer Stabilisierung erreicht. Besonders hervorzuheben ist, dass die Performance der südorientierten Randbüros nun eng mit jener des Mittelbüros (Thermische Zone 26), des Korridors (Thermische Zone 8) und der nordöstlichen Ecke (Thermische Zone 37) übereinstimmt. Trotz ihrer unterschiedlichen Orientierungen und ihrer variierenden wärmespeichernden Eigenschaften führt die koordinierte Umsetzung von Verschattungs- und Lüftungsmassnahmen zu einer effektiven „Standardisierung“ des thermischen Verhaltens dieser kritischen Zonen, sodass sie in einen nahezu identischen und besser beherrschbaren Temperaturbereich überführt werden.



56 - 3D-Kartierung der identifizierten kritischen Zonen innerhalb des Gebäudemodells.

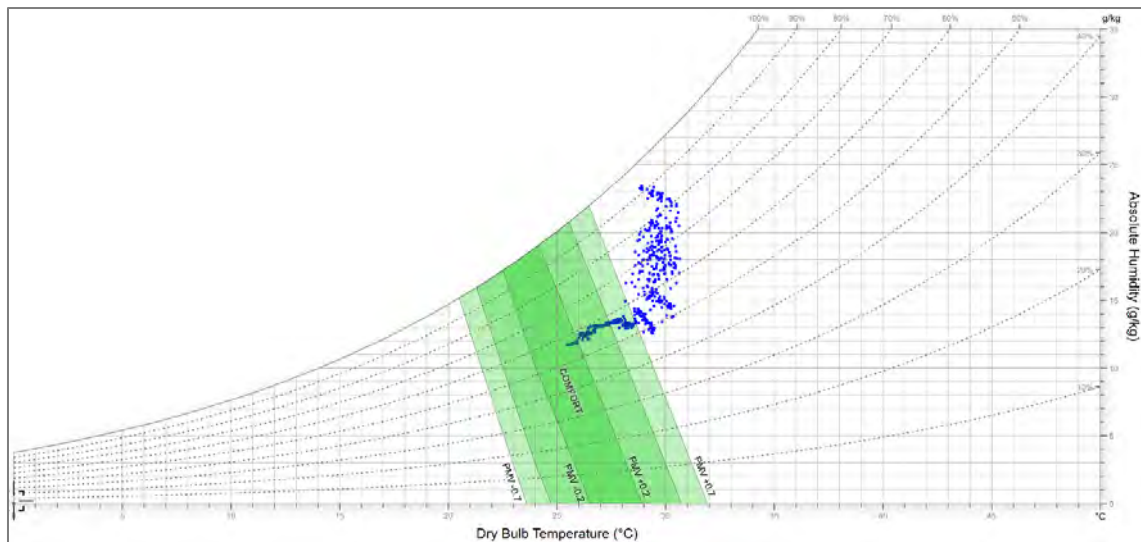
5.4.5 Einfluss der Massnahmen auf den thermischen Komfort

Zur Bewertung des Einflusses der implementierten Massnahmen auf den Innenraumkomfort wurde ein psychrometrisches Diagramm auf Grundlage der EN 15251 erstellt. In den vorherigen Abschnitten wurde dabei ein strengerer Grenzwert von 26,5 °C angesetzt. Für die Analyse wurden der Baseline-Fall und Szenario 8 für Simulationen unter Klimabedingungen der Jahre 2035 und 2060 miteinander verglichen. Der Bekleidungsgrad wurde mit 0,5 clo angesetzt, entsprechend einem kurzen Rock, T-Shirt und Sandalen, während die metabolische Rate mit 1,0 met gewählt wurde, was einer sitzenden, überwiegend ruhenden Tätigkeit entspricht. Die mittlere Strahlungstemperatur wurde den Simulationsergebnissen entnommen; auf dieser Grundlage wurden die Abbildungen 57, 58, 59, 60 erstellt.

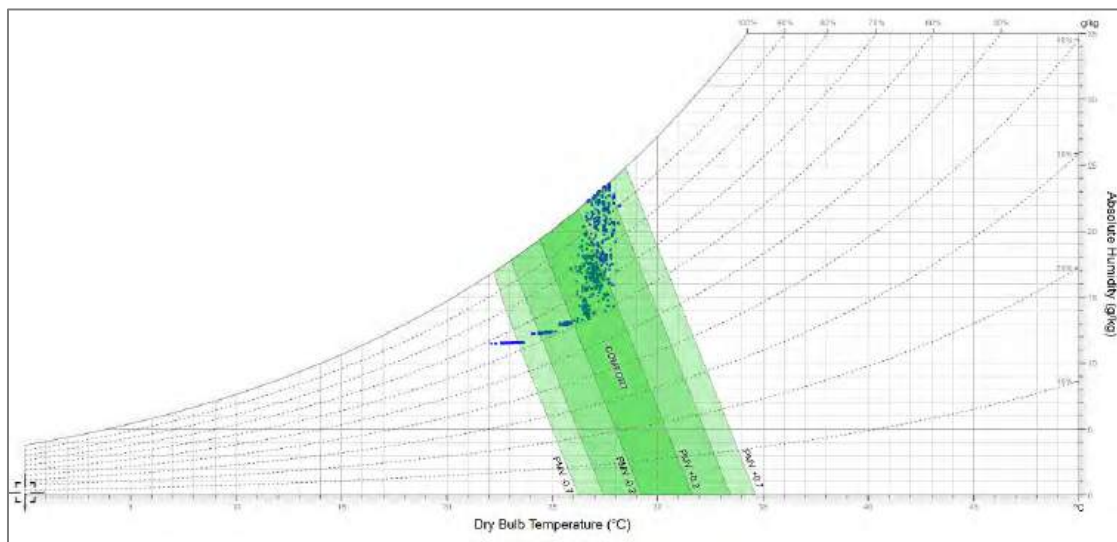
Wie in Abbildungen 57 und 59 dargestellt, erfüllt das Gebäude unter Szenario 1 (Baseline) die Komfortkriterien unter den Klimabedingungen von 2035 und 2060 im Allgemeinen nicht. Mit der Umsetzung der vorgeschlagenen passiven Massnahmen (Szenario 8) hingegen erfüllt das Gebäude die Komfortkriterien vollständig unter den Bedingungen von 2035 und weitgehend unter jenen von 2060. Da der simulierte Tag (9. Juni) den heissesten Tag innerhalb des Schulbetriebszeitraums repräsentiert, kann er als ein nahezu Worst-Case-Szenario für die Bewertung des thermischen Innenraumkomforts unter Belegungsbedingungen betrachtet werden.

Vor diesem Hintergrund ist es realistisch anzunehmen, dass das Gebäude während des Grossteils des Schuljahres die in der EN 15251 definierten thermischen Komfortkriterien einhält. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Aussentemperaturen und die damit verbundenen thermi-

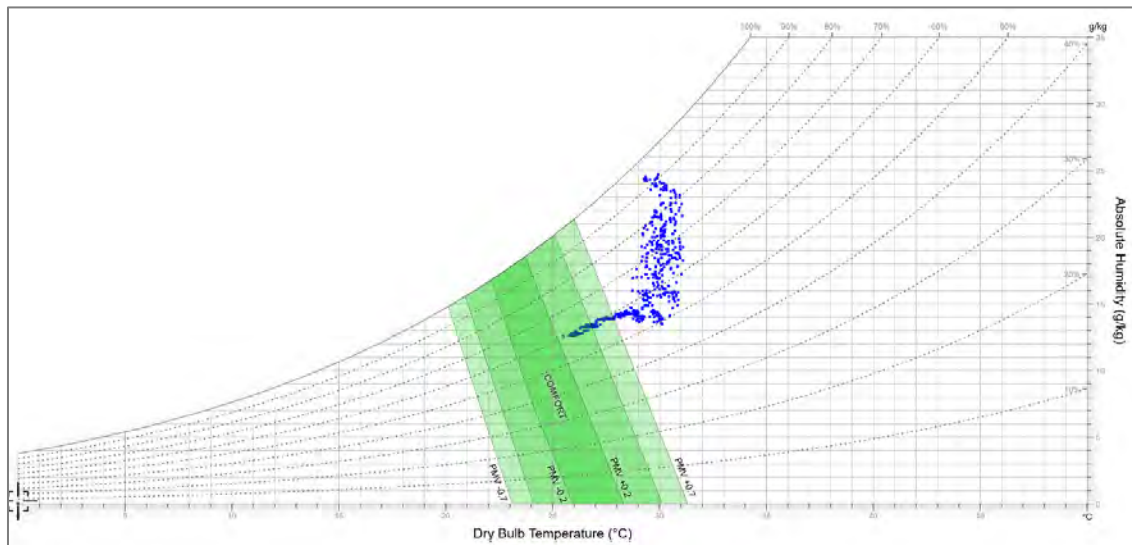
schen Lasten im Normalbetrieb in der Regel deutlich unter denen dieses Spitzentages liegen, was zu verbesserten Innenraumkomfortbedingungen während des überwiegenden Teils der Nutzung führt.



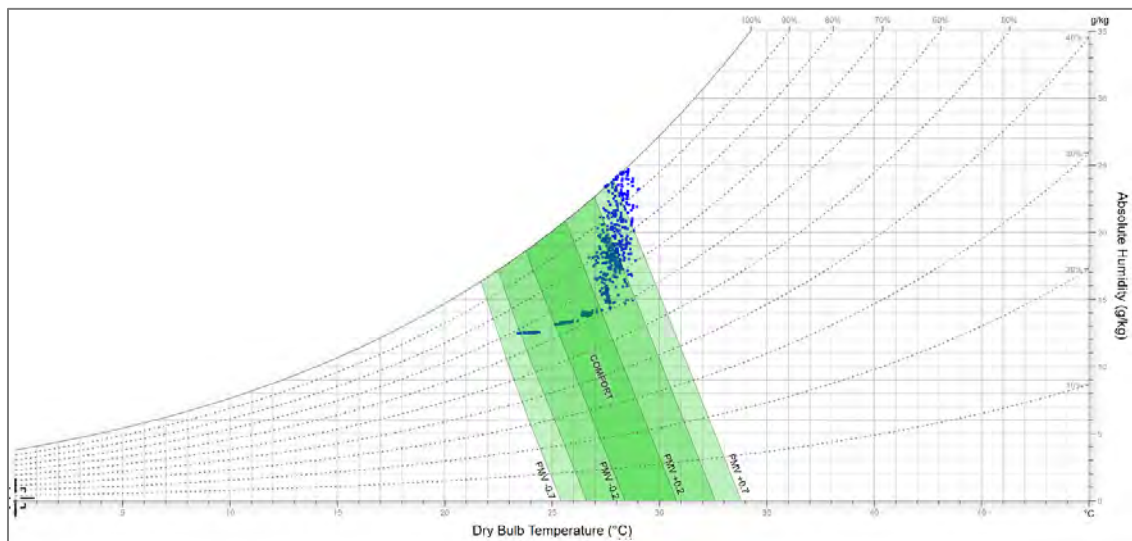
57 - Psychrometrisches Diagramm für Szenario 1 (Basisszenario) unter Klimabedingungen des Jahres 2035. (Das zentrale Band repräsentiert den neutralen Zielbereich ($PMV \pm 0,2$), während die äußeren Grenzen den akzeptablen Komfortbereich ($PMV \pm 0,5$) kennzeichnen.)



58 - Psychrometrisches Diagramm für Szenario 8 (alle Massnahmen) unter Klimabedingungen des Jahres 2035. (Das zentrale Band repräsentiert den neutralen Zielbereich ($PMV \pm 0,2$), während die äußeren Grenzen den akzeptablen Komfortbereich ($PMV \pm 0,5$) kennzeichnen.)



59 - Psychrometrisches Diagramm für Szenario 9 (Basisszenario) unter Klimabedingungen des Jahres 2060. (Das zentrale Band repräsentiert den neutralen Zielbereich ($PMV \pm 0,2$), während die äußeren Grenzen den akzeptablen Komfortbereich ($PMV \pm 0,5$) kennzeichnen.)



60 - Psychrometrisches Diagramm für Szenario 16 (alle Massnahmen) unter Klimabedingungen des Jahres 2060. (Das zentrale Band repräsentiert den neutralen Zielbereich ($PMV \pm 0,2$), während die äußeren Grenzen den akzeptablen Komfortbereich ($PMV \pm 0,5$) kennzeichnen.)

5.5 Empfehlungen und Schlussfolgerungen

5.5.1 Schlussfolgerungen

- Über alle Zeithorizonte hinweg erwies sich die Nachtlüftung als die wirkungsvollste Massnahme. Durch die Absenkung der Anfangstemperatur des Gebäudes um 3 °C bis 4 °C zu Beginn der Nutzungszeit (08:00 Uhr) bietet die Nachtlüftung einen essenziellen thermischen Puffer, der die Überschreitung des Grenzwerts um mehrere Stunden verzögert.
- Die Studie bestätigt, dass einzelne passive Massnahmen, wie verbesserte Verschattungsmaterialien oder fortgeschrittene Steuerungslogiken, bei isoliertem Einsatz ineffizient sind, insbesondere im Szenario 2060.
- Im Jahr 2060 stossen passive Strategien zunehmend an ihre Wirksamkeitsgrenzen. Obwohl der integrierte Ansatz die Spitzentemperaturen um 2,5 °C reduzieren kann, begrenzen steigende nächtliche Aussentemperaturen das Potenzial der Nachtlüftung deutlich.
- Der Einfluss von Aussenmassnahmen, wie Terrassenbewässerung oder Aussenverschattung, wurde ebenfalls berücksichtigt.

Laut Literatur nimmt die kühlende Wirkung von Bewässerung oberhalb von 3 m Höhe stark ab, und die CFD-Analyse zeigt, dass die Wirkung von Aussenverschattung im Massstab des gesamten Gebäudes minimal ist.

5.5.2 Empfehlungen

- Höchste Priorität sollte die Implementierung einer automatisierten Nachtlüftung haben. Automatisierte Fensteröffnungsmechanismen oder mechanische Nachtspüllüftung stellen die kosteneffizienteste Methode dar, um die thermische Speichermasse des Gebäudes täglich zurückzusetzen. Als erster Praxistest kann auch eine manuelle nächtliche Fensteröffnung verwendet werden, um die erwartete Wirkung zu verifizieren.
- Für das Jahr 2060 können passive Massnahmen allein kein komfortables Lernumfeld garantieren. Hybridsysteme, bei denen passive Massnahmen den Grossteil der Last übernehmen und minimale mechanische Kühlung oder Ventilatoren die letzten 1,5 °C – 2,0 °C der Überschreitung kompensieren, sind erforderlich.
- Einsatz einer automatisierten Verschattungssteuerung, die während der sommerlichen Spitzenmonate Wärmeabweisung gegenüber Tageslichtnutzung priorisiert. Dies verhindert die starken Temperaturanstiege, die in den nachmittäglichen Spitzen beobachtet wurden.

6 Synthese

6.1 Wirkung der untersuchten Massnahmen auf Mikroklima und Aufenthaltsqualität

Die wissenschaftlichen Grundlagen zeigen deutlich, dass Hitze zu den zentralen Belastungsfaktoren für Kinder und Jugendliche gehört und sowohl Konzentration, Leistungsfähigkeit als auch das Wohlbefinden erheblich beeinträchtigt. Vor diesem Hintergrund entfalten die untersuchten Massnahmen insbesondere Entsiegelung, Begrünung, Verschattung und vegetationsbasierte Kühlung eine unmittelbare Wirkung auf das Mikroklima der Schulareale. Entsiegelte und begrünte Flächen verbessern den lokalen Wasserhaushalt und fördern Verdunstungskühlung, wodurch die Strahlungstemperaturen deutlich sinken. Beschattungssysteme baulich oder durch Vegetation, reduzieren die thermische Belastung und schaffen Orte, die auch an heissen Tagen nutzbar bleiben. Die Forschung bestätigt, dass bereits moderate Temperaturreduktionen im Aussenraum die kognitive Leistungsfähigkeit verbessern, Hitzestress reduzieren und soziale Interaktionen stabilisieren. Besonders wirksam sind Kombinationen aus baulicher Beschattung und Vegetationsstrukturen, da sie sowohl Strahlung als auch Oberflächentemperaturen senken. Im Projektkontext zeigt sich: Massnahmen, die Schatten, Kühlung und Aufenthaltsqualität gleichzeitig erhöhen, haben den grössten Einfluss auf das Wohlbefinden der Schüler:innen sowie auf die Nutzbarkeit der Aussenräume während Pausen und Freistunden. Die untersuchten Massnahmenpakete wirken somit direkt auf die Lernumgebung ein und leisten einen messbaren Beitrag zur Reduktion hitzebedingter Belastungen. Durch die Kombination von baulichen und vegetativen Elementen entsteht ein mikroklimatisch resilienter Freiraum, der den schulischen Alltag nachhaltig verbessert.

Die beiden Module B und C befassen sich beide mit dieser mikroklimatischen Bewertung des Projektareals, unterscheiden und ergänzen sich aber in ihren methodischen Ansätzen. In Modul B werden die Auswirkungen der Massnahmen auf das lokale Klima analysiert. Ziel dabei ist es, anhand numerischer Simulationen aufzuzeigen, in welchem Ausmass Begrünung, Entsiegelung, Beschattung und Wasserflächen die thermische Belastung auf einem Schulareal reduzieren können. Dabei wird PALM eingesetzt, das als Large-Eddy-Simulationsmodell insbesondere turbulente Prozesse, Strahlungsbilanz und lokale Durchmischung realitätsnah abbildet. Die Simulationen vergleichen jeweils den heutigen Bestand mit einem Szenario, in dem sämtliche vorgesehenen Massnahmen umgesetzt wurden. Die Ergebnisse sind wurden auf für die Aufenthaltsqualität relevante Effekte untersucht, etwa lokale PET-Reduktionen von bis zu 20 °C oder einer deutli-

chen Zunahme von Flächen mit moderater Wärmebelastung, welche sich erst durch die Realisierung der Massnahmen als Aufenthaltsflächen während Hitzetagen eignen. Insgesamt vermittelt Modul B die Wirksamkeit des kompletten Massnahmenpakets und betont insbesondere die Bedeutung von Beschattung und wachsender Vegetation für die Aufenthaltsqualität, während Windveränderungen als eher lokal und von untergeordneter Bedeutung eingeschätzt werden. Demgegenüber begründet Modul B die systematische Methodik zur mikroklimatischen Analyse im Planungsprozess, also stärker nutzungsbezogen. Im Zentrum steht die vergleichende Bewertung unterschiedlicher Varianten unter identischen Randbedingungen, um relative Unterschiede in PET und Windgeschwindigkeit herauszuarbeiten. Grundlage bildet eine BIM-basierte Quartierklimamodellierung, bei der das Projekt in ein konsistentes digitales Modell überführt und die Vegetation und deren Wachstum beschrieben werden. Wegen dem geringeren Rechenaufwand werden im Unterschied zum Modul B die Massnahmen nicht nur gebündelt betrachtet, sondern in einzelne Pakete gegliedert und sowohl separat als auch in Kombination simuliert. Dadurch lassen sich Einzelwirkungen, Synergien und potenzielle Konflikte analysieren.

Die beiden Module B und C zeigen übereinstimmend, dass die Massnahmenpakete das Mikroklima auf dem Areal deutlich verbessern und dass die Wirkung mit zunehmender Vegetationsentwicklung bis 2060 weiter zunimmt. Besonders wirksam sind Vegetation, Entsiegelung und Wasserflächen, die sowohl durch PALM als auch QKM als zentrale Kühlmechanismen identifiziert werden und generell zu einer Reduktion von PET, Luft- und Oberflächentemperatur führen. Dabei ist zusätzliche Vegetation grundsätzlich kühlwirksam, der Effekt hängt jedoch vom lokalen Kontext ab. Insbesondere Wechselwirkungen mit der Luftströmung können dazu führen, dass PET-Vorteile geringer ausfallen oder sich lokal sogar verschlechtern, wenn die Durchlüftung beeinträchtigt wird. Aus den Simulationen von Modul C werden daher planerische Empfehlungen abgeleitet, etwa die Priorisierung von Hitze-Hotspots, die Bedeutung verlässlicher Beschattung auf Aufenthaltsflächen oder die Notwendigkeit, Windeffekte und langfristige Vegetationsentwicklung frühzeitig mitzudenken. Es lässt sich zusammenfassen, dass die beiden Module sich inhaltlich ergänzen und zu einem konsistenten Bild führen. Im Modul C werden methodisch die Auswirkungen der einzelnen Massnahmenpakete analysiert und für zukünftige Planungsentscheidungen nutzbar zu machen, konkrete Empfehlungen dazu finden sich im Kapitel 1.2. Jedoch erst durch die unabhängigen bestätigenden Ergebnisse im Modul B ergibt sich der konkrete Wirkungsnachweis.

1.1 Beitrag zur Biodiversität und ökologischen Aufwertung

Die beiden Schulareale liegen in einem gewissermassen Hitzebelastenden Siedlungsraum und zugleich im Einflussbereich des übergeordneten Kaltluftsystems der Stadt Winterthur. Diese doppelte Funktion einerseits als lokale Hitzeinseln, andererseits als Teil eines städtischen Durchlüftungsnetzes prägt die Ausgangslage für ökologische Aufwertungsmassnahmen. Jede Intervention muss daher sowohl mikroklimatische als auch ökologische Wirkungen entfalten können.

Die Analyse des Ist-Zustands zeigt, dass beide Areale derzeit nur geringe ökologische Qualitäten aufweisen. Strukturelle Defizite – darunter fehlende Krautschichten, wenig strukturreiche Vegetation, geringe Insektenfreundlichkeit, der Einsatz klimarisikobehafteter Baumarten, ein hoher Anteil versiegelter Flächen, das Fehlen von Wasserstellen sowie eine eingeschränkte ökologische Vernetzung zwischen den Teilbereichen begrenzen das Habitatpotenzial und vermindern die funktionale Vielfalt der Aussenräume. Trotz dieser schwachen Ausgangslage besteht ein erhebliches Entwicklungspotenzial: Mit gezielten, naturnahen Massnahmen können sowohl die ökologische Qualität als auch das Mikroklima deutlich verbessert werden.

Die untersuchten Massnahmen zeigen, dass Klimaanpassung und Biodiversitätsförderung auf den Schularealen weitgehend komplementäre Ziele darstellen. Grosskronige Bäume, mehrschichtige Vegetation aus standortgerechten Gehölzen, Entsiegelung von Flächen, Versickerungsbereiche und kleinräumige Gewässerstrukturen leisten einen doppelten Beitrag: Sie kühlen den Aussenraum über Verschattung und Verdunstung und erhöhen gleichzeitig die Lebensraumvielfalt. Die Forschung belegt, dass solche Massnahmen Synergien erzeugen: mehr Bodenfeuchte verbessert langfristig die Vegetationsleistung, strukturreiche Pflanzungen fördern Insekten- und Vogelvielfalt, und naturnahe Wasserhaushalte stärken sowohl ökologische als auch klimatische Funktionen.

Zielkonflikte entstehen dort, wo klimawirksame Elemente nicht konsequent ökologisch umgesetzt werden. Beispielsweise können monotone oder intensiv gepflegte Rasenflächen zwar kurzfristig für Nutzungsoffenheit oder Ordnung sorgen, entfalten jedoch kaum ökologischen Wert. Ebenso können Bepflanzungen mit nicht standortgerechten oder pflegeintensiven Arten die ökologische Wirksamkeit begrenzen, obwohl sie optisch oder funktional zunächst attraktiv erscheinen. Auch betriebsbedingte Hartflächen können lokal die Wirkung begrünter Bereiche beeinträchtigen.

Eine zentrale Rolle kommt der pädagogischen Dimension zu: Beide Schulareale bieten die Möglichkeit, als erlebbare ökologische Lernorte gestaltet zu werden. Naturnahe Schulgelände fördern nachweislich psychische Gesundheit, Aufmerksamkeit, soziale Kompetenzen und Naturverbun-

denheit von Jugendlichen. Sie ermöglichen direkte Naturbegegnungen, exploratives Lernen und Beobachtung ökologischer Zusammenhänge sind wichtige Bausteine der Bildung für nachhaltige Entwicklung.

