

Untersuchung der Wärme-
belastung an kommunalen
Kindertagesstätten und
Grundschulen
der Stadt Jena

ThINK –
Thüringer Institut für Nachhaltigkeit
und Klimaschutz GmbH



Projektleitung:

M.Sc. Biogeowissenschaften Daniel Knopf
unter Mitarbeit von: Dipl.-Geogr. Jakob Maercker

Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (ThINK GmbH)
Leutragraben 1
07743 Jena



im Auftrag von:

Kommunale Immobilien Jena (KIJ)
Paradiesstr. 6
07743 Jena



unter Mitwirkung des:

Dezernats für Stadtentwicklung und Umwelt,
Stadtentwicklung/Stadtplanung
Am Anger 26
07743 Jena



November 2017

Die in diesem Projektbericht gewählte männliche Form der Erläuterungen bezieht immer gleichermaßen weibliche Personen ein. Auf eine Doppelbezeichnung wurde aufgrund einfacherer Lesbarkeit verzichtet.

Inhalt

Vorwort	4
Regenwassernutzung als Beitrag zum Umbau von Schulhöfen und Freiflächen zu klimatisch wirksamen Gärten.....	5
1. Einführung und Hintergrund	18
1.1 Heiße Tage in Jena.....	18
1.2 Auswirkungen und Betroffenheit durch Wärmebelastung	20
1.3 Wärmebelastung beeinflussende Faktoren	21
1.4 Zur Veranlassung des Projektes.....	23
2. Methodik	24
2.1 Schwerpunktthemen, Wirk- und Resilienzfaktoren	24
2.2 Begehung der einzelnen Objekte.....	26
2.3 Ermittlung der Betroffenheit	27
3. Ergebnisse	28
3.1 Verhaltensänderung an Hitzetagen.....	28
3.2 Betroffenheit gegenüber Wärmebelastung	28
4. Betrachtung der einzelnen Objekten und Handlungsempfehlungen	33
4.1 Kita Anne Frank	34
4.2 Kita Bertolla	36
4.3 Kita Fröbelhaus	38
4.4 Kita Janusz Korczak	40
4.5 Kita Kindervilla	43
4.6 Kita Kleine Forscher	45
4.7 Kita Munketal	47
4.8 Kita Pinocchio	50
4.9 Kita Regenbogen	52
4.10 Kita Weltentdecker	54
4.11 Friedrich-Schiller-Schule.....	57
4.12 Heinrich-Heine-Schule.....	60
4.13 Nordschule.....	63
4.14 Saaleletalschule	66
4.15 Schule am Rautal.....	69
4.16 Schule an der Triebnitz	72
4.17 Südschule	75
4.18 Talschule	78
4.19 Westschule.....	81
5. Zusammenfassung und Ausblick	84
Literatur	85
Anhang.....	87

Vorwort

Klimaschutz und Klimaanpassung sind in der Stadt Jena von vergleichsweise hohem politischen wie öffentlichem Interesse. Insbesondere im Themenfeld Anpassung an den Klimawandel hat Jena mittlerweile eine Vorreiterrolle innerhalb Deutschlands eingenommen. Mit dem Erscheinen der Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS (Stadt Jena 2012) wurde der Grundstein für eine klimawandelgerecht orientierte Stadtentwicklung Jenas gelegt. Die sich im Zuge der JenKAS konstituierte Arbeitsgruppe zur Verstetigung der ausgearbeiteten Strategie umfasst neben Vertretern und Entscheidungsträgern aus der Stadtverwaltung auch Fachexperten und relevante lokale Akteure und berät in regelmäßigen Abständen über Fortschritte und bestehende Notwendigkeiten zur Klimaanpassung im Stadtgebiet. So konnten in den zurückliegenden Jahren mehrere kleine bis große Projekte und Aktivitäten mit klimaökologischem Bezug realisiert werden (vgl. JenKAS 2017). Nachdem mit dem Stadtbaumkonzept „Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel“ (Stadt Jena 2016) und der Beteiligung Jenas am ExWoSt-Forschungsprogramm „Green Urban Labs“ (vgl. JenKAS 2017) zuletzt schwerpunktmäßig das städtische Grün adressiert wurde, soll nun das Wohlbefinden jener Stadtbewohner in den Fokus gerückt werden, die die Auswirkungen des Klimawandels am deutlichsten und besonders langfristig zu spüren bekommen werden.

Die mit diesem Projektbericht vorliegende Untersuchung zur Wärmebelastung an kommunalen Kindertagesstätten und Grundschulen hat dabei in doppelter Hinsicht Pilotcharakter: Zum einen erfüllt das Projekt eine zentrale Forderung innerhalb der Diskussionen zur Klimaanpassung, Maßnahmen zur Minderung der Auswirkungen des Klimawandels nicht nur auf gesamtstädtischer oder Quartiers-ebene anzudenken, sondern am konkreten Objekt nach Möglichkeiten zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität bei Hitze zu suchen und zu realisieren. Zum anderen wurde bisher (Stand: September 2017), trotz des dringlichen Bedarfs angesichts der aktuellen global-klimatischen Entwicklungen (z. B. hat die globale Jahresmitteltemperatur von 2016 wiederum die Rekordwerte der Jahre 2014 und 2015 übertroffen), keine vergleichbare Untersuchung mit dem Schwerpunkt „Hitzebelastung an Kindertagesstätten bzw. Grundschulen“ durchgeführt. Aufgrund des Absenz derartiger Studien wurde daher zunächst ein geeigneter methodischer Rahmen zur Quantifizierung von Wärmebelastung auf Objektebene erarbeitet (Kap. 1.4).

Mit dem städtischen Eigenbetrieb der Kommunalen Immobilien Jena (KIJ) fand sich ein gegenüber dem Problemfeld Klimawandel sensibler und aufgeschlossener Auftraggeber und Partner. Die Initiative und Durchführung des Projektes wurde dabei maßgeblich von der Stadtentwicklung|Stadtplanung der Jenaer Stadtverwaltung unterstützt und begleitet.

Die Bearbeiter des Thüringer Instituts für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (ThINK GmbH) möchten sich daher bei den Verantwortlichen bei KIJ, allen voran Herr Tilo Peißker und Herr Thomas Graf, sowie der Jenaer Stadtverwaltung, in Person von Herr Dr. Matthias Lerm, Frau Yvonne Sittig und Herr Manuel Meyer, für die Möglichkeit zur Realisierung der gemeinsamen Projektidee mit integrierter Methodenentwicklung bedanken. Gleichfalls gebührt ein großer Dank den jeweiligen Kindertagesstätten- und Schulleitern für die investierte Gesprächszeit und die in das Projekt eingebrachten Erfahrungen und Hinweise.

Regenwassernutzung als Beitrag zum Umbau von Schulhöfen und Freiflächen zu klimatisch wirksamen Gärten

(Fachbeitrag von Dr.-Ing. habil. Matthias Lerm, Leiter Stadtentwicklung/Stadtplanung der Stadt Jena)

1. Flächenversiegelung ist nicht die Ultima Ratio

Historische Landnutzungsformen beließen das Wasser nach Möglichkeit in der Fläche, ohne es abzuleiten (Abb. 1). So konnte der größte Teil, durch Pflanzen genutzt, verdunsten, ein weiterer Teil versickerte und reicherte dadurch das Grundwasser an und nur ein sehr geringer Anteil floss ab in die Seen, Bäche und Flüsse.