Insgesamt überwiegen die Synergien zwischen klimatischer und ökologischer Aufwertung deutlich. Eine konsequent naturnahe Umsetzung mit klimaangepassten, standortgerechten Arten, strukturreicher Vegetationsschichtung und einem ökologisch abgestimmten Wasserhaushalt ermöglicht, dass beide Areale langfristig zu klimatisch resilienten, ökologisch wertvollen und pädagogisch bereichernden Schulumgebungen werden. Die Kombination dieser Funktionen macht die Aussenräume zu wirkungsvollen Orten für Gesundheit, Lernen und Klimaadaptation zugleich.

1.2 Priorisierung und Umsetzungsempfehlungen

6.1.1 Mikroklima und Aufenthaltsqualität

Die Analyse der Massnahmenpakete zeigt, dass sämtliche untersuchten Eingriffe zur Abkühlung des Mikroklimas und zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität beitragen. Sowohl für das Referenzjahr 2035 als auch für 2060 lassen sich in mehreren Aufenthaltsbereichen Reduktionen der thermischen Belastung nachweisen, auch wenn das generelle Temperaturniveau künftig steigen wird. Besonders wirksam sind Massnahmen, die Verschattung, Verdunstung und Oberflächenkühlung direkt beeinflussen. Während bauliche Beschattungselemente eine sofortige Wirkung entfalten, entwickeln vegetationsbasierte Massnahmen ihr volles Potenzial erst im Zuge des Pflanzenwachstums. Diese tragen dafür umso stärker zur langfristigen Klimastabilität und ökologischen Qualität des Areals bei.

Die Rückmeldungen aus dem partizipativen Format «Come In» bestätigen diese Einschätzungen und schärfen deren räumliche Relevanz. Schülerinnen und Schüler sowie Mitarbeitende bevorzugen schattige, ruhige und zugleich sozial nutzbare Aufenthaltsorte. Insbesondere der Mensabereich und die angrenzenden Freiflächen gehören zu den am stärksten frequentierten Bereichen und werden während Hitzeperioden als unangenehm heiss wahrgenommen. Flächen mit bestehender Vegetation – etwa der Biotopbereich oder der Schulgarten – werden hingegen aufgrund ihres günstigeren Mikroklimas und ihrer Atmosphäre ausdrücklich positiv hervorgehoben. Diese Wahrnehmungen unterstreichen die hohe Bedeutung von Massnahmen, die Schatten, Kühlung und vegetationsbasierte Aufenthaltsqualitäten fördern.

Unter Berücksichtigung der mikroklimatischen Wirksamkeit, der Nutzungsmuster sowie der Rückmeldung der ZHAW – insbesondere in Bezug auf Umsetzbarkeit und Kosten – ergibt sich folgende Priorisierung und Umsetzungsempfehlung der Massnahmenpakete:

Massnahmenpaket 1 ist prioritär umzusetzen. Die Kombination aus Entsiegelung und zusätzlicher Vegetation verbessert die thermische Situation bereits mittelfristig und verstärkt ihre Wirkung mit zunehmender Entwicklung der Vegetation. Gleichzeitig werden Wasserhaushalt und Bodenfunktionen gestärkt, was die Resilienz der Bepflanzung gegenüber künftigen Klimabedingungen erhöht. Die Schaffung naturnaher Strukturen entspricht zudem den im «Come In» formulierten Rückzugsbedürfnissen und leistet einen zentralen Beitrag zur langfristigen Verbesserung der ökologischen Qualität des Schulareals.

Massnahmenpaket 2 ist als **zweitrangig**, jedoch langfristig bedeutend einzustufen. Die primär auf Biodiversitätsförderung und strukturelle Begrünung ausgerichteten Massnahmen entfalten ihre volle Wirkung erst über einen längeren Zeitraum und zeigen im Zeithorizont 2035 eine vergleichsweise geringe mikroklimatische Wirkung. Für die langfristige Entwicklung des Areals, insbesondere im Hinblick auf Biodiversität, ökologische Vernetzung und nachhaltige Hitzeminderung, ist dieses Paket jedoch als wichtige Ergänzung zu verstehen.

Massnahmenpaket 3 ist für die Rahmenbedingungen der Kantonsschule von zentraler Bedeutung. Die vorgesehenen Beschattungs- und Strukturmassnahmen verbessern insbesondere jene Aufenthaltsbereiche, die im Schulalltag stark genutzt werden und in Hitzeperioden besonders belastet sind. Die Wirkung der Massnahmen ist unmittelbar spürbar und unterstützt die Nutzbarkeit der Aussenräume im Sommer. Damit leistet dieses Paket einen wichtigen Beitrag zur kurzfristigen Verbesserung der Aufenthaltsqualität unter den gegebenen betrieblichen Rahmenbedingungen.

Massnahmenpaket 4 schafft im Innenhof des Haupttrakts lokal begrenzte, aber qualitativ hochwertige Aufenthaltsbereiche mit spürbarer Temperaturentlastung. Da diese Massnahmen im Rahmen der geplanten Instandsetzung der Kantonsschule Rychenberg bereits umgesetzt werden, ist hierfür keine zusätzliche Priorisierung erforderlich. Das Paket ist daher als Bestandteil laufender baulicher Entwicklungen zu betrachten.

In der Gesamtschau wird deutlich, dass insbesondere die Kombination verschiedener Massnahmentypen die grösste Wirkung erzielt: Entsiegelung und Begrünung verbessern den lokalen Wasserhaushalt und die Bodenfunktionen, Beschattung reduziert thermische Spitzenbelastungen, und biodiversitätsfördernde Strukturen schaffen ökologische, klimatische und zugleich pädagogische Mehrwerte. Ein abgestuftes Vorgehen mit prioritärer Umsetzung wirksamer Struktur- und Begrünungsmassnahmen sowie ergänzenden langfristigen Biodiversitätsmassnahmen stellt si-

cher, dass kurzfristige Verbesserungen für die Schulgemeinschaft erzielt werden und gleichzeitig eine dauerhaft klimaresiliente und attraktive Schulumgebung entsteht.

6.1.2 Ökologie / Biodiversität

Die ökologische Aufwertung beider Schulareale erfordert Massnahmen auf drei eng miteinander verknüpften Ebenen: Pflegestrategie, Ausführungsqualität und Verankerung im Schulbetrieb.

Eine ökologisch ausgerichtete Pflegestrategie bildet dabei die unverzichtbare Grundlage. Der angestrebte Zielwert für Naturnähe (4/5) ist ohne eine grundlegende Anpassung bestehender Pflegeroutinen nicht erreichbar. Schnittpläne und Mährhythmen sind konsequent nach ökologischen Kriterien auszurichten; dauerhaft ausgewiesene Schonstreifen und extensiv gepflegte Wiesenbereiche sind hierfür eine notwendige Voraussetzung. Ohne diese betriebliche Verankerung bleiben selbst qualitativ hochwertige Pflanzungen in ihrer ökologischen Wirkung dauerhaft eingeschränkt.

Ebenso entscheidend ist die Ausführungsqualität der Massnahmen selbst. Das grösste ökologische Aufwertungspotenzial bieten die Massnahmenpakete 1, 2 und 4: Während Paket 1 die Terrassenbegrünung auf unterkellerten Flächen adressiert, ermöglicht Paket 2 durch bodengebundene Entsiegelung die Schaffung direkt angebundener Lebensraumflächen mit verbessertem Wasserhaushalt – eine Voraussetzung für dauerhaft funktionierende Vegetationsstrukturen. Paket 4 ergänzt dies durch gezielte Gehölzergänzungen im Innenhof des Haupttrakts. Bei allen drei Paketen ist bei der Artenauswahl konsequent auf standortgebundene und klimataugliche Arten mit strukturreicher Vegetationsschichtung zu setzen, die sowohl den lokalen Standortverhältnissen als auch den absehbaren klimatischen Veränderungen bis 2060 gerecht werden. Massnahmenpaket 3, das primär auf bauliche Beschattung ausgerichtet ist, bietet ergänzendes ökologisches Potenzial, sofern Beschattungselemente mit geeigneten Kletterpflanzen oder Rankstrukturen kombiniert werden.

Darüber hinaus sollte der Schulaussenraum als Living Lab dauerhaft im Schulbetrieb verankert werden. Biodiversitätsmassnahmen entfalten ihr volles Potenzial erst dann, wenn sie von Beginn an in den Fachunterricht eingebettet sind und Schülerinnen und Schüler aktiv in Planung, Pflege und Monitoring einbezogen werden. Damit wird der angestrebte Zielwert für Bildungspotenzial (5/5) nicht nur konzeptionell begründet, sondern durch konkrete Praxis erreicht – und die Schulareale werden zu erlebbaren Lernorten für ökologische Zusammenhänge.

6.2 Weiterer Forschungsbedarf / Reflexion

Die vorliegende Studie bietet eine fundierte Grundlage für die klimatische und ökologische Aufwertung der Schulareale KRW und K LW. Gleichzeitig macht sie deutlich, dass mehrere Fragestellungen über den Rahmen des Projekts hinausweisen und vertieften Forschungsbedarf begründen – sowohl mit Blick auf die klimatische und ökologische Wirksamkeit einzelner Massnahmen als auch hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf weitere Schulstandorte des Kantons und der Schweiz.

Ein zentrales Thema betrifft die **zeitliche Dimension ökologischer Aufwertung**. Die ökologische Bewertung der beiden Standorte beruht auf einer Momentaufnahme. Ob und in welchem Ausmass die vorgeschlagenen Massnahmen – insbesondere Entsiegelung, standortgerechte Bepflanzung und Strukturdiversität – tatsächlich zu einer Zunahme von Artenvielfalt, Habitatqualität und ökologischer Konnektivität führen, lässt sich erst durch ein langfristiges Monitoring belegen. Von besonderem wissenschaftlichem Interesse ist dabei, wie schnell sich strukturreiche Vegetationsbestände auf ehemals versiegelten Flächen entwickeln und welche Arten als Indikatoren einer erfolgreichen ökologischen Transformation dienen könnten. Ein solches Monitoring würde nicht nur die Wirksamkeit der Massnahmen validieren, sondern auch belastbare Grundlagen für eine adaptive Pflege- und Entwicklungsstrategie schaffen.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, **wie sich ökologische Aufwertung und schulischer Alltag gegenseitig beeinflussen**. Das Konzept der Schulen als „Living Labs“ setzt voraus, dass Schüler:innen in Beobachtung, Pflege und Nutzung naturnaher Aussenräume aktiv eingebunden werden. Welche Bildungsprozesse sich dabei tatsächlich nachhaltig verankern, ist empirisch bislang kaum untersucht. Hier eröffnet sich ein interdisziplinäres Forschungsfeld zwischen Umweltbildung, Verhaltensforschung und Freiraumgestaltung, das weit über das Pilotprojekt hinausweist und wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Schulentwicklungsprozesse liefern könnte.

Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft das **Spannungsfeld zwischen Vegetationsentwicklung und Kaltluftdurchströmung**. Beide Schulareale sind in das übergeordnete Kaltluftsystem der Stadt Winterthur eingebunden, was bedeutet, dass Vegetations- und Gebäudestrukturen die Durchlüftung nicht beeinträchtigen dürfen. Die gängige planerische Praxis betrachtet Bäume dabei primär als potenzielle Hindernisse für Kaltluftströme. Dieser Ansatz greift zu kurz. Bäume sind keine statischen Objekte, sondern lebende Organismen, deren Kühlungsleistung – etwa über Evapotranspiration oder Verschattung – stark von ihren mikroklimatischen Standortbedingungen abhängt. Es ist plausibel anzunehmen, dass Kaltluftströmungen nicht im Widerspruch zu diesen Leistungen stehen, sondern sie möglicherweise sogar begünstigen: durch verbesserte Feuchteverhältnisse, niedrigere nächtliche Temperaturen und eine effizientere Wärmeabgabe. Systematische Untersuchungen zu diesen Wechselwirkungen fehlen jedoch weitgehend. Eine vertiefte For-

schung zu den Beziehungen zwischen Kaltluftdynamik und baumphysiologischen Prozessen könnte einen wichtigen Beitrag zu einer integrativen Planungspraxis leisten, in der Durchströmung und Begrünung nicht als Gegensätze verstanden werden.

Schliesslich stellt sich die Frage der **Übertragbarkeit** der Projektergebnisse auf weitere Schulareale des Kantons (und der Schweiz). Das im vorliegenden Projekt angewandte Vorgehen – bestehend aus ökologischer Bestandsanalyse, Bewertung der Aufenthaltsqualität, sozialräumlicher Erhebung und klimawirksamer Massnahmenplanung – bietet ein reproduzierbares und verhältnismässig ressourcenschonendes Instrumentarium. Eine kantonale Leitlinie, die Erkenntnisse zu standortgerechter Artenwahl, Strukturvielfalt, Pflegeplanung und pädagogischer Integration bündelt, könnte den Wissenstransfer erleichtern und den Mehrwert dieses Pilotprojekts auf die gesamte Bildungsinfrastruktur des Kantons ausweiten.

Insgesamt zeigt sich, dass Klimaanpassung, Biodiversitätsförderung und Schulentwicklung starke Synergien aufweisen, deren systematische Erforschung und Weiterentwicklung erhebliches Potenzial eröffnet – sowohl für die wissenschaftliche Praxis als auch für die konkrete Planung zukünftiger Schulfreiräume.

Neben der Mikroklima- und Biodiversitätsanalyse wurde der sommerliche Hitzeschutz auf Gebäudeebene untersucht. Dabei wurde, ausgehend vom status quo, unterschiedliche Szenarien passiver Hitzeminderungsmaßnahmen untersucht und deren Einfluss auf den thermo-hygrischen Komfort ausgewiesen. Die gemachte Analyse stellt einen ersten Schritt in der Untersuchung der Überhitzungsthematik in Schulhäusern dar und weitere, vertiefte Abklärungen sind erforderlich, als Grundlage für eine Quantifizierung der Problematik und die Ableitung von Empfehlungen für eine effektive Hitzemitigation auf Gebäudeebene. Der erforderliche Forschungsbedarf umfasst folgende Aspekte:

- Vergleich globale und lokale Randbedingungen aus CFD-Simulationen – Verständnis der Sensitivität in Bezug auf die Resultate / Einschätzung der Überhitzungsproblematik
- CFD-Simulationen mit höherer Auflösung zum besseren Verständnis des Einflusses von Massnahmen im Aussenbereich auf Überhitzungsproblematik in Innenräumen
- Untersuchung längerer Zeithorizonte, einschliesslich Wochen mit tropischen Nächten, anhand von realen Wetterdaten
- Untersuchung des Bedarfs / der Wirkung aktiver Kühlung – Identifikation und Ermittlung geeigneter Strategien für Nachrüstungen
- Vergleich mit anderen Schulen (sanierte vs. nicht sanierte) – Identifikation optimaler Kompromiss für Sanierungsmassnahmen, für den Winter- und Sommerbetrieb

-
- Parameteruntersuchungen für unterschiedliche Gebäudetypologien, Gebäudeausrichtungen, ...
 - Validierung der Simulationsergebnisse durch punktuelle Messungen

7 Anhang

7.1 Glossar

Airflow-Network

Ein Modellansatz in der Gebäudesimulation zur Abbildung von Luftströmungen durch Öffnungen (Fenster, Türen) und zwischen Räumen. Er ermöglicht die realistische Simulation natürlicher Lüftung, insbesondere von Quer- und Nachtlüftung.

Albedo

Anteil der kurzwelligen Sonnenstrahlung, der von einer Oberfläche reflektiert wird (Wert zwischen 0 und 1). Helle Materialien mit hoher Albedo erwärmen sich weniger stark als dunkle Oberflächen und tragen zur Reduktion von Hitzebelastung bei.

Aufenthaltsqualität

Qualitative Bewertung der Nutzbarkeit und Behaglichkeit von Aussenräumen. Berücksichtigt klimatische Aspekte (Schatten, Kühlung, Wind), ökologische Qualitäten, soziale Nutzbarkeit (Begegnung, Rückzug) sowie pädagogische Potenziale.

Aussenluftknoten

Virtuelle Referenzpunkte in der Simulation, an denen klimatische Randbedingungen wie Temperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit definiert werden. Sie dienen zur Kopplung von CFD-Ergebnissen mit dem Gebäudemodell.

Beschattung

Reduktion direkter Sonneneinstrahlung durch Vegetation (insbesondere Bäume) oder bauliche Elemente. Beschattung wirkt unmittelbar temperaturreduzierend und ist ein zentraler Faktor für thermischen Komfort im Aussenraum.

Biodiversität

Biologische Vielfalt von Pflanzen, Tieren und Lebensräumen. Im Bericht bewertet über Kriterien wie Pflanzenvielfalt, Strukturvielfalt, Altersstrukturen, Vernetzung und ungestörte Bereiche. Biodiversität trägt sowohl zur ökologischen Qualität als auch zur Hitzeminderung bei.

CFD (Computational Fluid Dynamics)

Numerische Strömungssimulation zur Berechnung von Luftbewegungen, Temperaturen und Turbulenzen. Im Bericht wird CFD genutzt, um mikroklimatische Effekte im Aussenraum zu analysieren.

Come In

Partizipatives Erhebungsformat zur Erfassung der Wahrnehmungen, Nutzungen und Präferenzen von Schüler:innen und Mitarbeitenden im Aussenraum. Dient als qualitative Ergänzung zu Simulationen und fachlichen Bewertungen.

Emissionsgrad (ϵ)

Materialeigenschaft, die beschreibt, wie gut eine Oberfläche Wärme im Infrarotbereich abstrahlen kann. Hohe Emissionsgrade fördern die nächtliche Abkühlung und sind besonders relevant für Beläge und Fassaden.

EN 15251

Europäische Norm zur Bewertung des thermischen Innenraumkomforts. Sie definiert Komfortbereiche unter Berücksichtigung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Aktivitätsniveau und Bekleidung.

EnergyPlus

Weit verbreitete Simulationssoftware zur Berechnung von Energieflüssen, Raumtemperaturen und Komfort in Gebäuden. Sie bildet die rechnerische Grundlage der Gebäudesimulation im Bericht.

Entsiegelung

Rückbau befestigter Flächen zugunsten durchlässiger, begrünter Oberflächen. Entsiegelung verbessert den Wasserhaushalt, ermöglicht Verdunstung, stärkt Vegetationswachstum und wirkt langfristig hitzemindernd.

Formfaktor

Geometrisches Verhältnis von Gebäudeoberfläche zu Volumen. Ein hoher Formfaktor führt in der Regel zu höheren Wärmegewinnen und -verlusten.

Hitzeminderung

Gesamtheit von Massnahmen zur Reduktion thermischer Belastung in Siedlungsräumen. Dazu zählen Begrünung, Entsiegelung, Beschattung, Wasserelemente sowie material- und gestaltungsbezogene Strategien.

LAI (Leaf Area Index)

Blattflächenindex: Verhältnis der Blattfläche zur Bodenfläche (m^2/m^2). Der LAI ist ein zentraler Parameter für Beschattungs- und Verdunstungsleistung von Vegetation und wird in den Simulationen artspezifisch berücksichtigt.

Massnahmenpakete

Thematische Bündel von planerischen Eingriffen (z. B. Terrassenbegrünung, Entsiegelung, Aufenthalts- und Beschattungsmassnahmen), die gemeinsam simuliert und hinsichtlich ihrer Wirkung auf Mikroklima, Aufenthaltsqualität und Biodiversität bewertet werden.

Mikroklima

Lokale klimatische Bedingungen in einem eng begrenzten Raum, beeinflusst durch Oberflächen, Vegetation, Bebauung, Wind und Strahlung. Das Mikroklima ist entscheidend für die Aufenthaltsqualität im Schulareal.

PALM (Parallelised Large-Eddy Simulation Model)

Wissenschaftliches Stadtklimamodell zur hochaufgelösten Simulation von Strömung, Temperatur, Strahlung und Turbulenzen. Wird im Projekt für grossräumige klimatische Analysen eingesetzt.

PET (Physiologisch äquivalente Temperatur)

Mass für die vom Menschen empfundene Temperatur unter Berücksichtigung von Lufttemperatur, Strahlung, Luftfeuchte und Wind. PET ist der zentrale Indikator zur Bewertung der Hitzebelastung im Aussenraum.

QKM (Quartierklimamodellierung)

Entwurfsnahes Simulationsverfahren zur mikroklimatischen Bewertung auf Quartiers- und Areal-ebene. Ermöglicht hochaufgelöste Variantenvergleiche und ist im Projekt direkt mit dem BIM-Modell verknüpft.

Trittssteinbiotop

Kleiner, naturnaher Lebensraum, der als Verbindungselement im Biotopverbund dient. Trittssteinbiotop ermöglichen die Ausbreitung von Tier- und Pflanzenarten und erhöhen die ökologische Durchlässigkeit des Siedlungsraums.

Verdunstung (Evapotranspiration)

Abkühlender Prozess, bei dem Wasser über Boden, Vegetation und Gewässer in die Atmosphäre übergeht. Verdunstung entzieht der Umgebung Wärme und ist ein zentraler natürlicher Kühlmechanismus.

7.2 Verzeichnisse

7.2.1 Literatur- und Internetverzeichnis

- Aram, F., Higuera García, E., Solgi, E., & Mansournia, S. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4), e01339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>
- Aram, F., Solgi, E., & Higuera García, E. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101634. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101634>
- Barratt Hacking, E., Scott, W., & Lee, E. (2010). Evidence-based approaches to education for sustainability in school settings. *Environmental Education Research*, 16(4), 559–582. <https://doi.org/10.1080/13504622.2010.505225>
- Beatty, T. K. M., & Shimshack, J. P. (2014). Air pollution and children's respiratory health. *Journal of Health Economics*, 36, 100–119. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2014.03.002>

- Bøhm, M., Köhler, M., & Kunert, H. (2020). Strahlungstemperaturen auf urbanen Freiflächen. *Urban Climate*, 34, 100693. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100693>
- Børresen, S., et al. (2022). The role of education in biodiversity conservation. *Environmental Education Research*, 29, 148–163. DOI: nicht verfügbar
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Chawla, L. (2015). Benefits of nature contact for children. *Journal of Planning Literature*, 30(4), 433–452. <https://doi.org/10.1177/0885412215595441>
- Chawla, L. (2018). Nature-based learning and development in childhood. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.005>
- Chawla, L. (2020). Childhood nature connection and constructive hope. *People and Nature*, 2(3), 619–642. <https://doi.org/10.1002/pan3.10110>
- Chawla, L., & Cushing, D. (2007). Education for strategic environmental behaviour. *Environmental Education Research*, 13(4), 437–452. <https://doi.org/10.1080/13504620701581539>
- Cheung, P. K., Jim, C. Y., Tapper, N., Nice, K. A., & Livesley, S. J. (2022). Daytime irrigation leads to significantly cooler private backyards in summer. *Urban Climate*, 46, 101310. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101310>
- Climate CH2018 (2018). Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp. ISBN: 978-3-9525031-4-0
- Climate CH2025. (2025). Klimaszenarien Schweiz. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz.
- Corraliza, J. A., Collado, S., & Bethelmy, L. (2012). Nature as a moderator of stress in urban children. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 38, 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.347>
- Dadvand, P., et al. (2015). Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(26), 7937–7942. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503402112>
- Davis, J., Verheyen, K., & Li, X. (2024). Biodiversity and wellbeing in school environments: A systematic review. *Frontiers in Psychology*.