Abb. 1: Ungestörter Wasserkreislauf durch versickerungsfähige Gestaltung des Weges und der angrenzenden Grünbereiche



Abb. 2: Viel zu viel Wasser wird ungenutzt abgeführt oder verdunstet - gestörter Wasserkreislauf



Abb. 3: Plattenaufspaltung durch zunehmende thermische Belastung



Abb. 4: Dachbegrünung der Mensa Ernst-Abbe-Platz

Die heutigen intensiven Nutzungen durch Gebäude, Straßen, Plätze, Wege sowie Pausen- und Sportflächen zogen meist flächige Versiegelungen nach sich. Hier wird das Niederschlagswasser gefasst und abgeleitet (Abb. 2). Die Verdunstung und damit die Kühlwirkung werden drastisch verringert, Medientnetze und Kläranlagen be- und teilweise überlastet. Die künftig weiter zunehmenden Sommertemperaturen strapazieren die versiegelten Flächen zusätzlich, weshalb immer öfter Aufspaltungen beobachtet werden (Abb. 3). Dies alles gilt es im Rahmen der baulichen Anpassung an den Klimawandel zu vermeiden. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie sich auch bebaute und stark

genutzte Flächen so umgestalten lassen, dass annähernd der ursprüngliche natürliche Status des Wasserkreislaufes wieder erreicht werden kann.

2. Zielstellung und Nutzen der Niederschlagswasserausbindung

Wichtigste Anliegen bei der Anpassung von Frei- und Grünflächen an das sich rapide ändernde Klima sind die Kühlung bei sommerlichen Hitzeperioden und die Zurückhaltung von Wasser bei Starkniederschlägen. Dem dienen die konsequente Ausbindung des Niederschlagswassers von Gebäudedächern aus der Kanalisation und die Nutzung zur Stärkung der Begrünung. Die Nebennutzen sind vielfältig: Die Aufenthaltsqualität der Freiräume wird erhöht, das Grün stabiler, die Temperaturschwankungen abgemindert, die ökologische Wirksamkeit des Raumes und – nicht zu unterschätzen – die Ästhetik verbessert.

Die gezeigten Beispiele entstammen der eigenen Anschauung des Autors des Beitrages und fast ausnahmslos dem von ihm erbrachten Umbau eines Grundstücks nach diesen Prämissen zum Klimagarten - erprobt, bewährt und beispielhaft zu nutzen.

Eine erste Betrachtung gilt den Gebäudedächern. Bereits hier beginnt die Regenwassernutzung durch Begrünung, sei sie intensiv oder extensiv (Abb. 4). Der Niederschlagswasserabfluss wird so verringert und verstetigt, Substrat und Pflanzen mindern die Temperaturschwankungen auf der Dachhaut und erhöhen bei fachgerechter Anlage und Unterhaltung die Lebensdauer des Daches.

Das Niederschlagswasser, das in Form von Regen oder Schnee auf die Dächer und versiegelten Flächen fällt, wird über die Dachrinnen und Fallrohre sowie ggf. Rinnen und Verrohrungen in die Kanalisation geleitet, über die es dann das Klärwerk erreicht. Bei stärkeren Niederschlägen oder heftigem Tauwetter ist die Kanalisation auf diese Wassermengen hin nicht dimensioniert, weshalb in den meisten Fällen ein Abschlag des Mischwassers in den Vorfluter erfolgt. Mit diesem technischen Ausdruck wird verschleiert, dass es sich dabei um Bäche und Flüsse handelt, die dann zumindest während des kräftigen Niederschlagsereignisses ungeklärtes, wenn auch verdünntes Abwasser bekommen. Das ist nicht erwünscht, so wenig, wie es unzweckmäßig ist, dass die auf „normales“ Wasser eingestellten biologischen Reinigungsstufen des Klärwerkes so stark verdünnt werden, dass die mikroskopisch kleinen Helfer ausgeschwemmt werden und so ihre Wirksamkeit verlieren.

Weil das so ist, haben die Wasserver- und -entsorger wenig Interesse an der Ein- und Durchleitung von Niederschlagswasser durch die Kanalisation und gewähren einen finanziellen Anreiz für die Ausbindung. Jenawasser erhebt beispielsweise eine Gebühr von 0,51 € pro Jahr pro m² versiegelter, also bebauter und befestigter Fläche, die an die öffentliche Kanalisation angeschlossen ist. Dieser Betrag kann durch die Verwertung, Versickerung oder anderweitige Ableitung des Regenwassers eingespart werden.