- Davis, Z., et al. (2024). A systematic review of the associations between biodiversity and children's mental health and wellbeing. *Environmental Research*, 118392.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118392>
- Díaz Martínez, F., Sánchez Sauco, M. F., Cabrera Rivera, L. T., et al. (2023). Neurodevelopmental benefits of active and passive exposure to green and blue spaces. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 3958.
<https://doi.org/10.3390/ijerph20053958>
- EEA – European Environment Agency. (2021). Who benefits from nature in cities?
<https://www.eea.europa.eu>
- Fischer, L. K., Honold, J., Botzat, A., Brinkmeyer, D., Cvejić, R., Deak Jahn, M., Kabisch, N., Karle, S. J., Koch, C., Laforteza, R., Nastran, M., Nielsen, A. B., van der Jagt, A. P. N., Viejikko, K., & Kowarik, I. (2019). Biodiverse edible schools: Linking healthy food, school gardens and local urban biodiversity. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 35–43.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.011>
- Fischer, L., Brinkmann, M., & Steenbock, B. (2019). Biodiverse edible schools: Linking food, gardens and biodiversity. *Urban Forestry & Urban Greening*.
- Franzolin, F., et al. (2021). Students' interests in biodiversity: Links with health and sustainability. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13084368>
- Graff Zivin, J., Hsiang, S., & Neidell, M. (2018). Temperature and human productivity. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(4), 683–722.
<https://doi.org/10.1086/698728>
- Grün macht Schule. (2025). Lebensraum Schulhof [Kartenset]. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin & Freilandlabor Britz e. V. <https://www.gruen-macht-schule.de>
- Harvey, D., et al. (2020). Psychological benefits of biodiversity-focused outdoor programs. *Journal of Environmental Psychology*, 67, 101381. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101381>
- He, J. (2025). Heat exposure and youth health. *Pediatric Environmental Health Journal*.
- Herath, H. M. P. I. K., Halwatura, R. U., & Jayasinghe, G. Y. (2018). Modeling a tropical urban context with green walls and green roofs as an urban heat island adaptation strategy. *Procedia Engineering*, 212, 691–698. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.089>
- Herrera Oesterheld, M., et al. (2025). Social-ecological filters influence diversity in educational gardens. *Scientific Reports*, 15.
- Herrera-Oesterheld, M., Luza, A. L., Díaz-Riveros, M. P., Huanca-Nuñez, N., Parada-Riquelme, G., Sáez-Fuentes, S., & Sabatini, F. M. (2025). Social-ecological filters influence plant and

- invertebrate diversity in educational gardens in a South American metropolis. *Scientific Reports*, 15, Article 3842. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86695-6>
- Herrington, S., & Brussoni, M. (2015). Outdoor play environments and risky play. *Health & Place*, 34, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2015.04.015>
- Hochparterre. (2026). Was ein gutes Schulhaus ausmacht. Hochparterre Dossier.
- IPCC. (2023). Climate change 2023: Sixth assessment report. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kabisch, N., Korn, H., & Haase, D. (2021). Nature-based solutions for urban climate resilience. *Journal of Urban Ecology*, 7(1), juab032. <https://doi.org/10.1093/jue/juab032>
- Kanton Zürich, GIS-ZH. (2026). Bodenkarte 1:5000. GIS-Browser Kanton Zürich. <https://maps.zh.ch>
- Kanton Zürich, GIS-ZH. (2026). Vegetationskundliche Kartierung der Wälder im Kanton Zürich: Lebensraum-Potenziale. GIS-Browser Kanton Zürich. <https://maps.zh.ch>
- Karlsen, L., Heiselberg, P., Bryn, I., & Johra, H. (2016). Solar shading control strategy for office buildings in cold climate. *Energy and Buildings*, 118, 316–328. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.014>
- Kelz, C., & Evans, G. W. (2010). Children's restorative experiences in schoolyards. *Environment and Behavior*. <https://doi.org/10.1177/0013916510362050>
- Kelz, C., Evans, G. W., & Röderer, K. (2015). The restorative effects of school greenspace. *Health & Place*, 34, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2015.03.003>
- Kjellstrom, T., Briggs, D., Freyberg, C., Lemke, B., Otto, M., & Hyatt, O. (2016). Heat, human performance, and occupational health. *Annual Review of Public Health*, 37, 97–112. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032315-021740>
- Kowarik, I., Haase, D., & Kabisch, N. (2021). Urban nature and climate adaptation. *Landscape and Urban Planning*, 207, 104002. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.104002>
- Krebs und Herde GmbH. (2024). Hitzeminderung Umgebung – Machbarkeitsstudie Kantonschule Rychenberg (B04 | 240702 | KRW | 13177). Hochbauamt Kanton Zürich.
- Li, M., et al. (2025). Protective and restorative effects of biophilic design in high school indoor environments on stress and cognition. *Indoor Air*.
- Maronga, B., et al. (2020). Overview of the PALM model system 6.0. *Geoscientific Model Development*, 13(3), 1335–1372. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-1335-2020>

- MeteoSchweiz. (2022). Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028). Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/schweizer-klimaszenarien/berichte-daten-und-grafiken-der-klimaszenarien/fruehere-schweizer-klimaszenarien-im-ueberblick/klimaszenarien-raum-klima.html>
- Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft. (2023). 10 Thesen zu einem zukunftsfähigen Schulbau.
- National Centre for Climate Services (NCCS). (2018). CH2018 – Climate scenarios for Switzerland: Technical report. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/en/home/the-nccs/priority-themes/ch2018-climate-scenarios.html>
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., et al. (2015). Cool roofs and vegetation to mitigate urban heat. *Urban Climate*, 13, 93–109. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.07.003>
- Park, R. J., Goodman, J., Hurwitz, M., & Smith, J. (2020). Heat and learning. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(2), 306–339. <https://doi.org/10.1257/pol.20180612>
- Qian, F., Yan, H., Wu, R., Yang, F., Middel, A., Zhu, L., & Shi, J. (2025). Do children face greater outdoor heat risks? *Building and Environment*.
- Ranson, M. (2014). Crime, weather, and climate change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(3), 274–302. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2013.11.008>
- Retzlaff-Fürst, C. (2016). Biology and health education: School gardens as learning spaces. *Universal Journal of Educational Research*, 4, 1848–1857. <https://doi.org/10.13189/ujer.2016.040818>
- Roslund, M. I., et al. (2020). Biodiversity intervention enhances immune regulation. *Science Advances*, 6(42). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba2578>
- Roslund, M. I., et al. (2021). Long-term biodiversity intervention shapes commensal microbiota. *Environment International*, 157, 106811. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106811>
- Samborski, S. (2023). Biodiverse or barren school grounds? *Children, Youth and Environments*, 20, 115–167.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Schulze, T., Gürlich, D., & Eicker, U. (2018). Performance assessment of controlled natural ventilation for air quality control and passive cooling in existing and new office type buildings. *Energy and Buildings*, 172, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.023>

- Stadt Winterthur. (2023). Rahmenplan Stadtklima Winterthur. Amt für Städtebau. <https://stadt.winterthur.ch/themen/leben-in-winterthur/planen-und-bauen/wir-planen-fuer-sie/strategische-planungen/rahmenplan-stadtklima>
- Tranter, P., & Malone, K. (2018). Childhood and environmental education. *Environmental Education Research*, 24(4), 1–17.
- Tseliou, A., Melas, E., Mela, A., Tsiros, I., & Zervas, E. (2023). The effect of green roofs and green façades on the pedestrian thermal comfort of a Mediterranean urban residential area. *Atmosphere*, 14(10), 1512. <https://doi.org/10.3390/atmos14101512>
- Ulpiani, G., Di Giuseppe, E., Di Perna, C., D’Orazio, M., & Zinzi, M. (2019). Thermal comfort improvement in urban spaces with water spray systems: Field measurements and survey. *Building and Environment*, 156, 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.007>
- UNESCO. (2024). Green school quality standard – Greening every learning environment. UNESCO.
- UNICEF. (2021). The climate crisis is a child rights crisis. UNICEF.
- van Dijk Wesselius, J. E., Maas, J., van Vugt, M., & van den Berg, A. E. (2022). Schoolyard greening and play behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 80, 101760. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101760>
- Verheyen, L., et al. (2025). Greening school grounds and cognitive performance. *Frontiers in Public Health*, 13.
- Wals, A. E. J. (2019). Sustainability oriented learning ecologies. *Environmental Education Research*.
- Wals, A. E. J. (2020). Education for sustainable living. *Journal of Environmental Education*.
- WHO. (2024). The adolescent health indicators recommended by the Global Action for Measurement of Adolescent Health. World Health Organization.

7.2.2 Abbildungsverzeichnis

1 - Situationsplan	14
2 - Orthofoto Kantonsschule Rychenberg / Im Lee	15
3 - Übersichtsplan / Isometrie Ansicht «Platine»	16
4 - Übersichtsplan Wärmebelastung (PET) an heissen Sommertagen.....	17
5 - Übersichtsplan nächtlicher Kaltluftströme	18
6 - Lebensraumtypen	19

7 - Bestandsplan, Krebs und Herde	21
8 - Konzeptplan Massnahmen & Hitzeminderung, Krebs und Herd.....	21
9 - Massnahmenpakete Hitzeminderung, Plan Krebs und Herde	22
10 - Fotos «Come-In» KRW: Durchführung	30
11 - Plangrundlage «Come-In»: Ausschnitt KRW, Markierung der Aufenthaltsorte.....	32
12 - Foto «Come-In»: Beliebte Aufenthaltsorte der Schüler:innen, Panel 1.....	33
13 - Foto «Come-In» KRW: Beliebte Aufenthaltsorte der Schüler:innen, Panel 2	34
14 - Foto «Come-In» KRW: Auswertung Kommentare der Schüler:innen beider Panels, sortiert nach Aufenthaltsorten	34
15 - Foto «Come-In» KRW: Beliebte Aufenthaltsorte der Mitarbeitenden.....	35
16 - Foto «Come-In» KRW: Auswertung Kommentare der Mitarbeitenden, sortiert nach Aufenthaltsorten	36
17 - Spider Aufenthaltsqualitäten, Bestand / Spider 'Aufenthaltsqualitäten', Ziel	38
18 - Spider 'Biodiversität', Bestand / Spider 'Biodiversität', Ziel	46
19 - Temperaturverlauf während der modellierten Periode. Graue Schattierung markiert den 09. Juni und die vertikale Linie den analysierten Zeitpunkt um 14:00 Lokalzeit	49
20 -Links: Darstellung des modellierten Gebietes in QGIS nach Umsetzung aller Massnahmenpakete. Rechts: Tatsächliche Repräsentation in PALM. Versiegelte Böden in Hellgrau, Gebäude in Dunkelgrau, Wasser in Blau, Vegetation in verschiedenen Braun- und Grüntönen	51
21- Blattoberfläche der Vegetation (Leaf Area Index (LAI)) der verschiedenen Szenarien von links nach rechts: «Referenz», «alle Massnahmenpakete 2035» und «alle Massnahmenpakete 2060».	52
22 - PET in °C auf 2 m über Boden um 14:00. Gebäude in Weiss	53
23 - Differenz der PET in °C auf 2 m über Boden. Mittelwert 13:00 – 14:00. Links: (Szenario 2035 – Referenz 2035), Rechts: (Szenario 2060 – Referenz 2060). Gebäude in Weiss.	53
24- Unterschied Lufttemperatur 2 m über Oberfläche. Mittelwert 13:00 – 14:00 Uhr. Links: (Szenario 2035 – Referenz 2035), Rechts: (Szenario 2060 – Referenz 2060). Gebäude in Hellgrau.....	55
25 - Unterschied Oberflächentemperatur. Mittelwert 13:00 – 14:00 Uhr. .Links: (Szenario 2035 – Referenz 2035), Rechts: (Szenario 2060 – Referenz 2060). Gebäude in Hellgrau.....	56
26 - Unterschied der Windgeschwindigkeiten auf 2 Meter Höhe. Mittelwert 13:00 – 14:00 Uhr. .Links: (Szenario 2035 – Referenz 2035), Rechts: (Szenario 2060 – Referenz 2060). Gebäude in Hellgrau.	56
27- Isometrieansicht BIM-Modell “Platine” Bestand ohne Analyseresultat.....	59

28 - Isometrieansicht BIM-Modell "Platine" Planung mit PET-Analyseresultat.....	60
29 - Baumwachstum bimTree mit unterschiedlichen Site-Index	63
30 - Resultate PET Bestand.....	64
31- Resultate PET Projektirt 2060 32 - Resultate PET Projektirt 2035	65
33 - Resultate PET-Differenz 2035 34 - Resultate PET-Differenz 2060	65
35 - Liniendiagramm PET 2035 Bestand und projektirt 36 - Liniendiagramm PET 2060 Bestand und projektirt	65
37 - Resultate Windgeschwindigkeit Bestand	66
38 - Resultate Windgeschwindigkeit projektirt 2035 39 - Resultate Windgeschwindigkeit projektirt 2060	66
40 - Das 3D-Energie-modell der Kantonsschule Im Lee	73
41 - Festgelegte Punkte rund um das Gebäude für die CFD-Kopplung	75
42 - Häufigkeitsverteilung der Zonenstunden für das 3. und 4. Obergeschoss des Gebäudes für Szenario 1 unter den Klimabedingungen des Jahres 2035 am 9. Juni von 08:00 bis 18:00 Uhr. Zonenstunden geben an, wie viele Stunden sich die thermische Zone (in diesem Fall, alle thermischen Zonen auf den Geschossen 3 und 4) innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls (°C-Klasse) während des simulierten Zeitraums befindet und liefern damit Hinweise auf die thermische Belastung und die Komfortbedingungen.	78
43 - Häufigkeitsverteilung der Zonenstunden für das 3. und 4. Obergeschoss des Gebäudes für Szenario 1 unter den Klimabedingungen des Jahres 2035 am 9. Juni von 08:00 bis 18:00 Uhr. Zonenstunden geben an, wie viele Stunden sich die thermische Zone (in diesem Fall, alle thermischen Zonen auf den Geschossen 3 und 4) innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls (°C-Klasse) während des simulierten Zeitraums befindet und liefern damit Hinweise auf die thermische Belastung und die Komfortbedingungen.	79
44 - Vergleichende thermische Wirkung der Minderungsmaßnahmen (2035) Die Szenarien 1–8 bewerten das Klimaszenario für das Jahr 2035, beginnend mit einem Baseline-Szenario (S1) sowie der jeweils separaten Anwendung von Nachtlüftung (S2), Verschattungsmaterialien (S3) und Regelstrategien (S4). Darauf aufbauend werden technische Kombinationen untersucht: Verschattungsmaterialien mit Regelstrategien (S5), Nachtlüftung mit Materialien (S6) sowie Nachtlüftung mit Regelstrategien (S7). Den Abschluss bildet eine vollständig integrierte Konfiguration aller drei Variablen (S8).	81
45 - Stündliche Temperaturverläufe für Zone 12 (2035).....	82
46 - Stündliche Temperaturverläufe für Zone 52 (2035).....	83
47 - Vergleichende thermische Wirkung der MinderungsMassnahmen (2060). Die Szenarien 9–16 bewerten das Klimaszenario für das Jahr 2060, beginnend mit einem Baseline-Szenario (S9)	

sowie der jeweils separaten Anwendung von Nachtlüftung (S10), Verschattungsmaterialien (S11) und Regelstrategien (S12). Die technischen Kombinationen umfassen Verschattungsmaterialien mit Regelstrategien (S13), Nachtlüftung in Kombination mit Materialien (S14) sowie Nachtlüftung mit Regelstrategien (S15). Den Abschluss bildet eine vollständig integrierte Konfiguration aller drei Variablen (S16).	84
48 - Stündliche Temperaturverläufe für Zone 12 (2060).....	85
49 - Stündliche Temperaturverläufe für Zone 52 (2060).....	86
50 - In der CFD-Analyse definierte Knotenpunkte zur Messung des Einflusses der Aussenverschattung auf die Lufttemperatur.	87
51 - Temperaturdifferenz Verschattungsszenario vs. Referenz am Knoten 2.	88
52 - Temperaturdifferenz Verschattungsszenario vs. Referenz am Knoten 2a.	88
53 - Temperaturdifferenz Verschattungsszenario vs. Referenz am Knoten 2b.	89
54 - Thermische Kritikalität der Zonen im Szenario 0 (ohne umgesetzte Verschattungs- oder Lüftungsmassnahmen).	90
55 - Thermische Kritikalität der Zonen unter Szenario 1 (keine implementierten Verschattungs- oder Lüftungsstrategien).	91
56 - 3D-Kartierung der identifizierten kritischen Zonen innerhalb des Gebäudemodells.	92
57 - Psychrometrisches Diagramm für Szenario 1 (Basisszenario) unter Klimabedingungen des Jahres 2035. (Das zentrale Band repräsentiert den neutralen Zielbereich (PMV $\pm$ 0,2), während die äußeren Grenzen den akzeptablen Komfortbereich (PMV $\pm$ 0,5) kennzeichnen.)	93
58 - Psychrometrisches Diagramm für Szenario 8 (alle Massnahmen) unter Klimabedingungen des Jahres 2035. (Das zentrale Band repräsentiert den neutralen Zielbereich (PMV $\pm$ 0,2), während die äußeren Grenzen den akzeptablen Komfortbereich (PMV $\pm$ 0,5) kennzeichnen.)	93
59 - Psychrometrisches Diagramm für Szenario 9 (Basisszenario) unter Klimabedingungen des Jahres 2060. (Das zentrale Band repräsentiert den neutralen Zielbereich (PMV $\pm$ 0,2), während die äußeren Grenzen den akzeptablen Komfortbereich (PMV $\pm$ 0,5) kennzeichnen.)	94
60 - Psychrometrisches Diagramm für Szenario 16 (alle Massnahmen) unter Klimabedingungen des Jahres 2060. (Das zentrale Band repräsentiert den neutralen Zielbereich (PMV $\pm$ 0,2), während die äußeren Grenzen den akzeptablen Komfortbereich (PMV $\pm$ 0,5) kennzeichnen.)	94

7.2.3 Tabellenverzeichnis

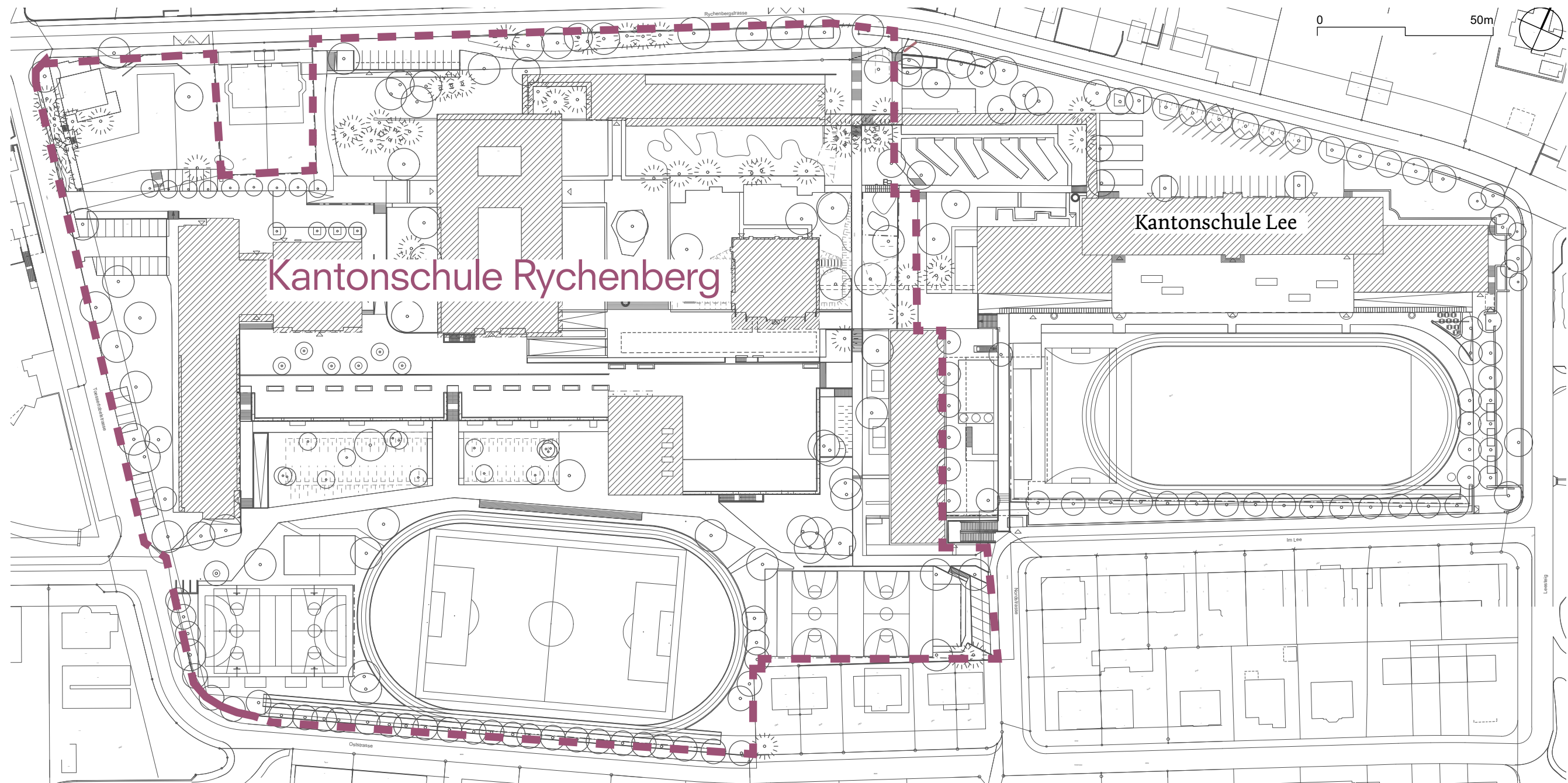
Tabelle 1- Vergleichstabelle der enthaltenen Massnahmen in den Varianten.....	60
Tabelle 2 - Vergleichstabelle der Analysemodelle QKM und PALM nach verschiedenen Kategorien.....	69
Tabelle 3 - Definierte Simulationsszenarien	76

7.3 Fachspezifische Anhänge

7.3.1 Konzeptstudie 2024, Krebs & Herde

2501-10 Kantonschule Rychenberg, Winterthur Konzept «sommerlicher Wärmeschutz» **PA 03**

Kanton Zürich
27.06.2024/lha, Rev. 10.07.2024

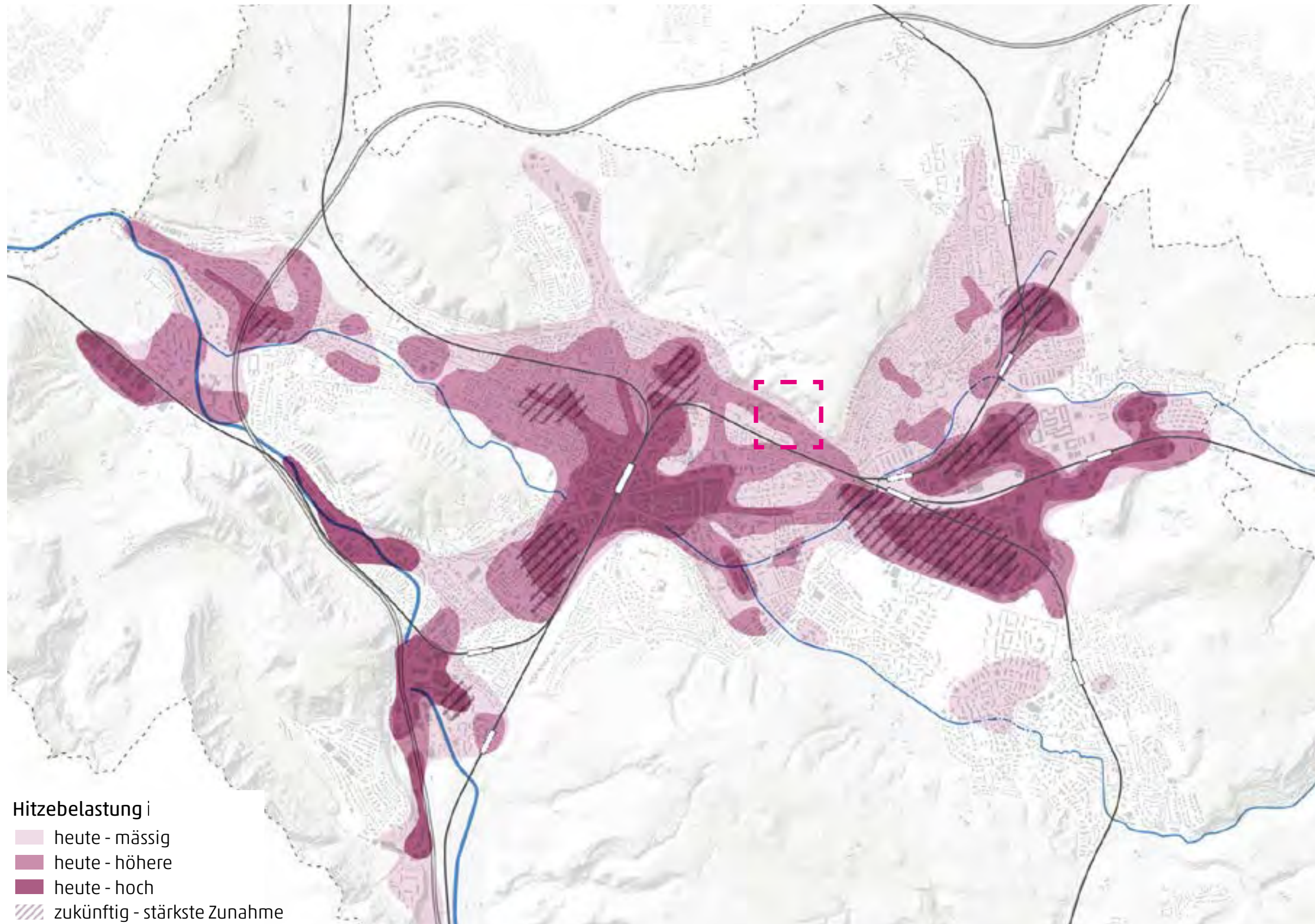


Inhaltsverzeichnis

- | | |
|--|--|
| 1 Hitzeanalyse Gesamtstadt
Rahmenplan Stadtklima Stadt Winterthur | 7 Hitzeanalyse Kantonsschule Rychenberg
Übersetzung auf den Schulcampus |
| 2 Massnahmenfindung
Rahmenplan Stadtklima Stadt Winterthur | 9 Impressionen Bestand Kantonsschule Rychenberg
Fotos |
| 3 Evaluierung Anwendbare Massnahmen
1. Stadtstruktur und Frischluftsystem
2. Klimagerechte Frei- und Strassenräume
3. Infrastruktur, Stadtgrün und Natur
sind Klimaresilient
4. Vulnerable und exponierte Gruppen | 10 Umsetzung Kantonsschule Rychenberg
Potentialkarte Hitzeminderung und Massnahmen |
| 4 Grundlagen Kantonschule Rychenberg
Archäologische Zonen und Denkmalschutzobjekte | 11 Exemplarische Umsetzung Kantonsschule Rychenberg
TB 2 - Terrasse Turnhalle Südtrakt
TB 3 - Mensaterrasse
TB 4 - Grünes Band Haupttrakt/Südtrakt
TB 8 - Eingangsbereich Tösstobelstrasse
TB 10 - Pausenplatz Haupttrakt Ost
TB 11 - Fassadenbegrünung Ergänzungsbau
TB 12 - Stufenanlage/Tribüne Rundlaufbahn
TB 13 - Innenhöfe Haupttrakt
TB 15 - Parkplätze |
| 5 Grundlagen Kantonsschule Rychenberg
Unterkellerte Bereiche | |
| 6 Hitzeanalyse Kantonsschule Rychenberg
GIS Browser Winterthur | 12 Grobkostenschätzung |

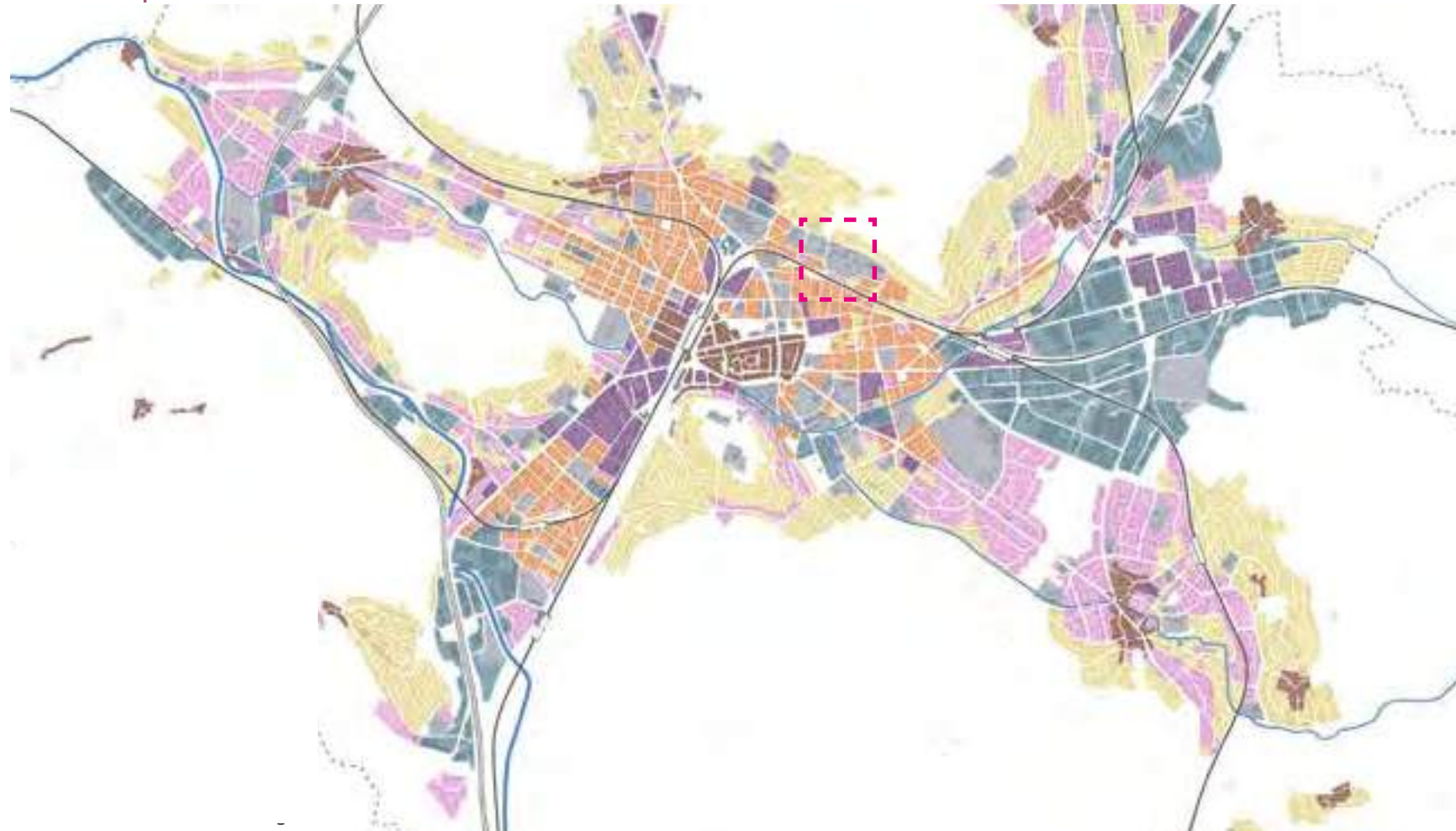
1 Hitzeanalyse | Gesamtstadt

Rahmenplan Stadtklima | Stadt Winterthur



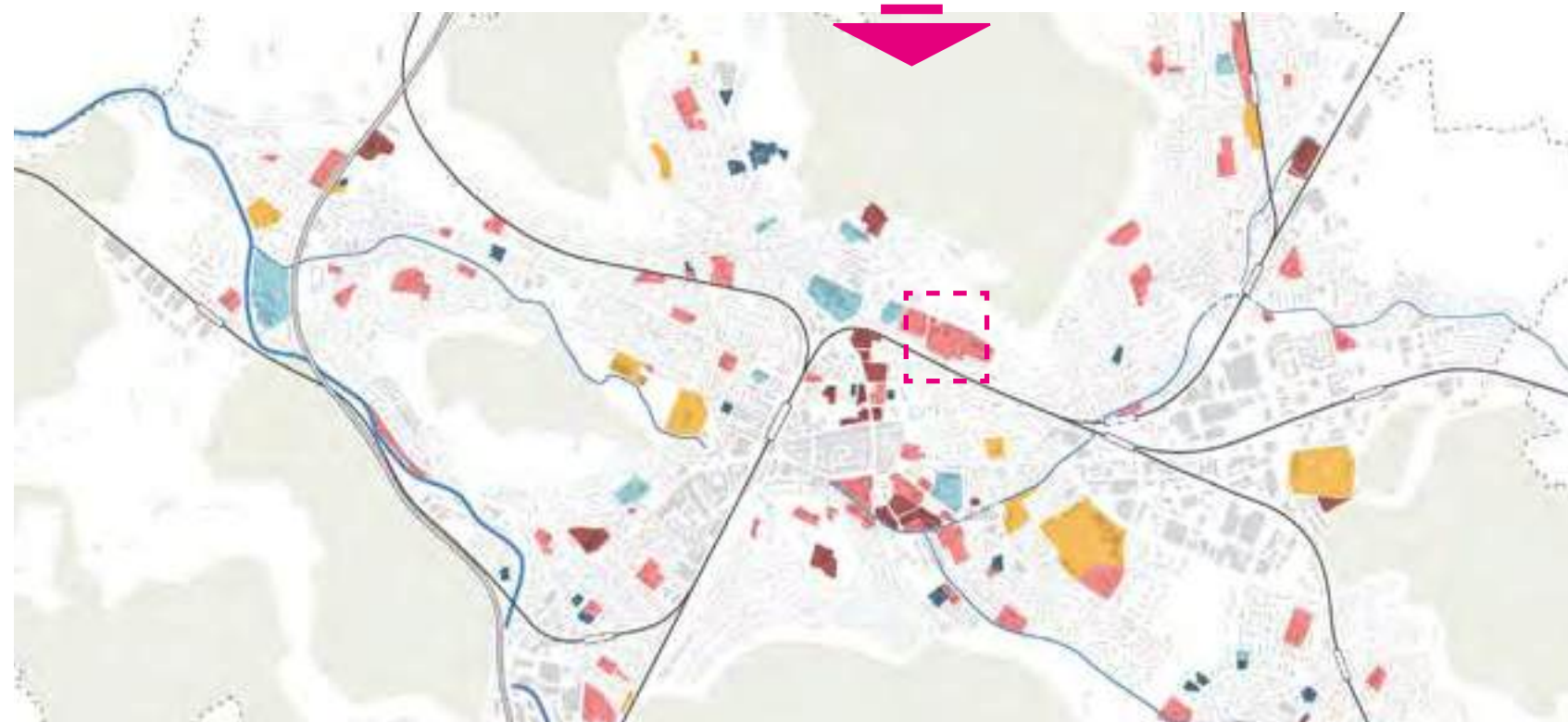
2 Massnahmenfindung

Rahmenplan Stadtklima | Stadt Winterthur



Stadtstrukturkategorien

- 01 Kernbereich
- 02 Urbane Wohnstadt
- 03 Kleinteiliges Wohngebiet
- 04 Grüne Wohnstadt
- 05 Dichte Grossstrukturen
- 06 Gewerbe
- 07 Öffentliche und institutionelle Einrichtungen



07 Öffentliche und institutionelle Einrichtungen

- 7.1 Alters- und Pflegezentren/Spital
- 7.2 Schulanlagen
- 7.3 Kirchenanlagen
- 7.4 Öffentliche Verwaltungsgebäude
- 7.5 Sport/Freizeit

3 Evaluierung

Anwendbare Massnahmen

	Aspekt 01					Aspekt 02											Aspekt 03						Aspekt 04				Empfehlung Stadt Winterthur				
	LS (a)		LS (b)			LS (c)						LS (d)					LS (e)		LS (f)		LS (g)		LS (h)								
7.1 Alters- und Pflegezentrum / Spital	A1	A2	A3	B4	B5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	D13	D14	D15	D16	E17	E18	E19	F20	F21	F22	G23	G24	G25	G26		H27	H28	H29	H30
7.2 Schulanlagen	A1	A2	A3	B4	B5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	D13	D14	D15	D16	E17	E18	E19	F20	F21	F22	G23	G24	G25	G26		H27	H28	H29	H30
7.3 Kirchenanlagen	A1	A2	A3	B4	B5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	D13	D14	D15	D16	E17	E18	E19	F20	F21	F22	G23	G24	G25	G26	H27	H28	H29	H30	

Übergeordnete und langfristige Entwicklungsziele / Massnahmen für die Gesamtanlage KRW & K LW

1. Stadtstruktur und Frischluftsystem

A2 – Kaltluftkorridore sichern

B2 – Bestand klimaoptimiert umbauen und entsiegelung vorantreiben

2. Klimagerechte Frei- und Strassenräume

C6 – Klimawirksame Grünflächen erhalten, anlegen und gestalten

C7 – Erleb- und nutzbar bewegte Wasserelemente anlegen

C9 – Durchlässige Oberflächenmaterialien nutzen

D13 – Wichtige Fuss und Velonetze durchgängig verschatten

D14 – Urbane Aufenthaltssräume, Plätze und Treffpunkte verschatten

D15 – Mobilitätsangebote und Knotenpunkte begrünen und verschatten

D16 – Parkplätze begrünen und verschatten

3. Infrastruktur, Stadtgrün und Natur sind Klimaresilient

E17 – Nachhaltiges Versickerungskonzept

E19 – Hitzeangepasste Vegetation fördern

F21 – Mikroklimatische Vielfalt und Biodiversität in öffentlichen Grünflächen erhöhen

4. Vulnerable und exponierte Gruppen

H29 – Trinkwasser- und Badebrunnen in heissen und dicht bebauten Gebieten zur Verfügung stellen

B5 - Qualitätsvolle Verdichtung stadtklimatisch ausgleichen

C10 - Materialien mit hoher Albedo für Gebäude, Strassen und Plätze wählen

C11 - Flach-Dächer klimawirksam begrünen

C12 - Fassaden klimawirksam begrünen

F22 – Grünflächen möglichst naturnah gestalten, Unterbauung vermeiden und nachhaltigen Baumbestand ermöglichen

G25 – Klimaangepasste technische Gebäudekühlung einsetzen

G26 - Gebäude energetisch effizient nutzen

H28 - Aussenräume von sensiblen Nutzungen als kühle Aufenthaltsräume gestalten

H30 – Gebäude vor sommerlicher Wärme schützen

Freiraum relevante
Massnahmen

Nicht Freiraum
relevant

2501-10_21_DOK_PA_03_240710

4 Grundlagen | Kantonschule Rychenberg
Archäologische Zonen und Denkmalschutzobjekte



Kanton Zürich
GIS-Browser (<https://maps.zh.ch>)
**Archäologische Zonen und
Denkmalschutzobjekte**



© GIS-ZH, Kanton Zürich, 04.07.2024 13:21:31

Diese Karte zeigt nur Objekte von überkommunaler Bedeutung, welche in die Kompetenz der kantonalen Denkmalpflege fallen. Kommunale Objekte fallen in die Kompetenz der Gemeinden, die eigene Inventare führen (§§ 203, 211 PBG). Die Publikation stellt keine Inventareröffnung im Sinne von § 209 Abs. 2 PBG dar. Auch wenn ein Gebäude in dieser Karte nicht gekennzeichnet ist, kann es sich um ein Schutzobjekt handeln.

Massstab 1:2500
0 20 40 60m
Zentrum: [2697891.18,1262327.39]

5 Grundlagen | Kantonsschule Rychenberg

Unterkellerte Bereiche



Kanton Zürich
GIS-Browser (<https://maps.zh.ch>)



Amtliche Vermessung in schwarz/weiss



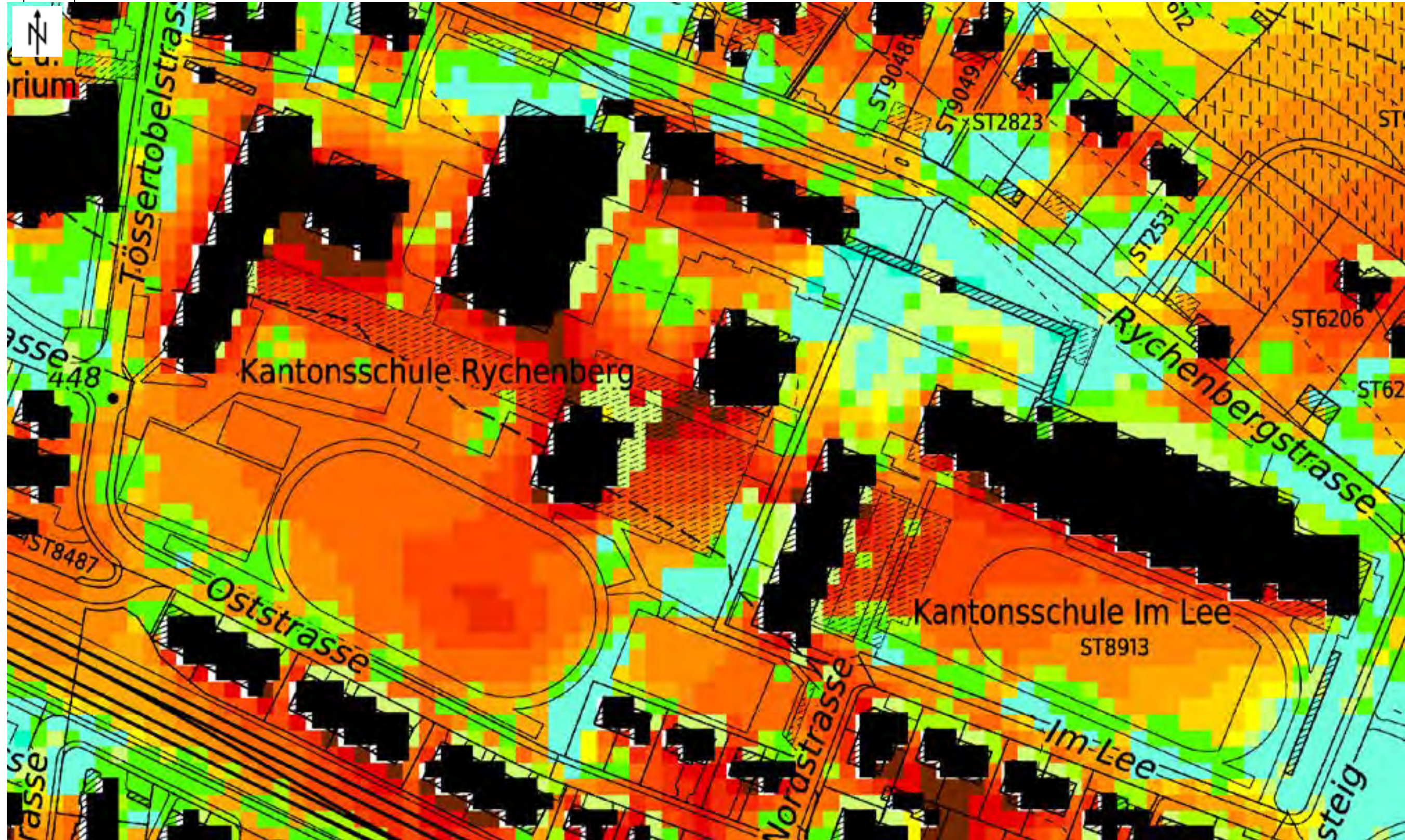
6 Hitzeanalyse | Kantonsschule Rychenberg

GIS Browser Winterthur

Internet Stadtplan Winterthur
<https://stadtplan.winterthur.ch>

Klimaanalyse Wärmebelastung (PET) Tag

Stadt Winterthur

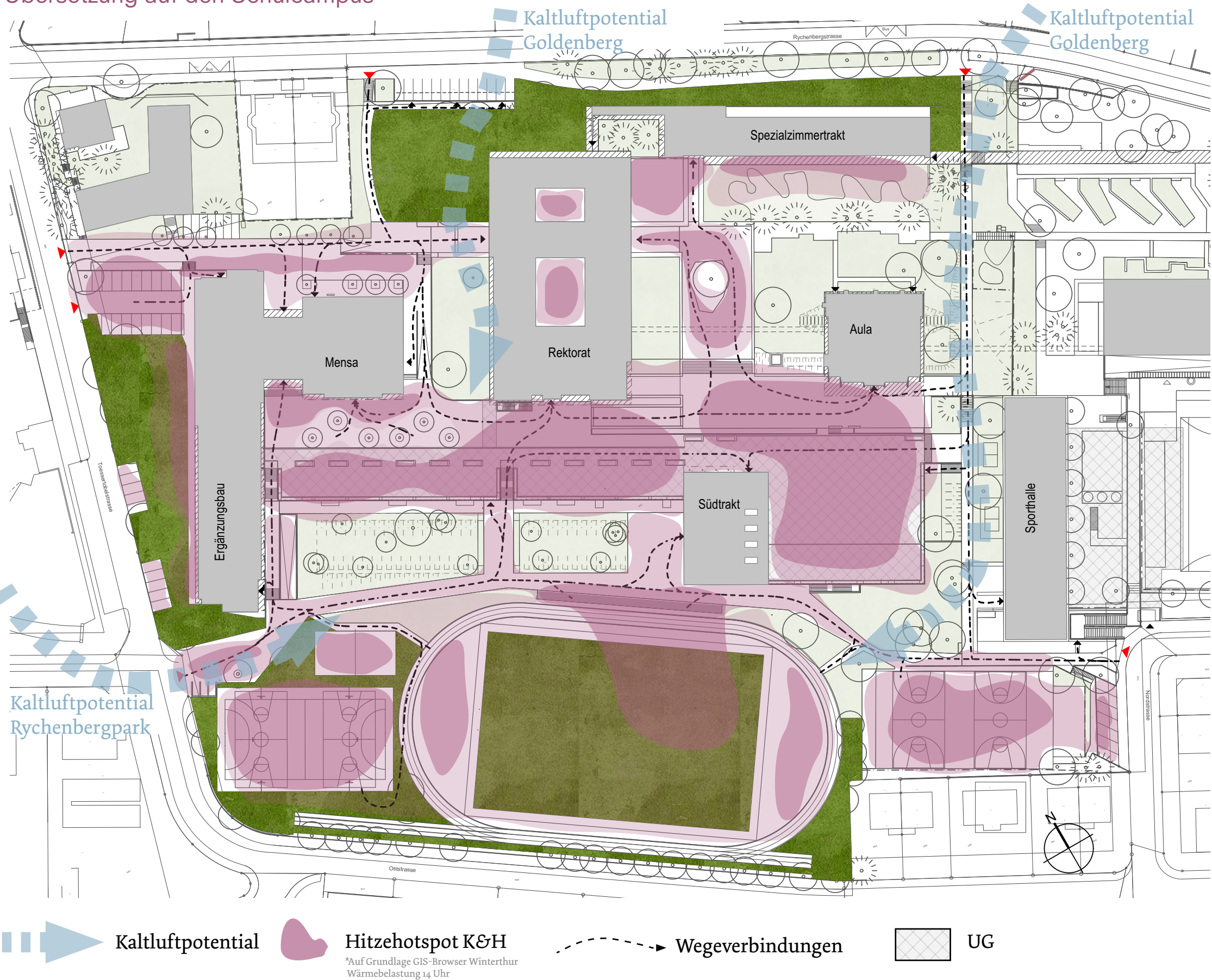


Zentrum: [2697865.45,1262334.64]
Masstab 1:1096

05.06.2024 15:41:28

Quellen: Stadt Winterthur, Kanton Zürich, Hallwag Kümmerly+Frey, Bundesamt für Landestopografie.