Es ist in Deutschland gesetzlicher Auftrag, Niederschlagswasser weitestgehend im natürlichen Kreislauf durch Verdunstung und Versickerung zu erhalten und es nur im Ausnahmefall, etwa bei nicht gegebener Versickerungsfähigkeit der Böden, abzuleiten. Jedoch kann es in Teilen Jenas aufgrund der geologischen Gegebenheiten nur eingeschränkt oder nur unter Berücksichtigung besonderer Vorkehrungen möglich sein, das Niederschlagswasser auf dem eigenen Grundstück zu versickern. Ob die Versickerung erlaubnispflichtig ist, hängt von mehreren Faktoren ab. Deshalb sollte um eine Genehmigung bei der Unteren Wasserbehörde nachgesucht werden.

Da es auch nicht gestattet ist, für die Versickerung unbelasteten Niederschlagswassers Nachbargrundstücke oder öffentliche Straßen, Wege und Grünflächen in Anspruch zu nehmen, ist das auf dem eigenen Grundstück erfasste Niederschlagswasser auch hier zu versickern oder anderweitig zu nutzen. Geregelt ist das in § 55 Abs. 2 WHG, wonach das Niederschlagswasser ortsnah versickert, verrieselt oder ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer abgeleitet werden soll. Dabei sollte die Versickerung zur Erhöhung der Grundwasserneubildungsrate Vorrang vor der Ableitung haben. Die Einleitung des unbelasteten Niederschlagswassers in das Grundwasser ist bis auf einige Ausnahmen erlaubnispflichtig. Ein entsprechender Antrag ist entsprechend der Thüringer Niederschlagswasserversickerungsverordnung vom 03.04.2002 bei der Unteren Wasserbehörde zu stellen. In der Regel wird der gutachterliche Nachweis der Versickerungsfähigkeit des anstehenden Bodens erbeten.

Sind die Nachweise erbracht und ist die Erlaubnis erteilt worden - sofern eine einzuholen war -, beginnt die Sichtung und Planung des Projektes. Ziel ist es, den durch die Überbauung und Versiegelung entstandenen Entzug des Niederschlagswassers dem Grundstück und damit dem Grün auf den verbleibenden unversiegelten Räumen wieder zuzuführen, damit es verdunsten - bevorzugt über die Pflanze - und versickern kann.



Abb. 5: Versiegelungsnotwendigkeit reduzieren, Wasser von den Wegen in die benachbarten Grünflächen einleiten



Abb. 6: Die Sinne anregende Bodenbeläge, Versickerungsoffen

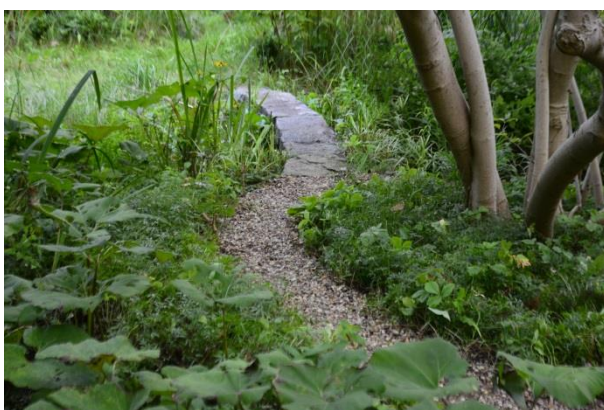


Abb. 7: Kiesweg als ungestörte Versickerungsmöglichkeit



Abb. 8: Weg erhöht, entwässert in angrenzende tiefliegende Bereiche

3. Entsiegelung, versickerungsfähige Beläge und Flächen

Grundsatz ist es, Versiegelungen auf das unbedingt notwendige Maß zu reduzieren und auch Beläge zu verwenden, die zumindest einen gewissen Anteil des Niederschlagswassers zur Versickerung und Verdunstung durchlassen. Zumindest der Randbereich von Verkehrsflächen etwa kann als versickerungsfähige Rinne ausgebildet werden (Abb. 5).