7 Hitzeanalyse | Kantonsschule Rychenberg
Übersetzung auf den Schulcampus



9 Impressionen Bestand | Kantonsschule Rychenberg

Fotos



Eingangsbereich Tösstobelstrasse, versiegelt



Terrasse Südtrakt, versiegelt



Terrasse Mensa/Turnhalle Südtrakt, versiegelt



Weg Südtrakt zu Spezialzimmertrakt



Grünes Band Haupttrakt/Südtrakt



Terrasse Turnhalle Südtrakt, Vollständig versiegelter Platz



Pausenplatz Haupttrakt Ost



Innenhöfe Haupttrakt



Stufenanlage/Tribüne Rundlaufbahn



Parkplätze

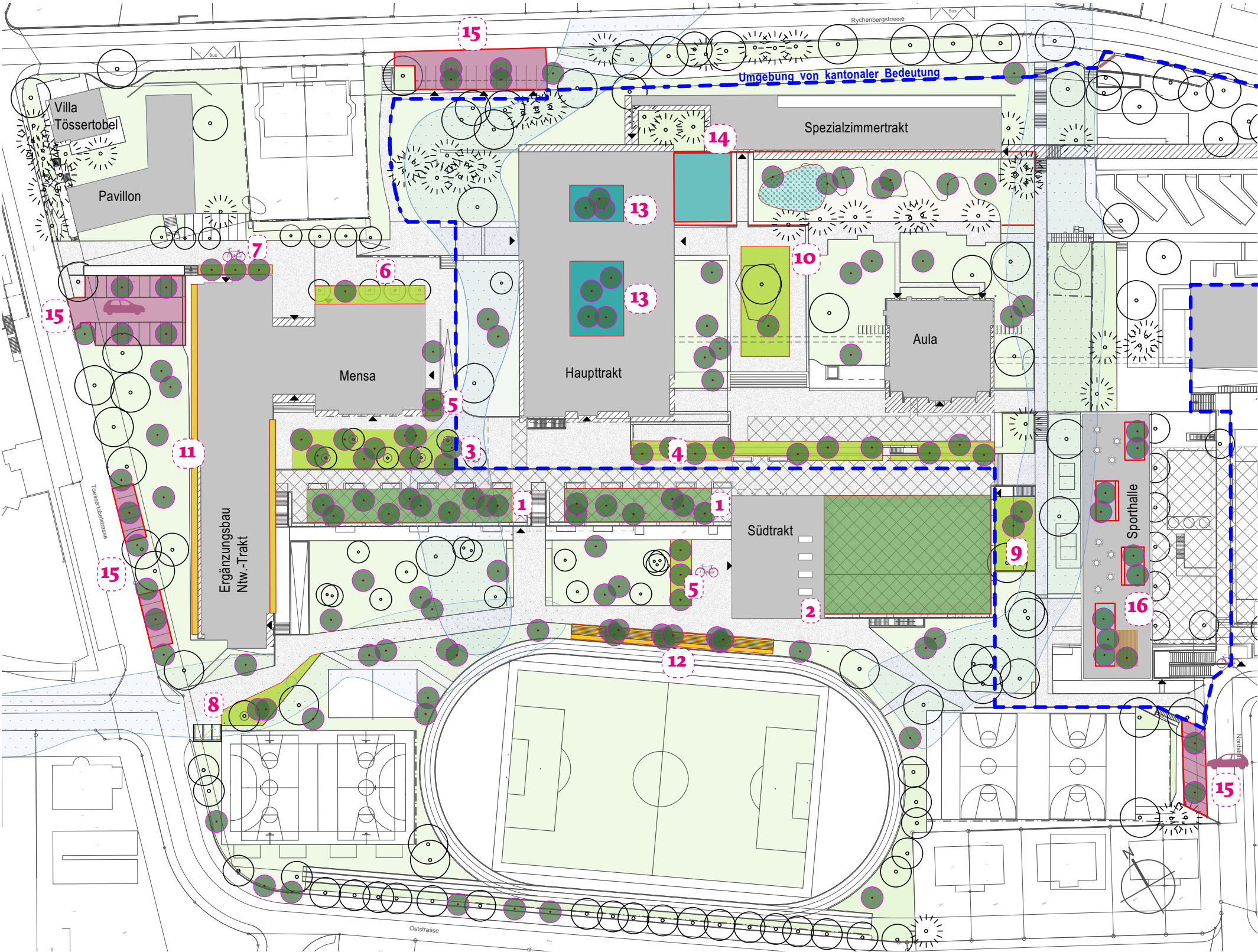


Pausenplatz Haupttrakt Ost



Brunnen Haupttrakt

10 Umsetzung Kantonsschule Rychenberg
Potentialkarte Hitzeminderung und Massnahmen



Nr.	Begrünung
1	Terrasse Südtrakt, intensive Begrünung
2	Terrasse Turnhalle Südtrakt, extensive Begrünung

Nr.	Entsiegeln & Begrünen
3	Mensa Terrasse, Chaussierung & Baumpflanzungen
4	Grünes Band Haupttrakt und Südtrakt
5	Punktueller Ergänzung
6	Baumreihe Mensa
7	Baumreihe Ergänzungsbau
8	Eingangsbereich Tössertobelstrasse
9	Böschung Turnhalle Südtrakt
10	Pausenplatz Haupttrakt Ost

Nr.	Fassadenbegrünung
11	Fassadenbegrünung Ergänzungsbau

Nr.	Tribüne Verschatten & Begrünen
12	Stufenanlage/Tribüne Rundlaufbahn

Nr.	Höfe und Bunnun
13	Innenhöfe Haupttrakt, begrünen
14	Grüne Transformation Brunnen & Retention

Nr.	Parkplätze
15	Entsiegeln, Begrünen & Baumpflanzungen

Nr.	Aussenklassenzimmer
16	„Dachfläche Sporthalle“ begrünte Aufenthaltsfläche

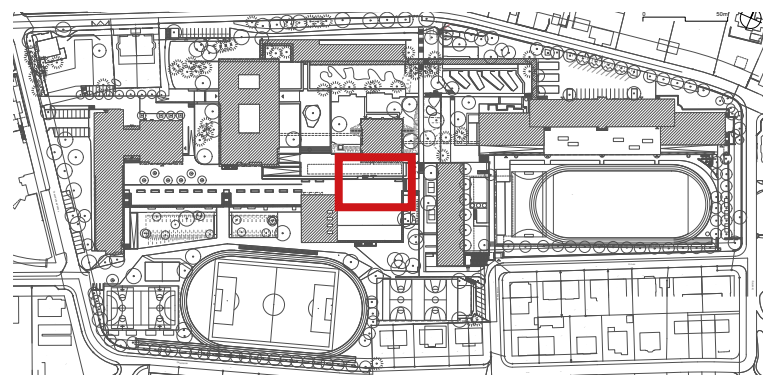
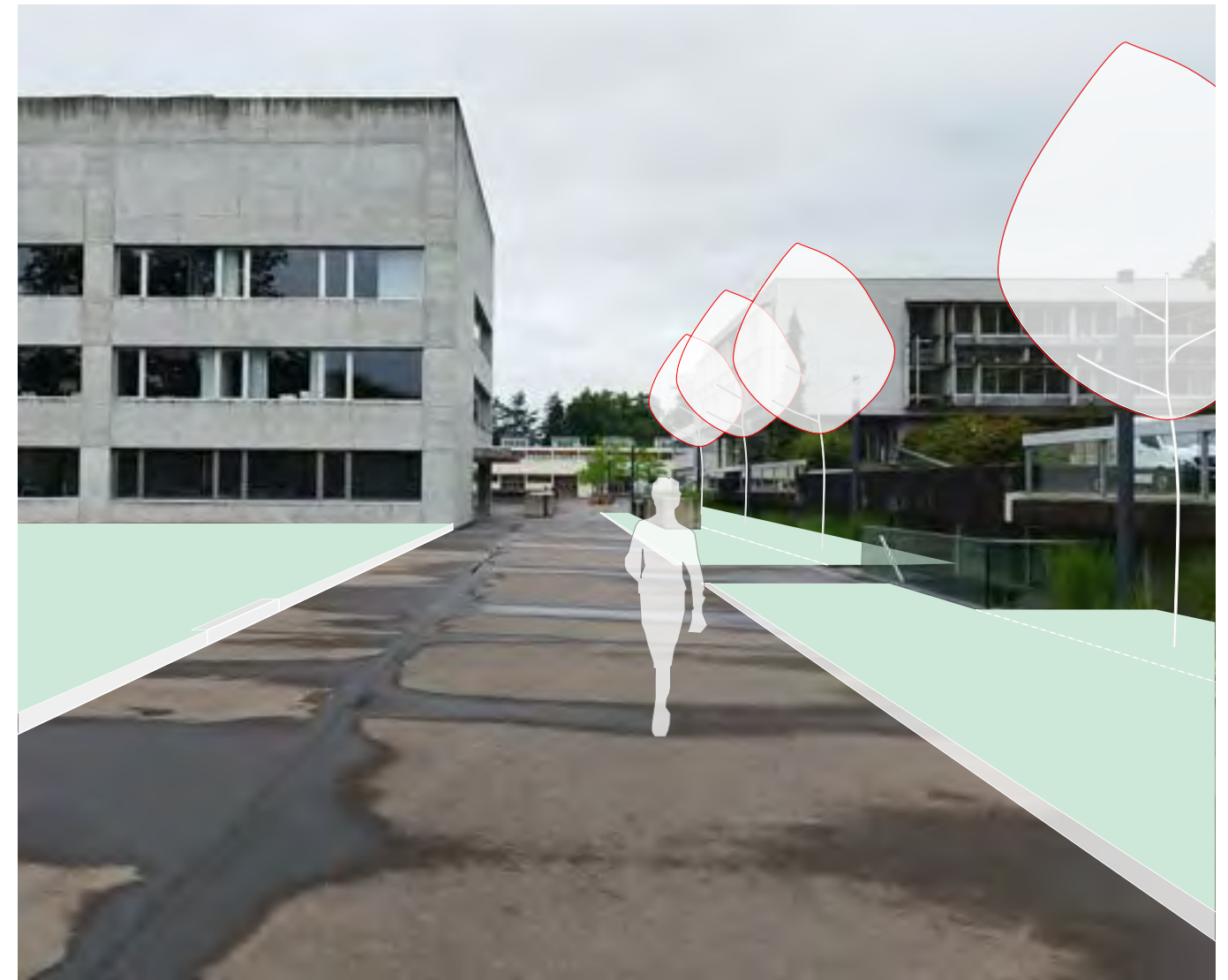
+ Kühlungseffekt

-



11 Exemplarische Umsetzung Kantonsschule Rychenberg

TB 2 - Terrasse Turnhalle Südtrakt



Intervention:

Entsiegeln, extensiver Aufbau, extensive Begrünung mit Gräsern und Kleinsträuchern

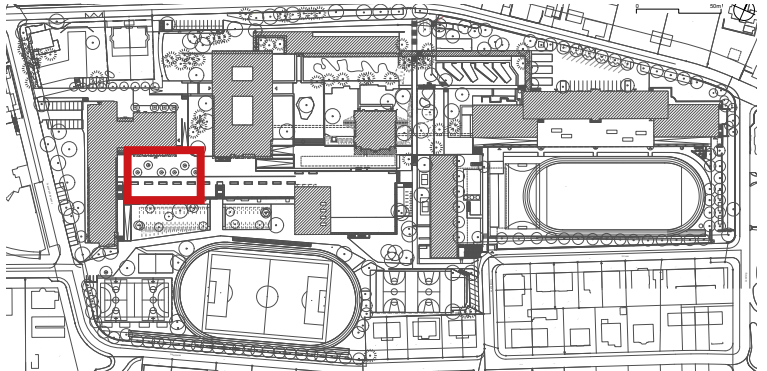
Kosten:

451'000.00 CHF

Herausforderungen:

Statik, Denkmalpflege, Abdichtung Turnhalle

TB 3 - Mensaterrasse

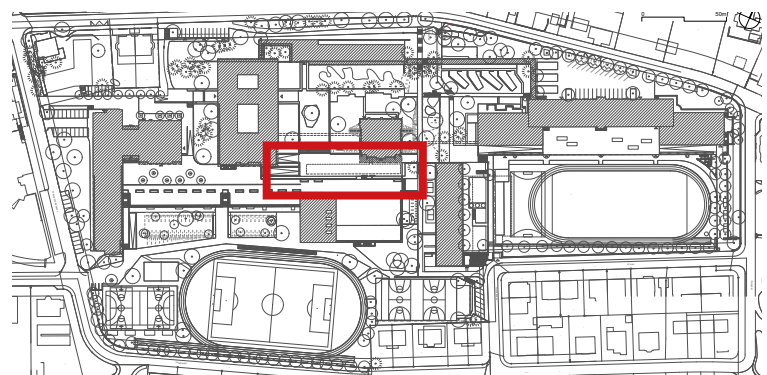
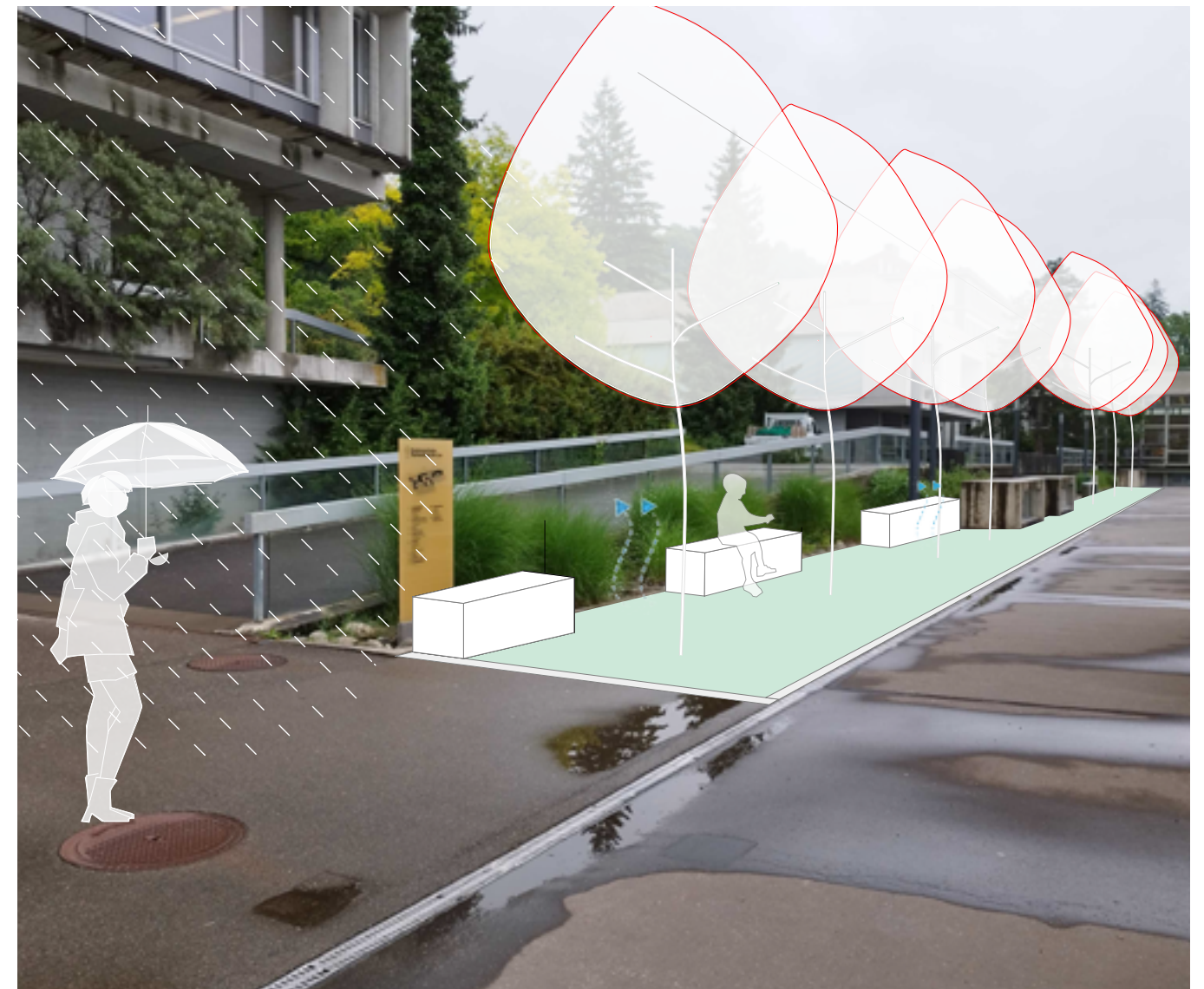


Intervention: Entsiegeln, ergänzende Baumpflanzungen

Kosten: 108'000.00 CHF

Herausforderungen: -

TB 4 - Grünes Band Haupttrakt/Südtrakt

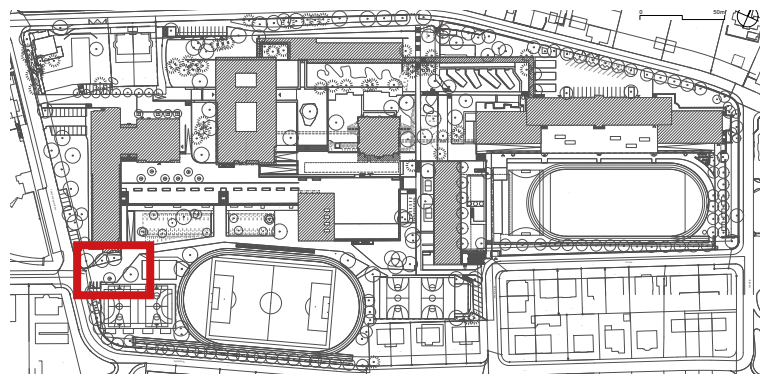


Intervention: **Grünes Band Haupttrakt und Südtrakt**

Kosten: 364'000.00 CHF

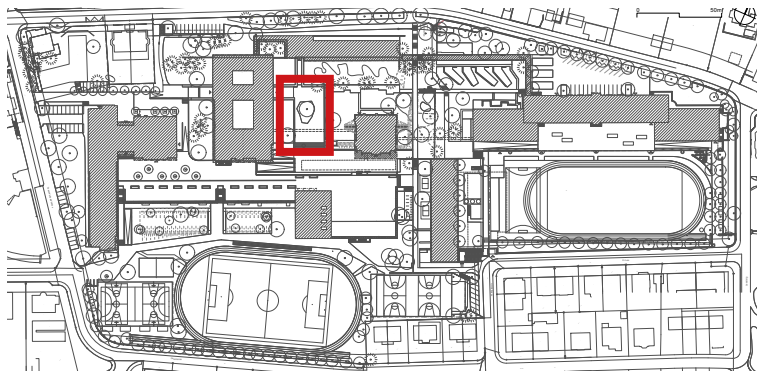
Herausforderungen: Bestehende Werkleitungen, Abdichtung UG Gebäude

TB 8 - Eingangsbereich Tösstobelstrasse



Intervention:	Entsiegeln, Begrünung, sowie Baumpflanzungen und Schaffung eines Aufenthaltsorts
Kosten:	52'000.00 CHF
Herausforderungen:	Bestehende Werkleitungen

TB 10 - Pausenplatz Haupttrakt Ost

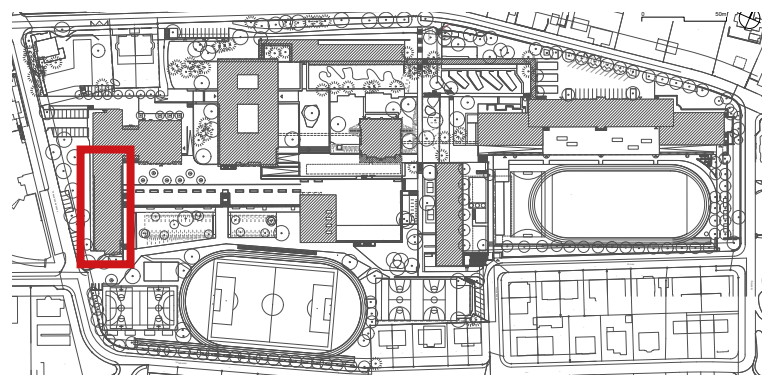


Intervention: **Entsiegung**

Kosten: 57'000.00 CHF

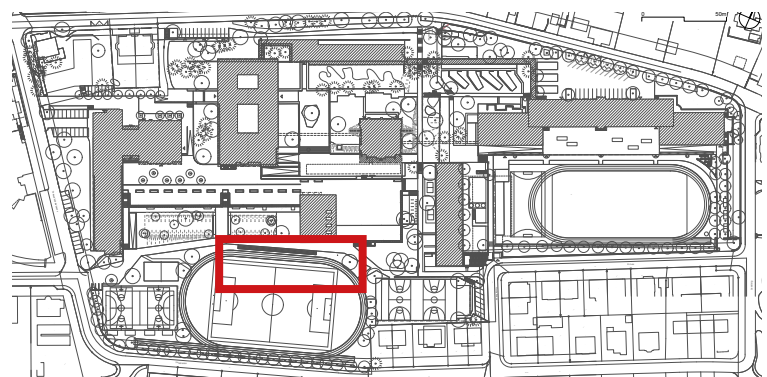
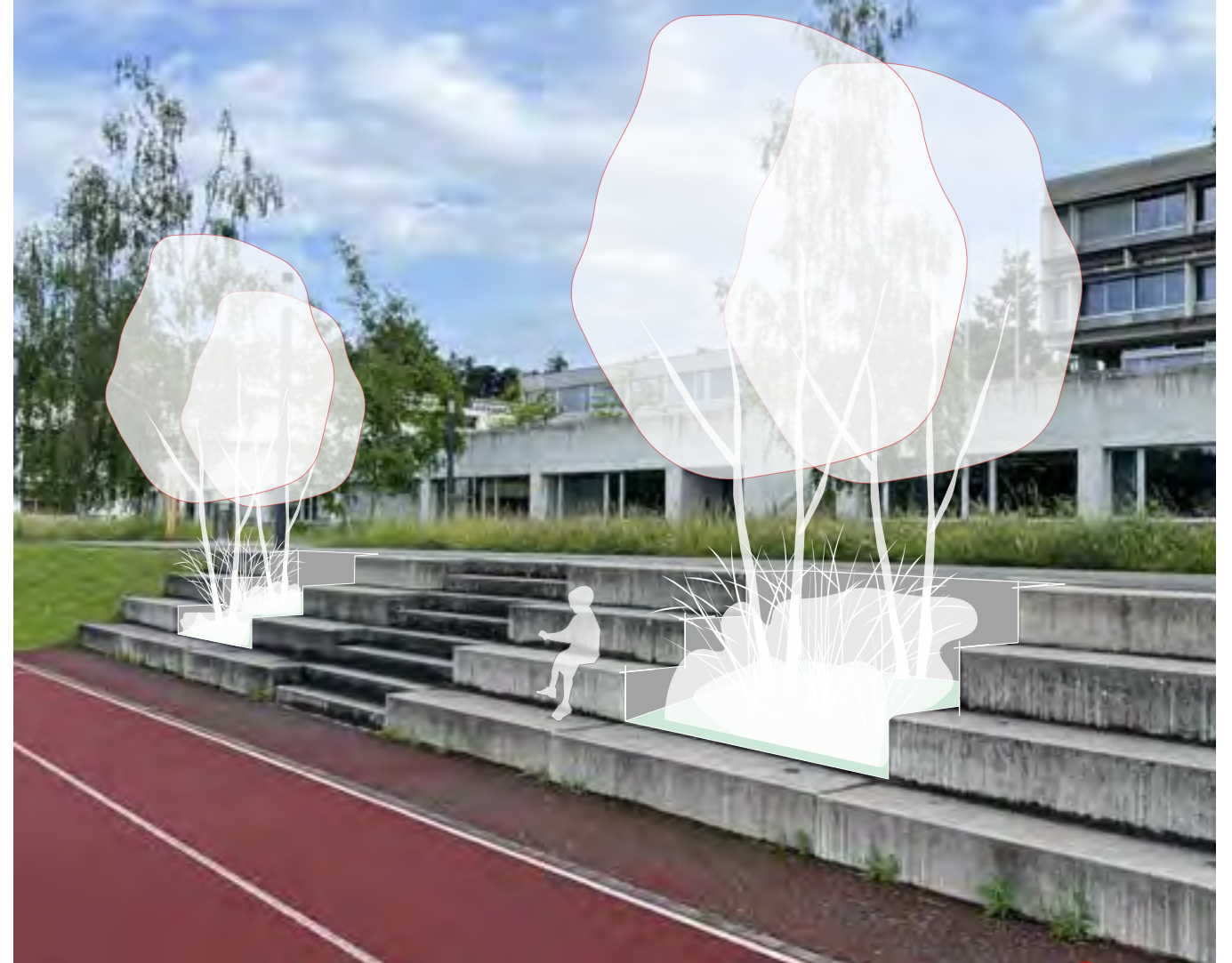
Herausforderungen: Wurzelschutz best. Eiche

TB 11 - Fassadenbegrünung Ergänzungsbau



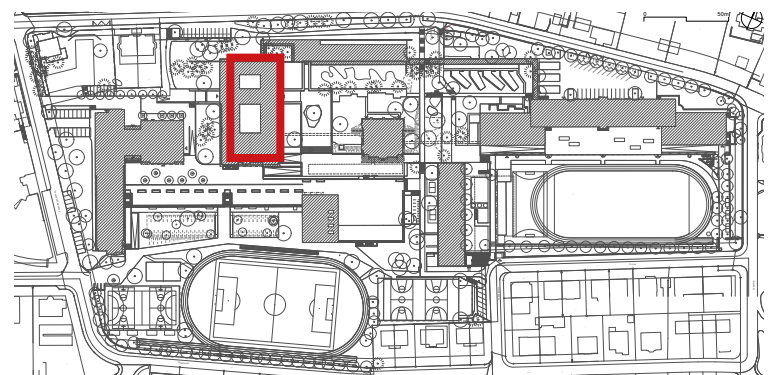
Intervention:	Fassadenbegrünung
Kosten:	165'000.00 CHF
Herausforderungen:	Brandschutz, Statik Rankhilfe, Denkmalschutz

TB 12 - Stufenanlage/Tribüne Rundlaufbahn



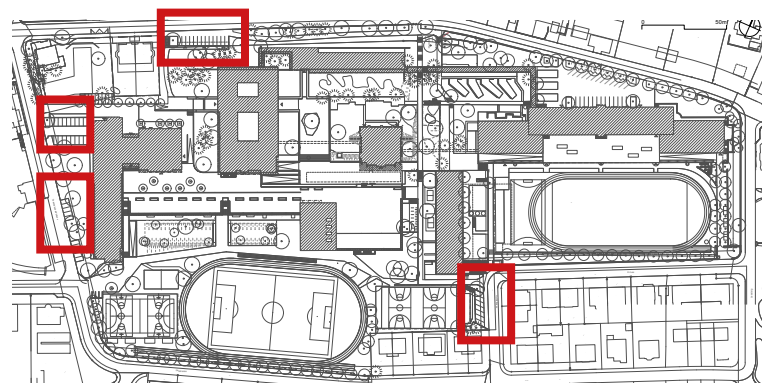
Intervention:	Tribüne verschatten durch Baumpflanzungen und Erhöhung Aufenthaltsqualität
Kosten:	201'000.00 CHF
Herausforderungen:	Zustand best. Stufenanlage

TB 13 - Innenhöfe Haupttrakt



Intervention:	Verschattung durch Baumpflanzungen und begrünte Fugen
Kosten:	168'000.00 CHF
Herausforderungen:	Denkmalpflege

TB 15 - Parkplätze



Intervention:

Entsiegeln, Begrünen & Baumpflanzungen

Kosten:

253'000.00 CHF

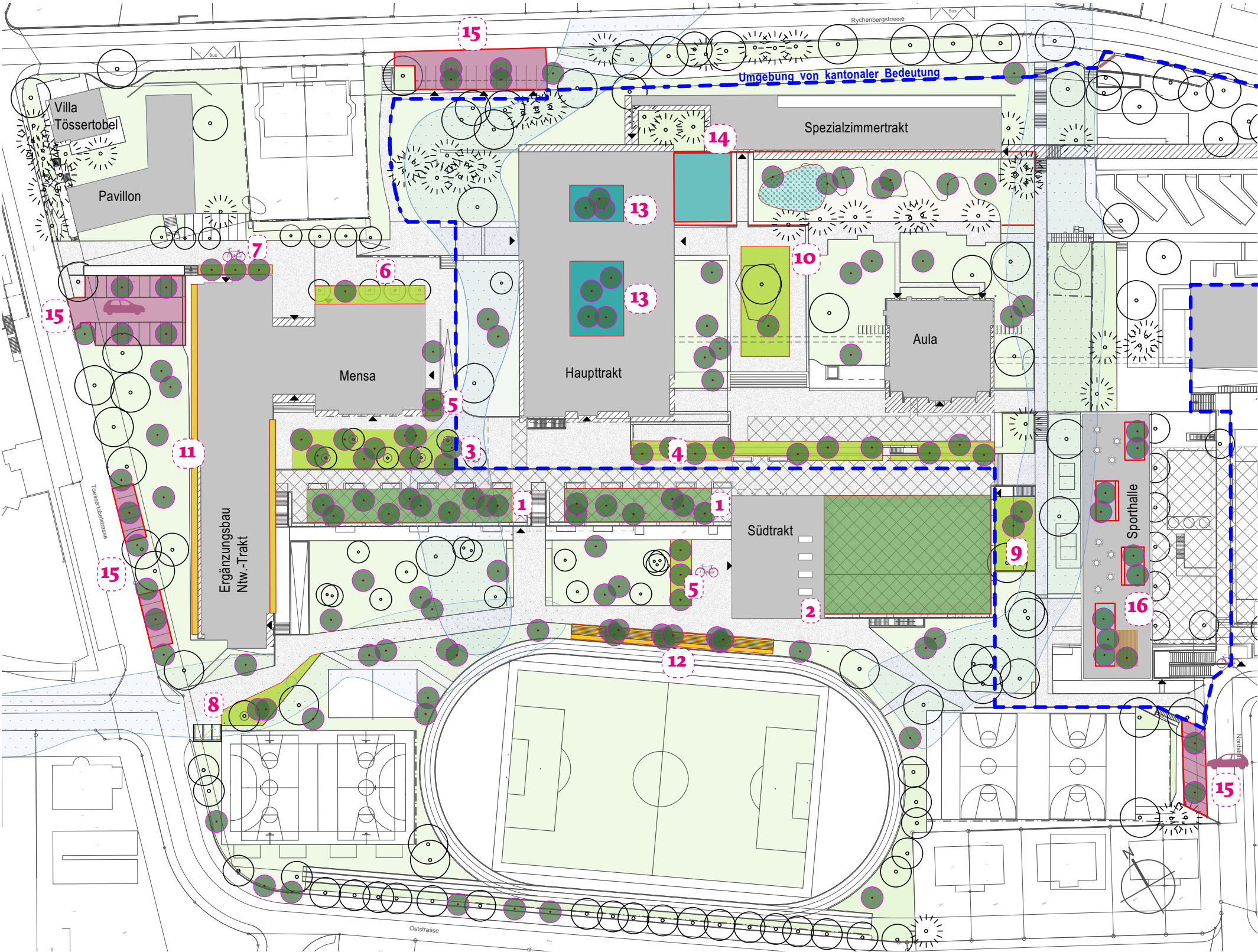
Herausforderungen:

Reduktion Anzahl Parkplätze durch Baumpflanzungen

12 Grobkostenschätzung

Objekt	Datum	Rev.
2501-10 - KRW Wärmeschutz, Winterthur	20.06.2024/sh	
Parameter		
- Projektstand: Konzept Sommerlicher Wärmeschutz, KuH 27.06.24		
- Preisstand: 2024		
- Kostengenauigkeit: +/- 25 %		
- Methodik: BKP		
- Reserven: 15% offen ausgewiesen		
- inkl. Honorare, Nebenkosten, MwSt.		
Bemerkungen		
- exkl. zusätzliche Abdichtung Gebäude		
- exkl. allfällige notwendige statische Verstärkung Gebäude		
- exkl. Aussenklassenzimmer auf Turnhalle A/B		
Zusammenstellung Erstellungskosten Teilbereiche		
Teilbereich 1 - Terrasse Südtrakt		724'000.00
Teilbereich 2 - Terrasse Turnhalle Südtrakt		451'000.00
Teilbereich 3 - Mensaterrasse		108'000.00
Teilbereich 4 - Grünes Band Haupttrakt/Südtrakt		364'000.00
Teilbereich 5 - Punktuelle Ergänzungen		37'000.00
Teilbereich 6 - Baumreihe Mensa		30'000.00
Teilbereich 7 - Baumreihe Ergänzungsbau		30'000.00
Teilbereich 8 - Eingangsbereich Tössertobelstrasse		52'000.00
Teilbereich 9 - Böschung Turnhalle Südtrakt		26'000.00
Teilbereich 10 - Pausenplatz Haupttrakt Ost		57'000.00
Teilbereich 11 - Fassadenbegrünung Ergänzungsbau		165'000.00
Teilbereich 12 - Stufenanlage/Tribüne Rundlaufbahn		201'000.00
Teilbereich 13 - Innenhöfe Haupttrakt		168'000.00
Teilbereich 14 - Brunnen Haupttrakt		108'000.00
Teilbereich 15 - Parkplätze		253'000.00
Areal - Ergänzende Baumpflanzungen		209'000.00
Total Erstellungskosten, inkl. Honorare, NK, MwSt.		2'983'000.00

13 Umsetzung Kantonsschule Rychenberg
Potentialkarte Hitzeminderung und Massnahmen



Nr.	Begrünung
1	Terrasse Südtrakt, intensive Begrünung
2	Terrasse Turnhalle Südtrakt, extensive Begrünung

Nr.	Entsiegeln & Begrünen
3	Mensa Terrasse, Chaussierung & Baumpflanzungen
4	Grünes Band Haupttrakt und Südtrakt
5	Punktueller Ergänzung
6	Baumreihe Mensa
7	Baumreihe Ergänzungsbau
8	Eingangsbereich Tössertobelstrasse
9	Böschung Turnhalle Südtrakt
10	Pausenplatz Haupttrakt Ost

Nr.	Fassadenbegrünung
11	Fassadenbegrünung Ergänzungsbau

Nr.	Tribüne Verschatten & Begrünen
12	Stufenanlage/Tribüne Rundlaufbahn

Nr.	Höfe und Bunnun
13	Innenhöfe Haupttrakt, begrünen
14	Grüne Transformation Brunnen & Retention

Nr.	Parkplätze
15	Entsiegeln, Begrünen & Baumpflanzungen

Nr.	Aussenklassenzimmer
16	„Dachfläche Sporthalle“ begrünte Aufenthaltsfläche

+ Kühlungseffekt

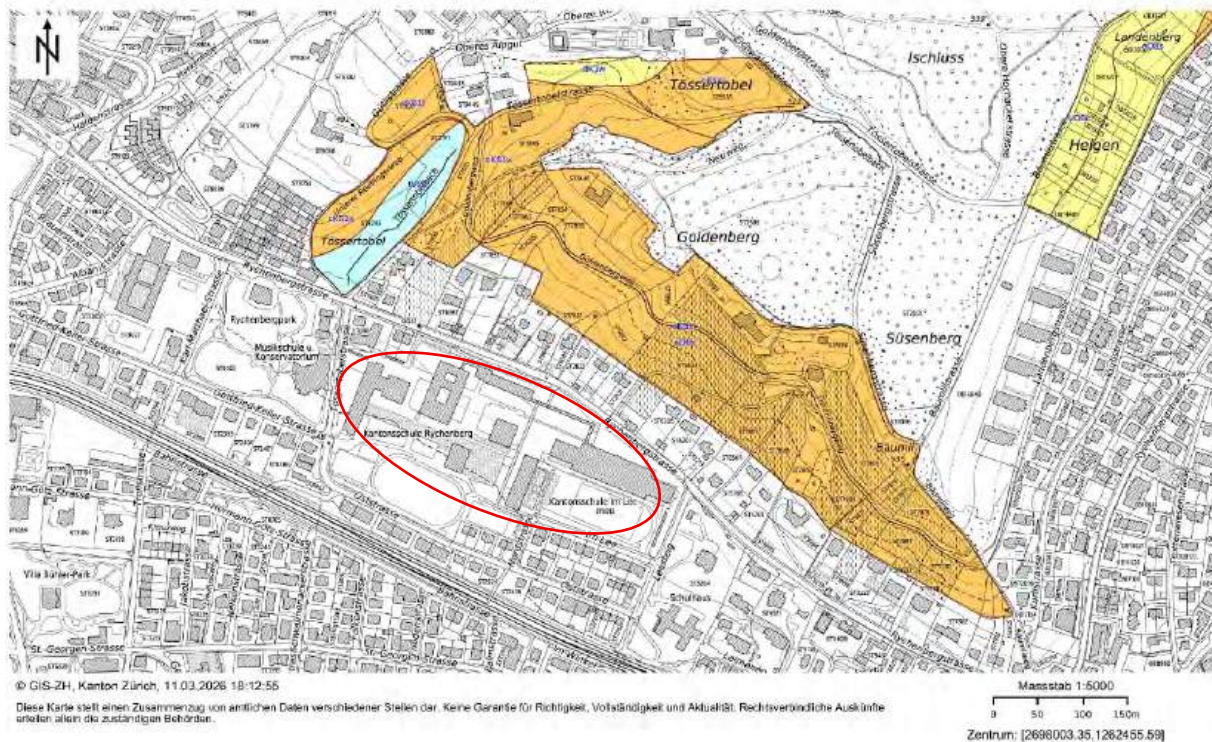
-



7.3.2 Ergänzungen Kapitel 1.4.3 «Bodenkarte»



Kanton Zürich
GIS-Browser (<https://maps.zh.ch>)
Bodenkarte



Wasserhaus- haltsklasse (Vernässungsart)	Pflanzennutzbare Gründigkeit (cm)						Wasserhaushaltsgruppe (Vernässungsgrad)
	sehr tief- gründig 100	tief- gründig 70	mässig tief- gründig 50	ziemlich flach- gründig 30	flach- gründig 10	sehr flach- gründig	
senkrecht durchwaschen	a	b	c	d	e		normal durchlässig
	-	f	g	h	i		stauwasserbeeinflusst
	-	k	l	m	n		grund- oder hangwasserbeeinflusst
stauwasser- geprägt	-	o		p		-	selten bis zur Oberfläche porengesättigt
	-	-	-	q	r		häufig bis zur Oberfläche porengesättigt
	-	s	t	u		-	selten bis zur Oberfläche porengesättigt
grund- oder hangwasser- geprägt *	-	-	v	w		-	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt
	-	-	-	x	y		meist bis zur Oberfläche porengesättigt
	-	-	-	-	-	z	dauernd bis zur Oberfläche porengesättigt

* blau = mineralische Böden, rosa = organische Böden

7.3.3 Ergänzungen Kapitel 2.2.3: Bewertungsmatrix Aufenthaltsqualitäten

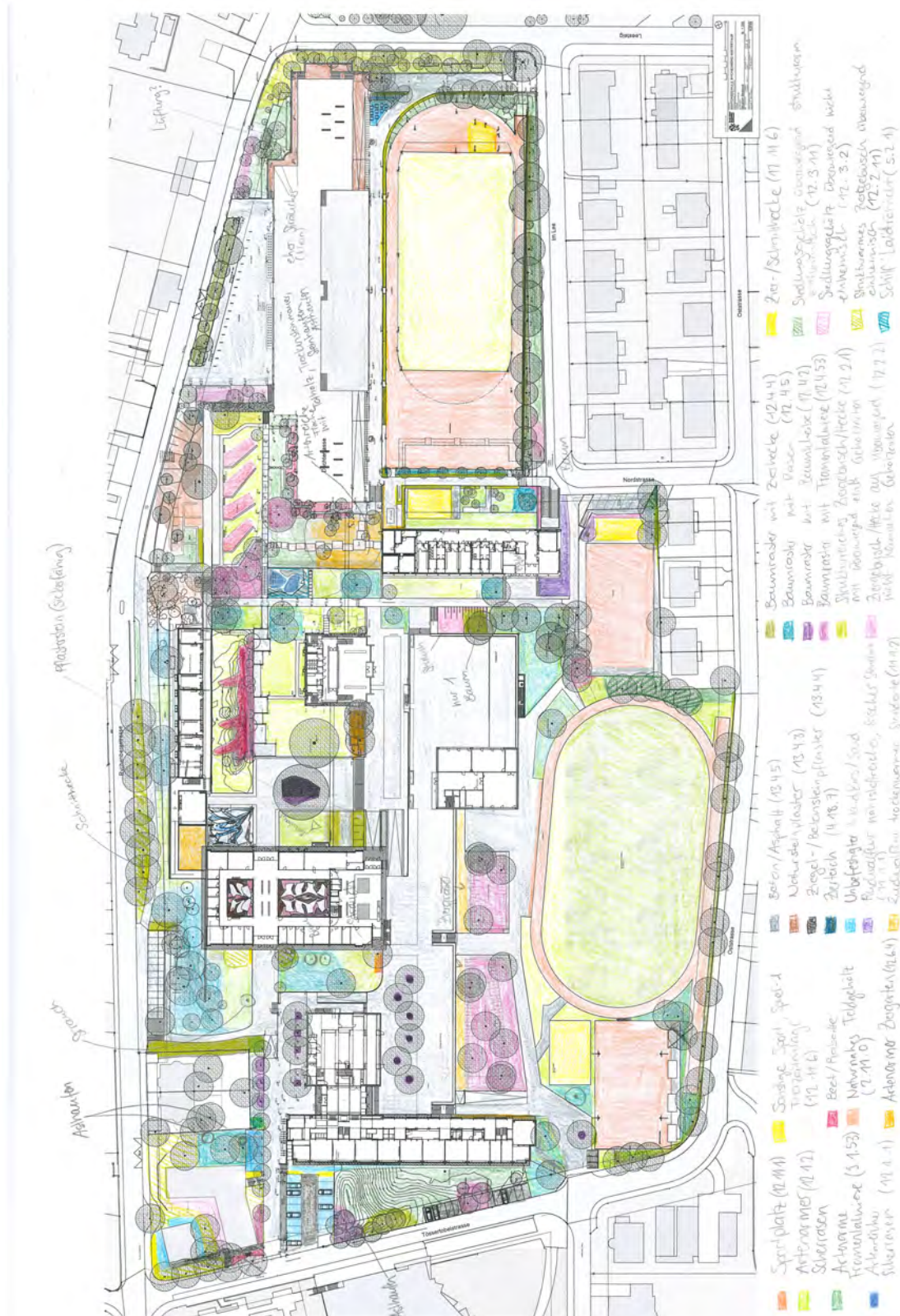
Bewertungskriterien für Spider Aufenthaltsqualitäten

Die Skala reicht von 1 bis 5:

- 1 sehr schwach / kaum vorhanden
- 2 schwach / verbesserungswürdig
- 3 durchschnittlich / akzeptabel
- 4 gut / weitgehend erfüllt
- 5 ausgezeichnet / vollständig erfüllt

Kriterium Biodiversität/ Ökologie	Ja/Nein / Erläuterung	Gesamtbewertung
Erlebnis 'Grün'		3
Qualität und Vielfalt der erlebbaren Grünflächen (z. B. Bepflanzung, Naturnähe, Pflegezustand)	Z.T. vorhanden, jedoch gibt es viele gemähte Rasenflächen, vgl. detaillierte Analyse der Biodiversität	3
Erholende und gesundheitsfördernde Wirkung (z. B. Stressreduktion, Sichtbarkeit, Luftqualität)	Z.T. vorhanden > dichtere Strauch- und Vegetationsflächen (z.B. Biotop, Rasenflächen mit Bäumen, Vegetation vor Klassenzimmern > Sichtbarkeit)	3
Sichtbarkeit und Zugänglichkeit von Ein- und Ausgängen (z. B. klare Wegeführung, Barrierefreiheit, Attraktivität, Grün)	Ein- und Ausgänge der Gebäude sind meist stark exponiert, insbes. Terrassen mit wenig Grün.	2
Durchgängigkeit für Fuss- und Radverkehr (z. B. sichere, attraktive Verbindungen zum städtischen Netz)	gute Durchlässigkeit für Fussverkehr / aufgrund der Topografie nicht für veloverkehr geeignet	
Sonnen- und Regenschutz		2
Menge und Qualität überdachter Bereiche (z. B. Pergolen, Sonnensegel, Bäume)	Übrdachungen nur wenig vorhanden, daher Wunsch nach mehr Beschattung / insbesondere im Lee weist wenig Sonnenschutz auf	
Ergonomie, Barrierefreiheit und Flexibilität der Möbel (z. B. Sitzgelegenheiten, Tische, Liegen)	Im Bereich der Mensa vorhanden, ansonsten eher wenig im Aussenbereich, Treppen und Stufen dienen als Sitzgelegenheiten	
Wartungszustand und Flexibilität der Möblierung (z. B.)		
Kommunikations- und Aufenthaltsräume		3
Abgeschränkte Rückzugsorte (z. B. Ruhezonen,	z.T vorhanden (z.B. Biotop)	3
Offene Begegnungszonen (z. B. Sitzgruppen, Sichtbarkeit,	Flächen vorhanden, Sitzgruppen weniger	3
Flächen für aktive Bewegung (z. B. Spiel-,	viele Flächen vorhanden, jedoch oft nicht richtig nutzbar	3
Möglichkeit zur temporären Umnutzung (z. B. flexible	nicht vorhanden	1
Unterrichtsbezogene Freiräume		2
Vorhandensein und Qualität von Biotopen/Schulgärten	vgl. detaillierte Bewertung Biodiversität	3
Aussenklassenbereiche (z. B. Ausstattung, Wetterschutz,	nein, eher nicht vorhanden	2
Bühnen/Veranstaltungsflächen (z. B. Größe, Ausstattung,	nein, eher nicht vorhanden	1
Spezialisierte Arbeitsbereiche (z. B. vor Klassenzimmern,	nein, eher nicht vorhanden	1
Sicherheits- und Aufsichtskonzepte (z. B.)		

7.3.4 Ergänzungen Kapitel 2.3: Floristische Bestandsaufnahme



7.3.5 Ergänzungen Kapitel 2.3.4: Bewertungsmatrix Ökologische Bewertung

Bewertungskriterien für Spider Ökologie / Biodiversität

Die Skala reicht von 1 bis 5:

- 1 schlecht / gering
- 2 entsprechend zw. 1 und 3
- 3 einige / teilweise
- 4 entsprechend zw. 3 und 5
- 5 gut / flächendeckend / hoch / zahlreich

Kriterium Biodiversität/ Ökologie	Ja/Nein	Gesamtbewertung
Vernetzung		2
Vernetzungselemente (offene Flächen, Hecken, Gehölzgruppen, Gewässer, etc.) vorhanden?	Ja, grundsätzlich schon, jedoch nicht unbedingt kontinuierlich. Gehölzstrukturen oft nicht sehr strukturreich, spezifisch Hecken oft mit Formschnitt, Gewässer (Zierteich) eingezäunt, Brunnen zwar nicht eingezäunt, jedoch sehr naturfern	
Hindernisse in Mobilität von Tieren (Zäune, Mauern, Strassen, etc.) vorhanden?	Viel asphaltierte Flächen und der Campus sehr verwinkelt inklusive vielen kleinen Treppen Zäune und Mauern vorhanden Südlich viel mit Maschendraht eingezäunt, aufgrund der Sportflächen -> nur an wenigen Stellen für grössere Tiere durchlässig. Auf gegenüberliegenden Seite sind strukturreiche Gärten vorhanden, weiter südlich jedoch Bahngleise. Ostseite eingeschränkte Durchlässigkeit aufgrund von Mauer Westseite ebenfalls durch Maschendrahtzaun teilweise eingeschränkte Durchlässigkeit, Konservatoriumspark als nächstes Trittsteinbiotop Nordseite des Areals mehrheitlich durchlässig, teilweise durch Maschendrahtzaun oder Mauerabschnitte leicht behindert. Ganzes Areal von Strassen umgeben, die ein weiteres Hindernis darstellen, wobei insbesondere die nördliche am stärksten befahren wird. Weiter südlich jedoch Bahngleise als Hindernis.	
Ungestörte Bereiche		3
Gibt es Bereiche, die ruhig, kunststofffrei und ungenutzt sind?	Ja, aber nur kleinflächig und spärlich vorhanden. Genutzt werden sicher einige Flächen nicht, jedoch insbesondere die Gehölzstrukturen oft nicht sehr dicht und eher strukturarm. Deshalb sind vermutlich viele Flächen nicht frei von Kunstlicht (je nach dem wie die nächtliche Beleuchtung	
Vielfalt an Strukturelementen (Bäume, Sträucher, Stauden, Rasen, Totholz, etc.)		3
Sind verschiedene naturnahe Elemente wie folgende vorhanden?	Ja, jedoch sehr vereinzelt und kleinräumig. Potenzial nach oben, wäre insbesondere der Vernetzung auf dem Campus selbst dienlich. Da nicht wirklich kontinuierliche Strukturen vorhanden sind. Bäume und Sträucher sind jedoch einige vorhanden, ebenso artenarme Rasen. Totholz auch eher	
Ruderalflächen	Ja	
Blumenwiesen	Ja (aber eher artenarme Wiesen)	
Wildhecken	Ja, aber von geringem Ausmass und oft nicht sehr strukturreich	
Trockenmauern	ja in kleinem Ausmass	
Ast- und Steinhäufen	ja, paar sind vorhanden	
Weiteres	Bienen- und Vogelhaus, Totholz (wenig)	
Pflanzenbestand (Standortgerecht, einheimisch, Neophyten)		3
Sind die bestehenden Pflanzen einheimisch?	ca. 60-70%,	
Sind die bestehenden Pflanzen standortgerecht?	eher ja? (keine konkrete Bestandsaufnahme von Arten gemacht)	
Ist der Pflanzenbestand reich an Arten?	mässig	
Sind invasive Neophyten vorhanden?	Ja (mind. Robinie, Kirschlorbeer)	
Altersstrukturen		4
Sind die Strukturelemente alt?	Keine sehr alten, aber dennoch ältere Bäume sind vorhanden.	
Wie ist die Durchmischung von untersch.	Durchmischung hat durch diverse Neupflanzungen von Bäumen stattgefunden	
(Pflege / Unterhalt (Naturnahe Pflege))		
Pflege augenscheinlich naturnah? (Toleranz	Laub wird nicht liegengelassen, Anteil naturnaher Profile eher gering	
(Nutzung)		
Werden die Grünräume genutzt, wenn ja, wie?	Aufgrund kalter Temperaturen konnten nur in der Nähe der Mensa die Nutzung der Bänke (nicht im Grünraum per se) und die Nutzung des Sportplatzes beobachtet werden.	#NAME?