Auch können in Schulen und Kitas Beläge eingesetzt werden, die optisch und haptisch ansprechend sind und ebenfalls niederschlagswasserdurchlässig sind (Abb. 6).

Gänzlich versickerungsoffen sind Kieswege auf Schotter oder Splitt (Abb. 7). Da mit dem Klimawandel gleichzeitig längere Trockenperioden und stärkere Niederschläge zu erwarten sind, sollte dafür gesorgt werden, dass Starkregen in versickerungsfähigen Flächen aufgenommen werden kann. Dazu sind, anders als bisher und wie etwa in mediterranem Klima schon immer üblich und bewährt, Wege gegenüber den umgebenden Flächen erhöht zu führen, damit sie nicht zu Kanälen werden, auf denen das Wasser durch das Grundstück „schießt“ (Abb. 8). Zumindest aber sollten Wege so ein Querprofil aufweisen, dass das randlich abgeleitete Wasser entlang der Grünflächen in diese hineinsickern kann (Abb. 9). Sofern es die topografischen Verhältnisse gar nicht erlauben,



Abb. 9: Grünbereich profitiert vom Wasserdargebot des angrenzenden Weges



Abb. 10: Einlauf im Weg leitet Starkregen in darunterliegenden Sickerschacht

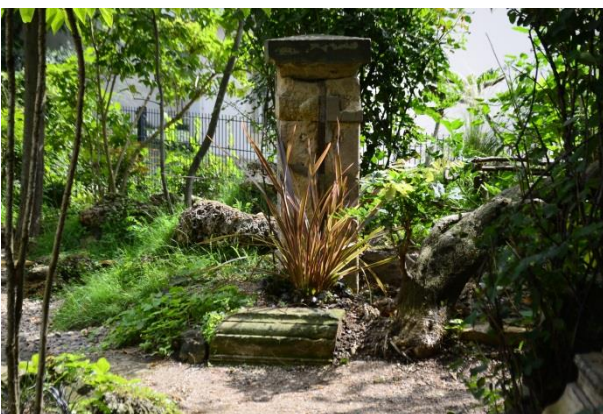


Abb. 11: Ziel: hundertprozentig durchwurzelbare versickerungsoffene Grüngestaltung

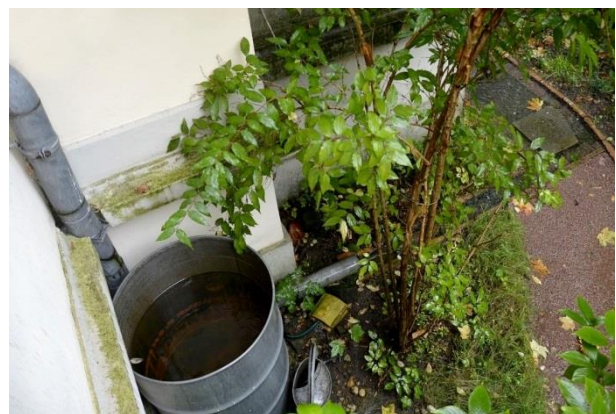


Abb. 12: Wahlweise Einleitung des Regenwassers aus Fallrohr über Klappe in Regentonne oder offene Entwässerungsrinne

das Wasser direkt vom Weg in die Flächen abzuleiten, können hilfsweise Einläufe mit darunter- oder danebenliegenden Sickerschächten zum Einsatz kommen (Abb. 10).

Das Ziel sollte es jedenfalls sein, unabhängig davon, ob das Gelände eben oder hangig ist, eine hundertprozentige Versickerungsfähigkeit des Grundstücks zu erreichen (Abb. 11).

4. Ausbindung und Ableitung des Regenwassers

Hierzu wird etwa in Bodenhöhe die Verbindung des Fallrohres mit der Kanalisation gekappt und diese dauerhaft verschlossen als Voraussetzung für die Anerkennung der Regenwasserausbindung bezüglich der Gebührenreduktion seitens des Versorgungsträgers. Denkbar erscheint es, für die frostfreie Zeit eine Regentonne etwa zur Garten- oder Schulhofbewässerung über Fallrohrklappe wahlweise zuzuschalten (Abb. 12). Sie sollte gegen Mücken und Unfallgefahren abgedeckt und, um fauliges Wasser mit Larven zu vermeiden, monatlich komplett geleert werden. Das kann durch Einbau eines Grundablasses erleichtert werden.



Abb. 13: Ausgebundenes Fallrohr in Grün integriert



Abb. 14: Offene Regenwasserführung über Mulden im Gehbahnbelag

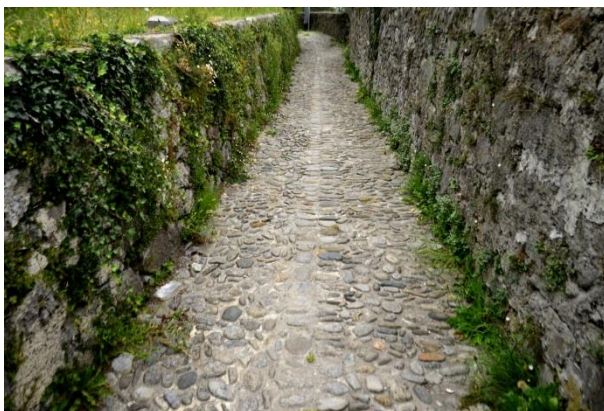


Abb. 15: Weg multifunktional nutzbar - begehbar und wasserableitend

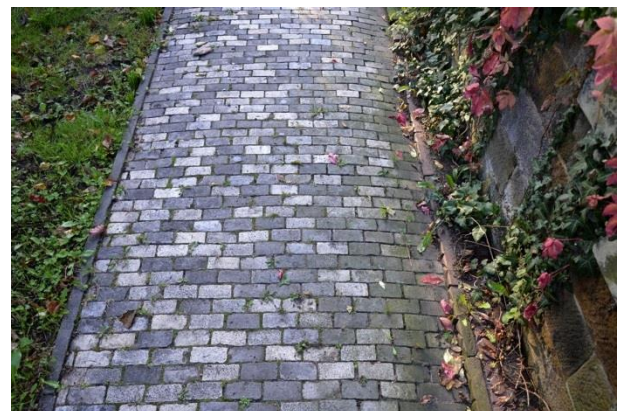


Abb. 16: Mitführung des Regenwassers am rechten Wegesrand

Der Übergang vom Regenwasserauslass des Fallrohres zur vorzugsweise offen geführten Ableitung kann in Grün integriert werden, um so optisch vorteilhafter zu wirken (Abb. 13). Grundsätzlich sollte das auf dem Grundstück zu belassende und zu nutzende Wasser offen geführt werden, um:

- die Verdunstung und Versickerung zu fördern,

- den Schauwert des fließenden Wassers zu nutzen und
- einen pädagogisch wertvollen Beitrag zu leisten dafür, dass das Wasser als Element wieder sichtbar wird, das angesichts der früheren Vermischung mit Abwasser den Sinnen entzogen wurde, und
- um die Anlage besser pflegen und unterhalten zu können.

Die Gestaltung der Wasserableitungssysteme ist in vielen Formen möglich und sollte auch, um den Erlebniswert zu erhöhen, vielfältig ausgebildet werden. In stark begangenen Flächen haben sich einfache Ausmuldungen bewährt (Abb. 14). Sie vermeiden Stolperkanten. Da jedoch im Winter Tau- und Schmelzwasser aus Dachbereichen über längere Zeiträume auch in kleinen Mengen austreten kann, das dann am Boden gefriert, ist bei dieser Lösung auf regelmäßiges Abstumpfen der ggf. vereisenden Mulde Wert zu legen.