7.3.6 Ergänzungen Kapitel 4.4: Massnahmenpakete 2035 / 2060

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.1 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2035



Abb.2 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2035

LANDSCAPE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.3 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2035

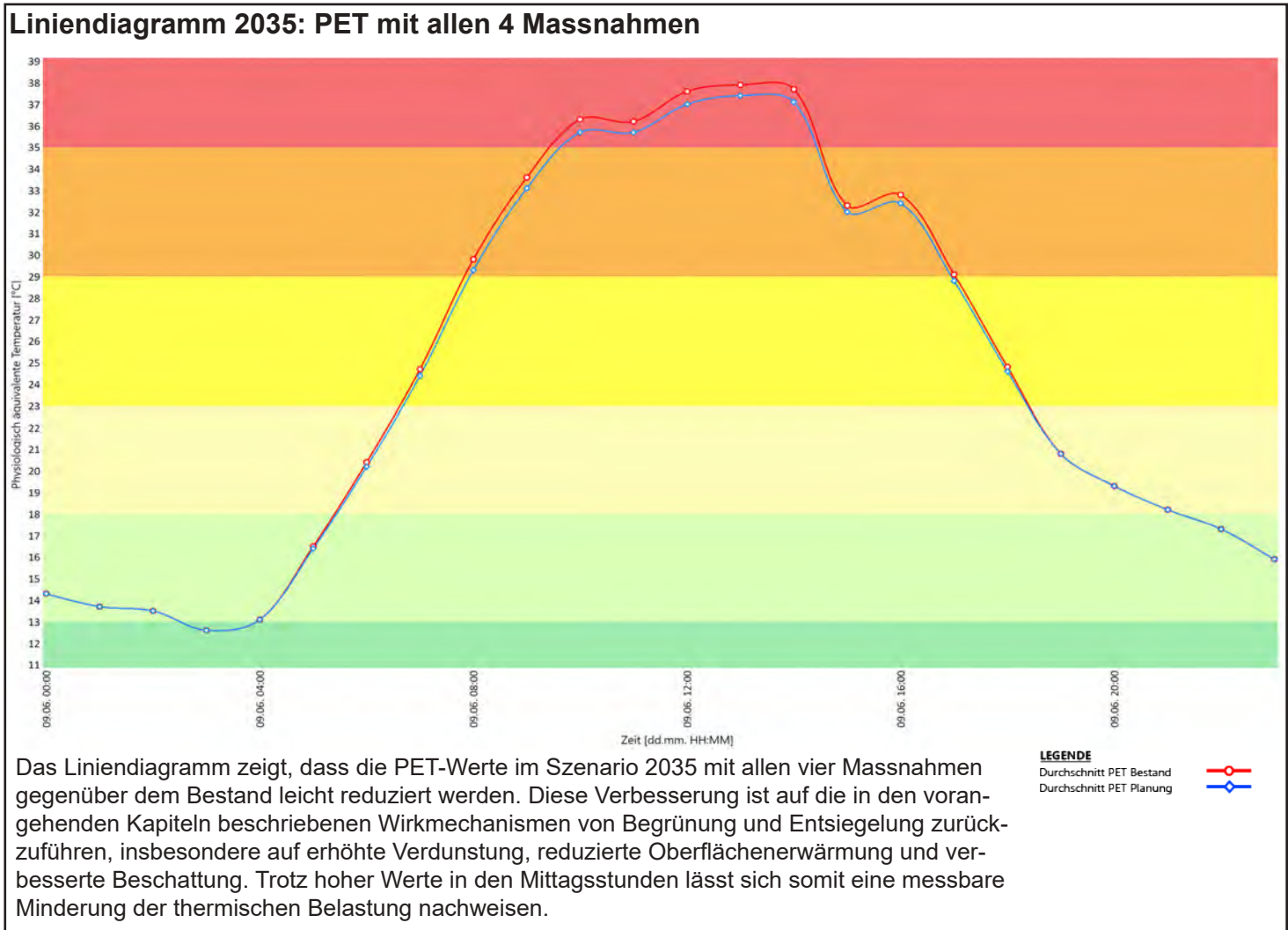


Abb.4 Diagramm Durchschnittliche PET im Jahr 2035

LANDSCAPE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.5 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2035



Abb.6 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2035

LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.7 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2035

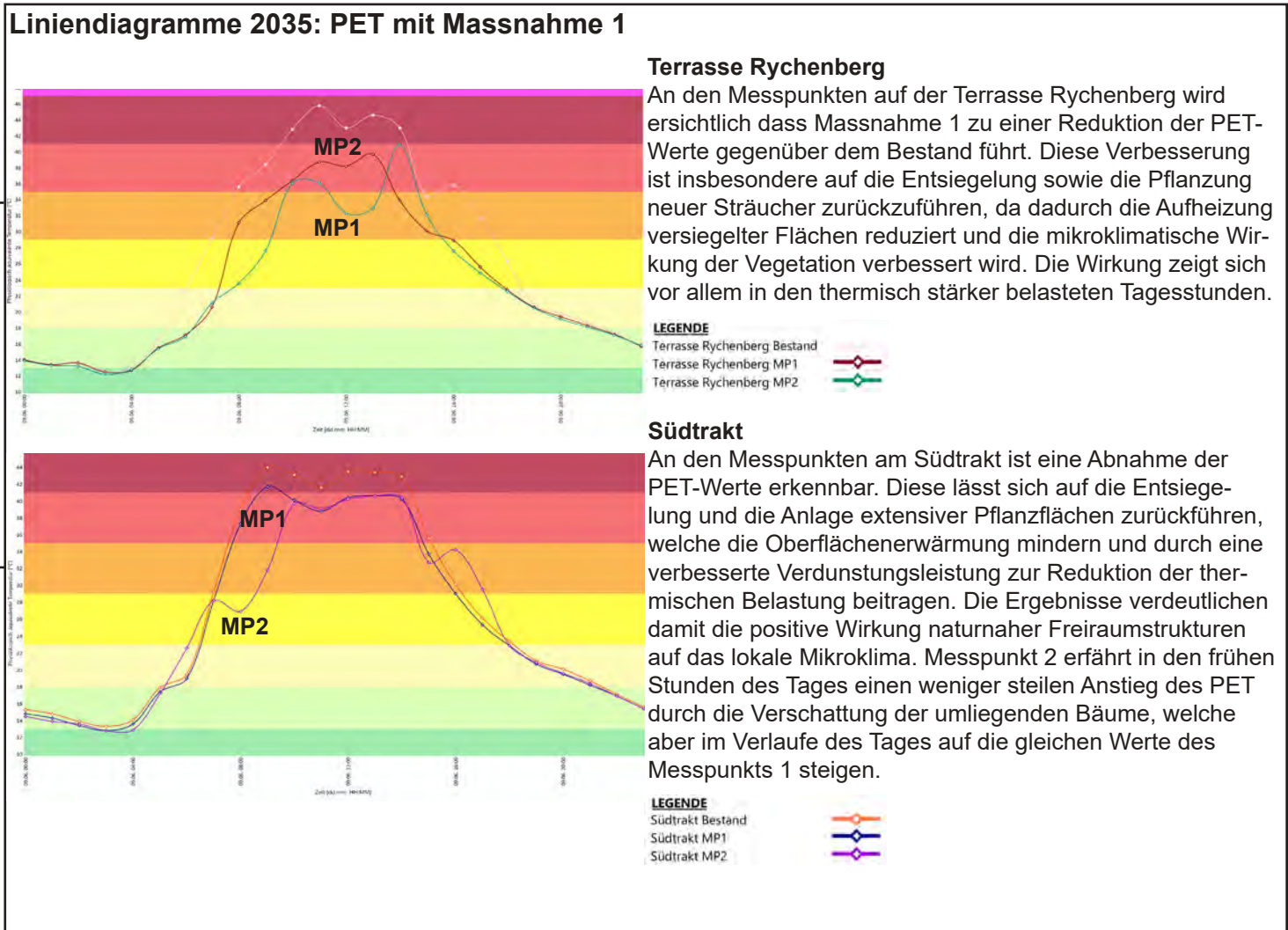


Abb.8 Diagramm durchschnittliche PET Massnahme 1 im Jahr 2035

LANDSCAPE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.9 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2035



Abb.10 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2035

LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.11 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2035

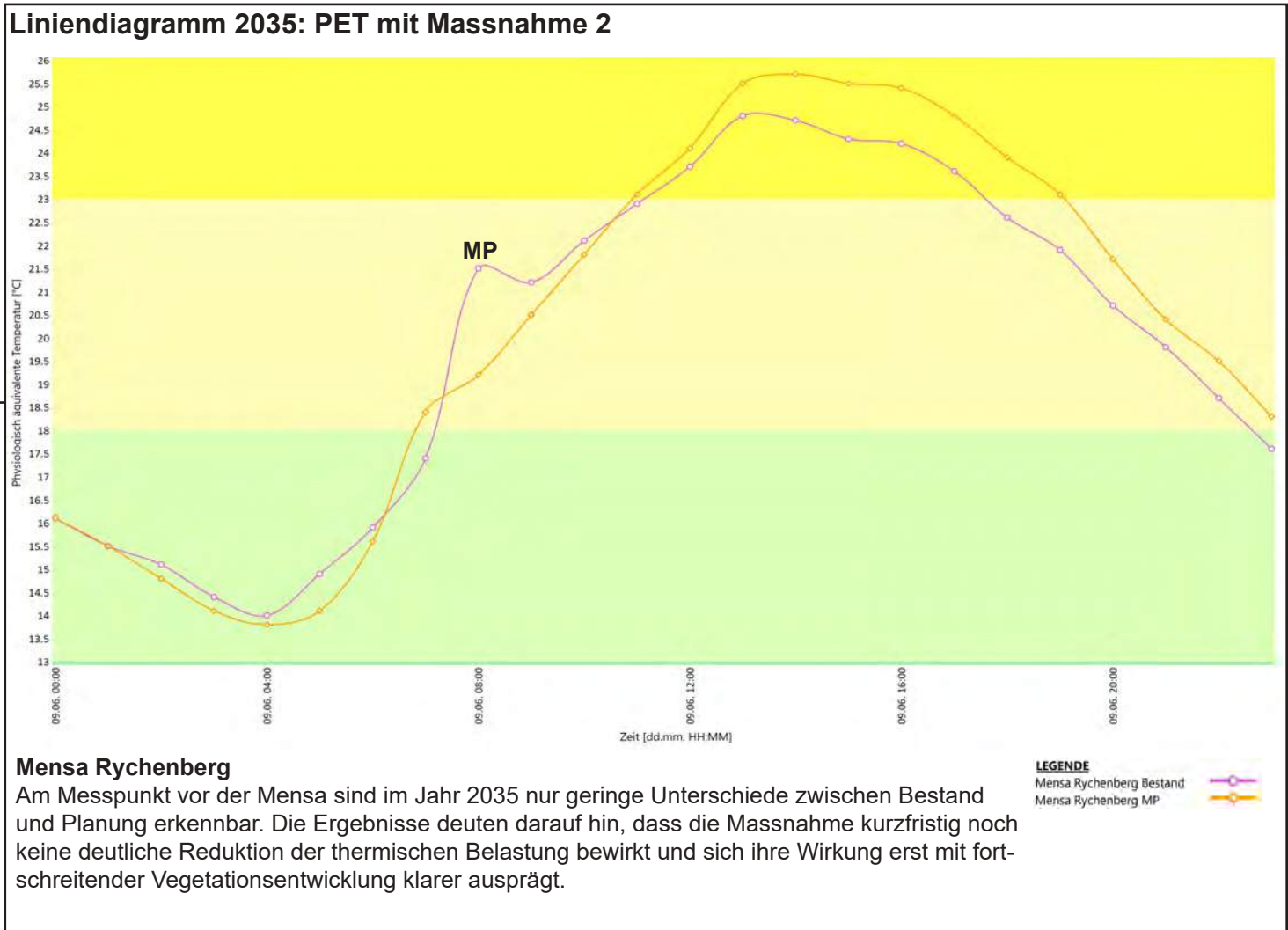


Abb.12 Diagramm durchschnittliche Massnahme 2 PET im Jahr 2035

LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.13 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2035



Abb.14 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2035

LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.15 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2035

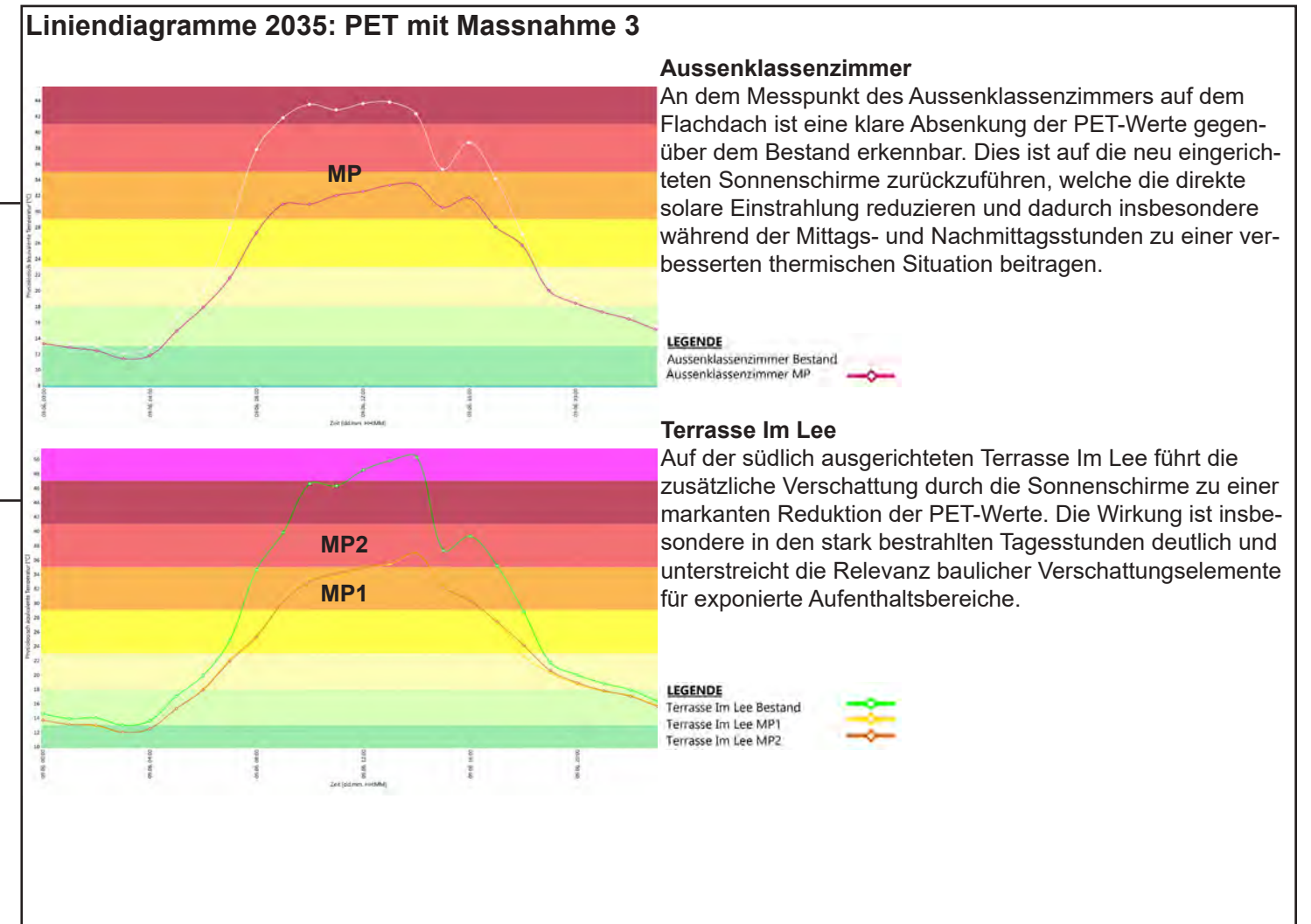


Abb.16 Diagramm durchschnittliche PET Massnahme 3 im Jahr 2035

LAND SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.17 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2035



Abb.18 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2035

LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2035 (Landscape)