Gepflasterte Wege ermöglichen bei Gefälle das Mitführen des Wassers in den Fugen (Abb. 15). Angesichts der auch im Klimawandel noch immer möglichen kalten Winter erscheint jedoch eine seitliche Mitführung des Regenwassers im Weg sicherer (Abb. 16).

Mit besonderem Erlebniswert für Heranwachsende verbunden und bei geringerer Frequentierung einsetzbar ist eine Lösung mit Trittsteinen, bei denen das Wasser zwischen und seitlich an ihnen vorbei geführt wird (Abb. 17).

Bei Wegen, die dauerhaft von Wasser freigehalten werden sollen, hat sich die seitliche separate Entwässerungsrinne bewährt, sei sie kleiner (Abb. 18) oder bei einer Kombination mit der Entwässerung des Weges größer (Abb. 19), die ebenfalls zumindest eine teilweise Versickerung zulässt.

Sehr elegant wirkt der Einbau offener Rinnen direkt in die Wege und Flächen (Abb. 20). Hier sollte beachtet werden, dass die Rinnen nicht zu breit ausfallen, um Stolpergefahren zu reduzieren. Bei stärkeren Regenfällen, wo sich ohnehin niemand auf den Pausenflächen aufhält, treten diese dann über und das Wasser wird flächig abfließen (Abb. 21).

Ganz unabhängig von Wegen und Flächen kann das Wasser schließlich etwa über gepflasterte Rinnen durch Grünbereiche geführt werden (Abb. 22). Auch hier wird einiges versickern, was den Bäumen entlang der Wasserführung zugutekommt.

Werden jeweils durch Folie abgedichtete kleinere Wasserbecken in die Rinnensysteme integriert (Abb. 23), entstehen reizvolle Ansichten und Spielmöglichkeiten, können Sand und ggf. Unrat abge-



Abb. 17: Trittplatten ermöglichen Begehbarkeit und temporär Wasserableitung bei teilweiser Versickerung



Abb. 18: Schmale offene Wasserrinne mit Versickerungswirkung

fangen werden und werden dem durch Luftverschmutzung meist an Nährstoffen reichen Niederschlagswasser diese durch die Pflanzen entzogen.

Das in den dazwischenliegenden temporär wasserführenden Rinnen versickernde Wasser hilft dem Fassadengrün, sich üppig entfalten zu können (Abb. 24 und Abb. 25).