Abb.19 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2035

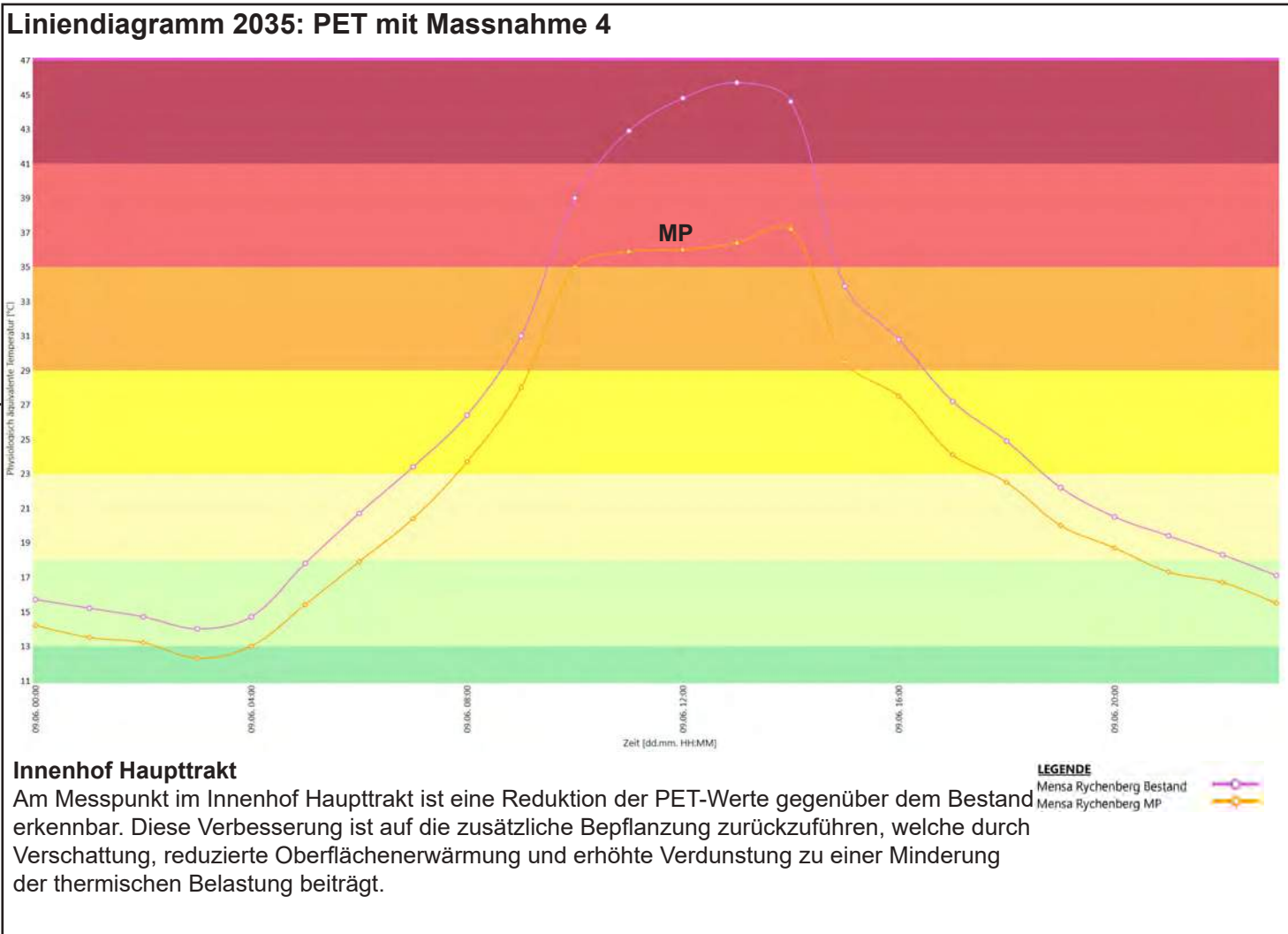


Abb.20 Diagramm durchschnittliche Massnahme 4 PET im Jahr 2035

LANDSCAPE

7.3.6 Ergänzungen Kapitel 4.4: Massnahmenpakete 2060

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



Abb.21 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2060



Abb.22 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2060

LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



Abb.23 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2060

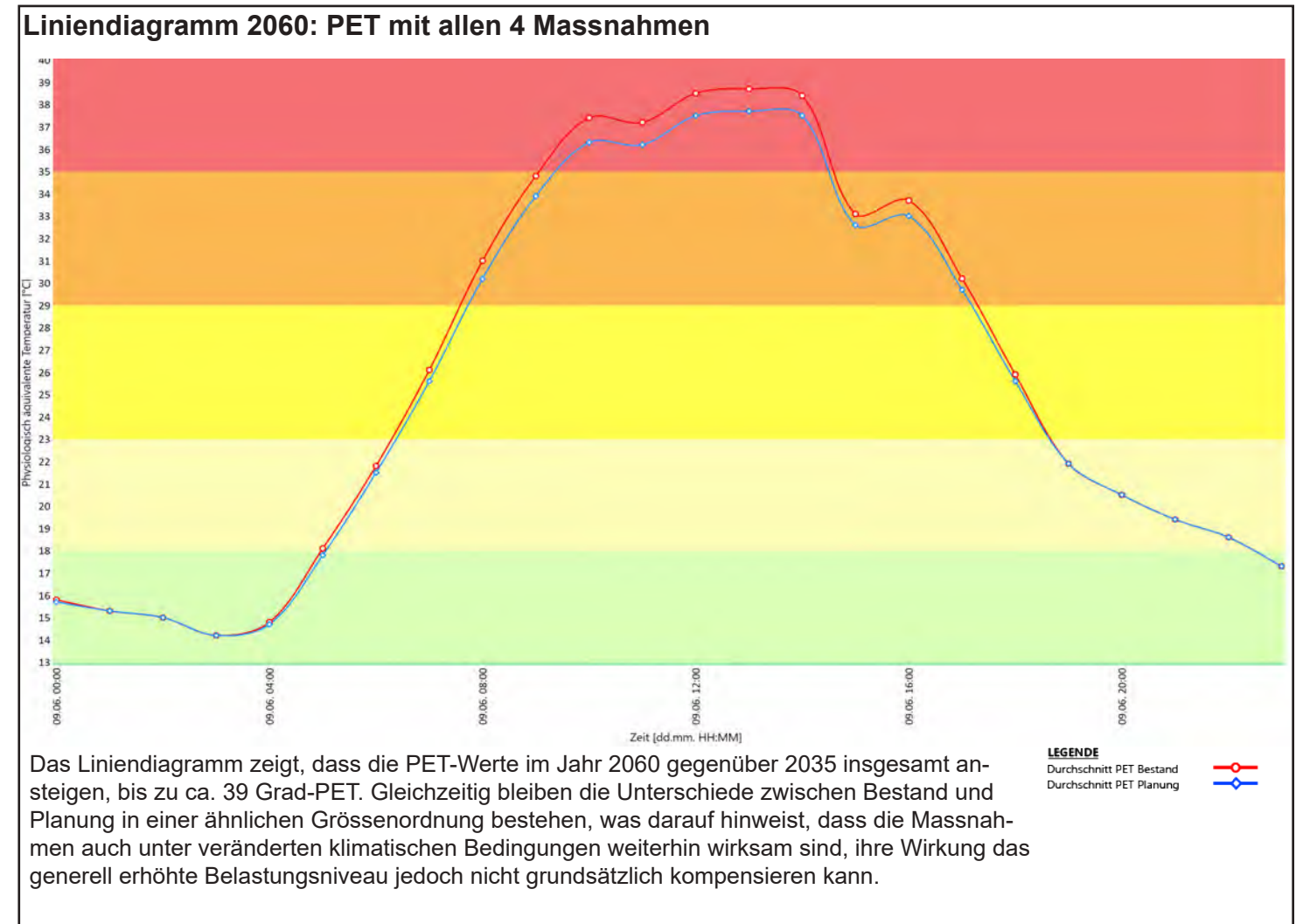


Abb.24 Diagramm Durchschnittliche PET im Jahr 2060

LAND SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



Abb.25 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2060



Abb.26 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2060

LANDSCAPE

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



Abb.27 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2060

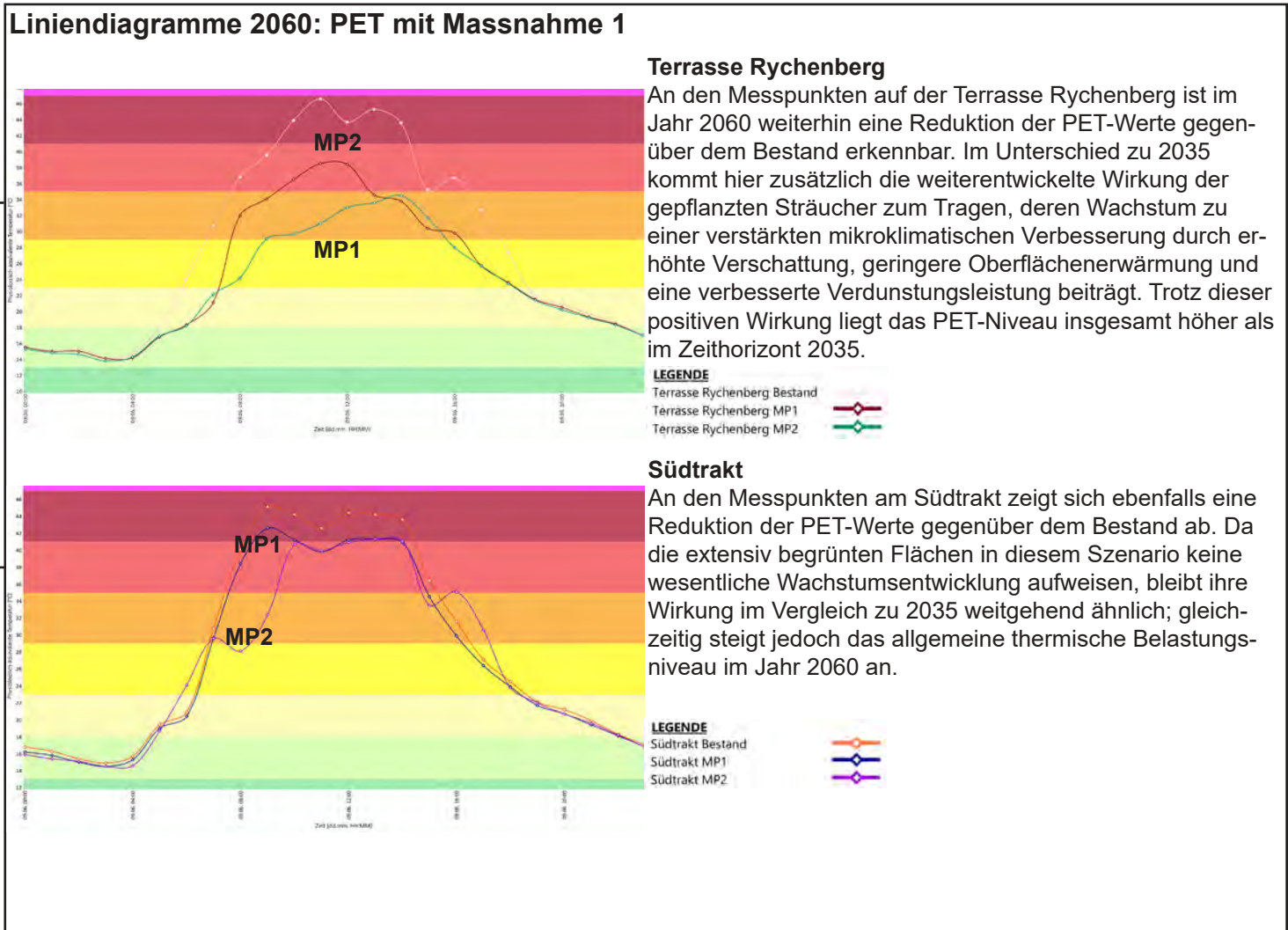


Abb.28 Diagramm durchschnittliche PET Massnahme 1 im Jahr 2060

LANDSCAPE

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



Abb.29 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2060

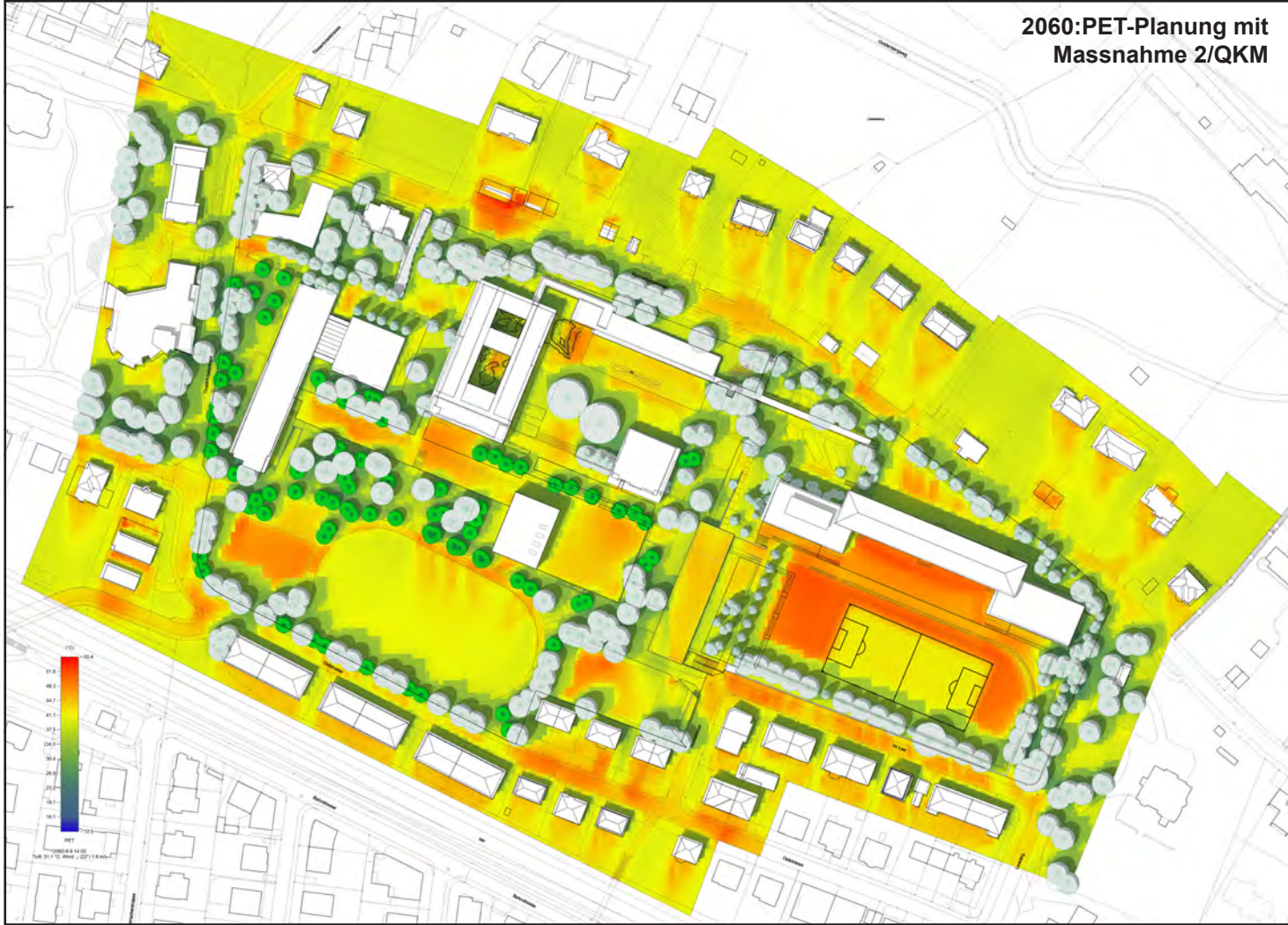
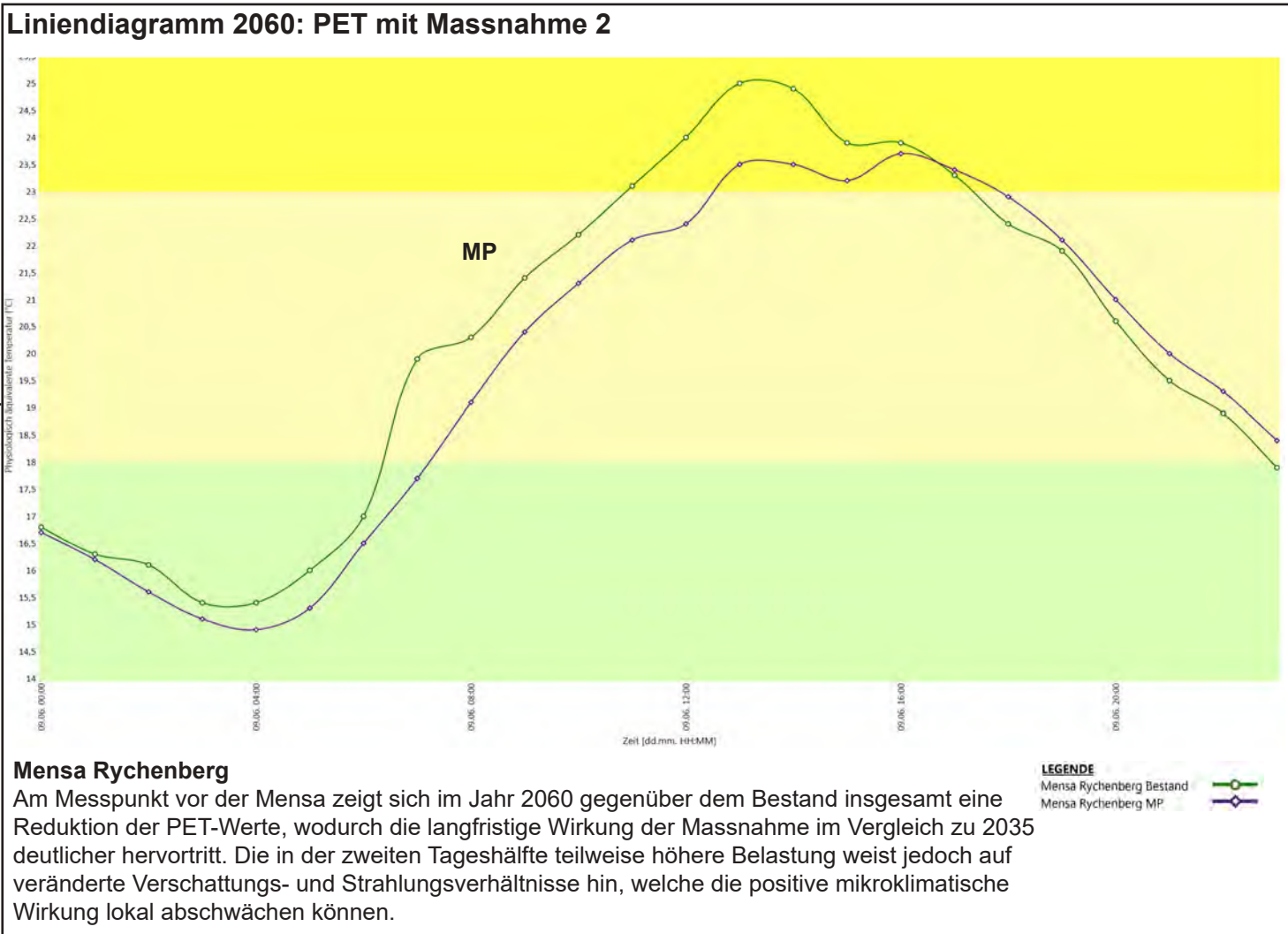


Abb.30 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2060

LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



Abb.33 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2060



Abb.34 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2060

L A N D
S C A L E

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



Abb.35 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2060

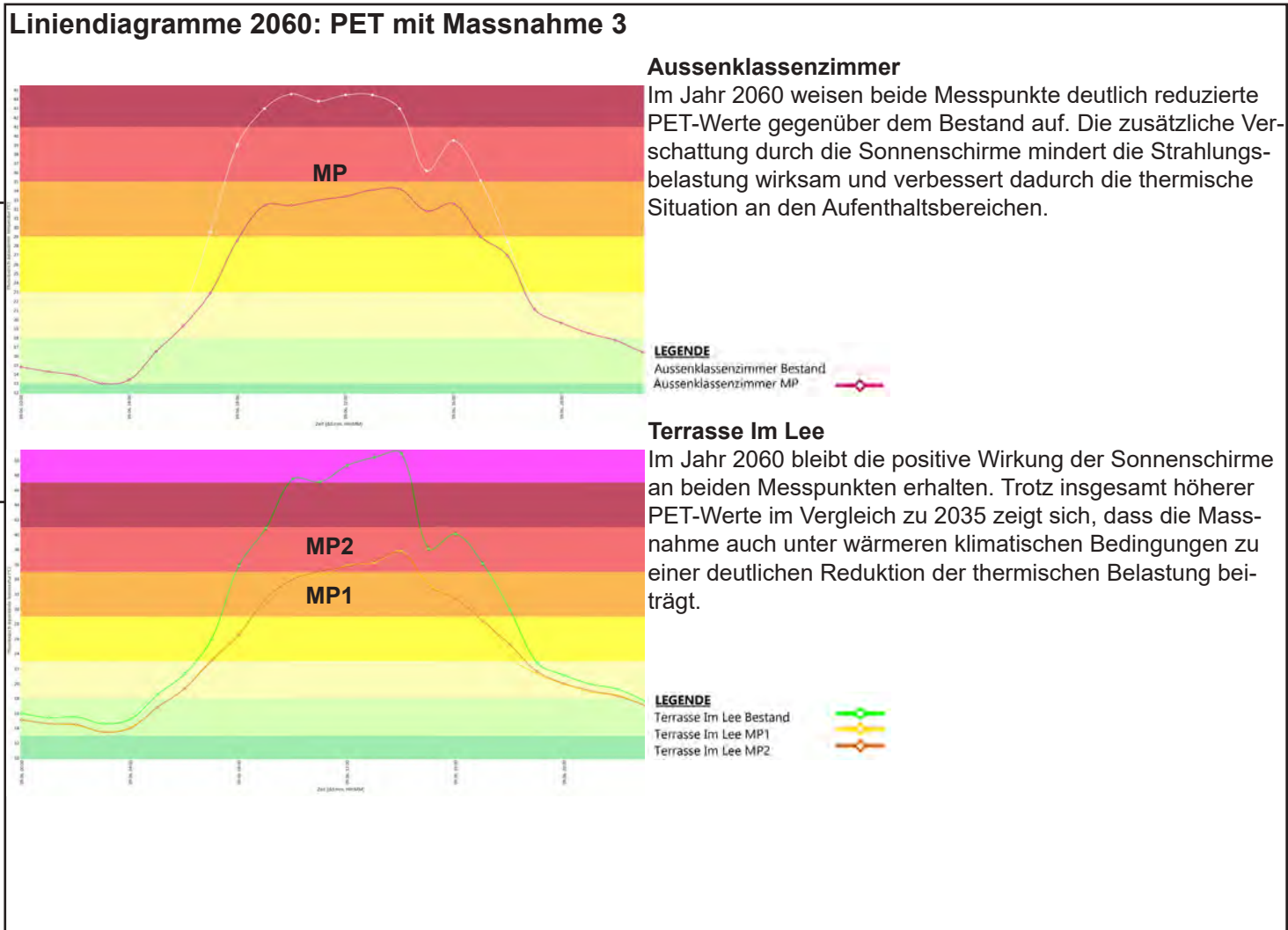


Abb.36 Diagramm durchschnittliche PET Massnahme 3 im Jahr 2060

LANDSCAPE

Darstellungen Analyseergebnisse aus Kapitel 7.5.1 (Landscape)



Abb.37 Analyse-Resultate PET Bestand im Jahr 2060

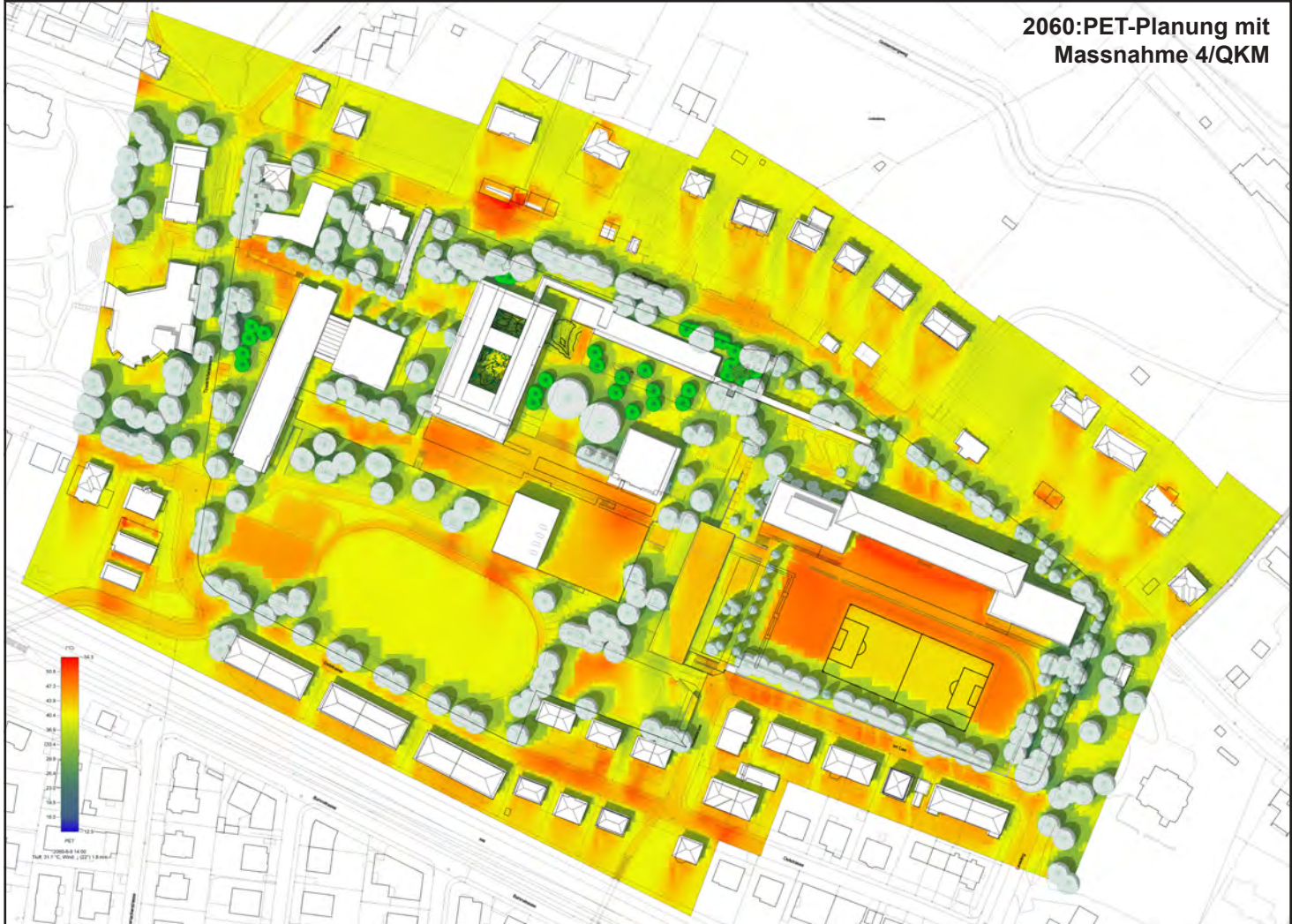


Abb.38 Analyse-Resultate PET Planung im Jahr 2060

LAND
SCALE

Darstellungen Analyseergebnisse 2060 (Landscape)



Abb.39 Analyse-Resultate PET-Differenz im Jahr 2060

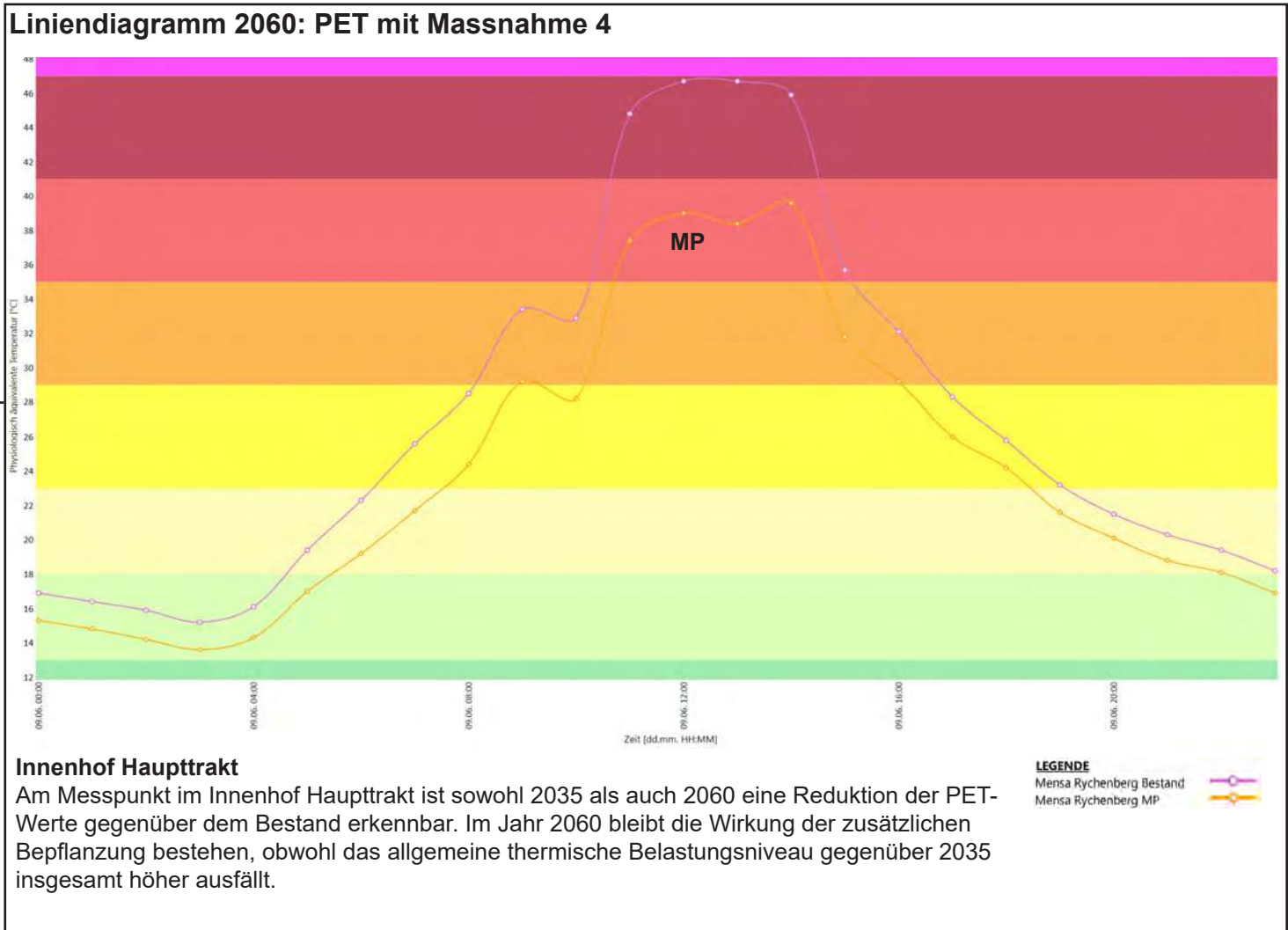


Abb.40 Diagramm durchschnittliche Massnahme 4 PET im Jahr 2060

LANDSCAPE