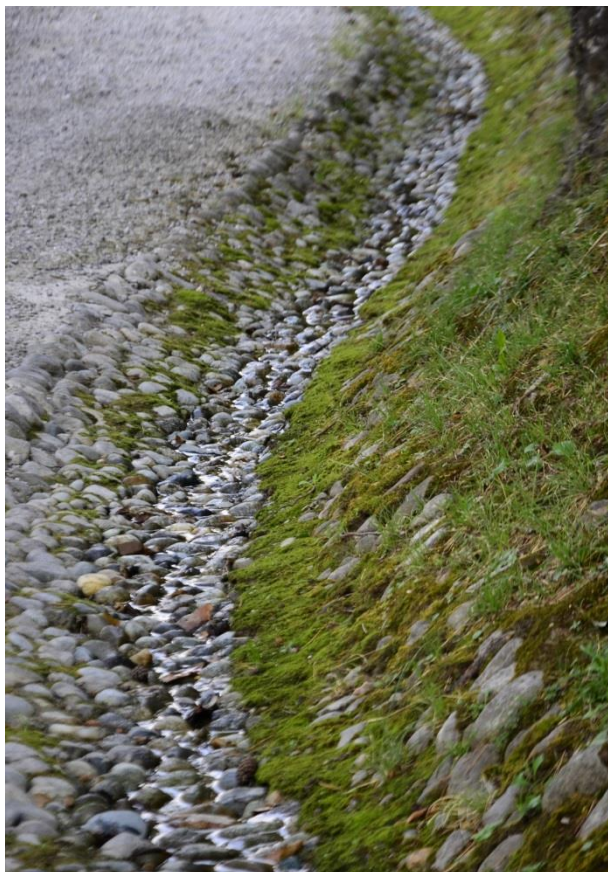


Abb. 19: Breite, offene Wasserrinne nimmt auch das Wasser des Weges auf



Abb. 20: Wasserrinnen in die Wege integriert

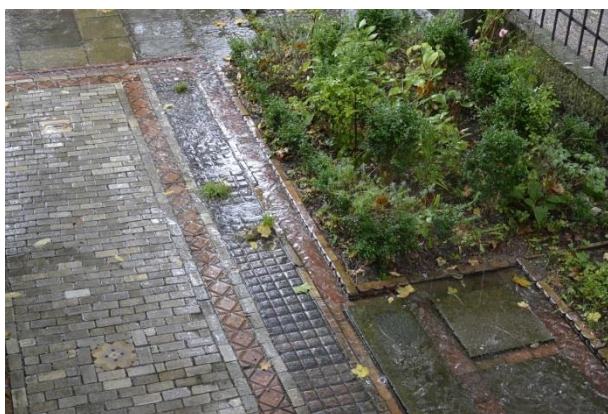


Abb. 21: Wasserrinne im Weg leitet das Regenwasser ab

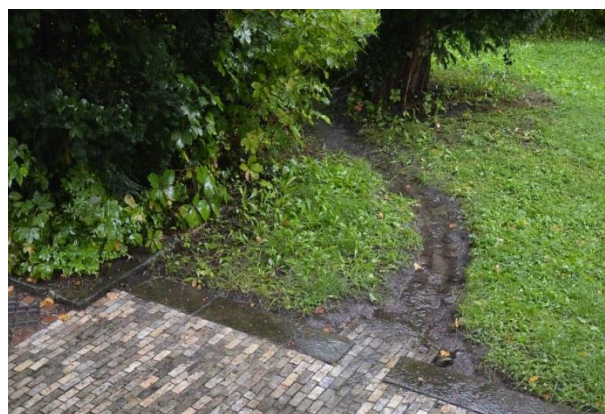


Abb. 22: Gepflasterte Wasserrinne in Grünfläche



Abb. 23: Kleine Wasserbecken ergänzen die Wasserableitsysteme und dienen als Sandfang



Abb. 24: Versickerungsrinnen zwischen den abgedichteten Becken kommen dem Fassadengrün zugute



Abb. 25: Versickerungsrinnen leiten Wasser in die Pflanzflächen



Abb. 26: Fassadenbegrünung an Spanndrähten geführt



Abb. 27: Blauregen (*Wisteria sinensis*) in Blüte und Echter Wein

5. Fassadenbegrünung, Pflanzkübel

Die erweiterte Regenwassernutzung kann unmittelbar der Etablierung von schattenspendendem Fassadengrün zugutekommen (Abb. 26 und Abb. 27). Dessen hitzemindernde Wirkung wird dank des reichhaltigen Wasserdargebotes durch die Verdunstungskühle verstärkt. Regentonnen, Wasserbecken und besonders Teiche bieten schließlich das Gießwasser, das das Aufstellen von Pflanzkübeln

(Abb. 28) in versiegelten Bereichen ermöglicht. Auch diese leisten einen weiteren Beitrag zur Begrünung, Kühlung und Ästhetik. Hier könnten den Kindern Gießverantwortlichkeiten übertragen werden.



Abb. 28: Fassadengrün durch Kübelpflanzen ergänzt



Abb. 29: Pumpe unter Kontrollschachtabdeckung (links) und Wasserverteilungsbox (Bildmitte), kombiniert mit der Regenwassernutzung statt Zisterne

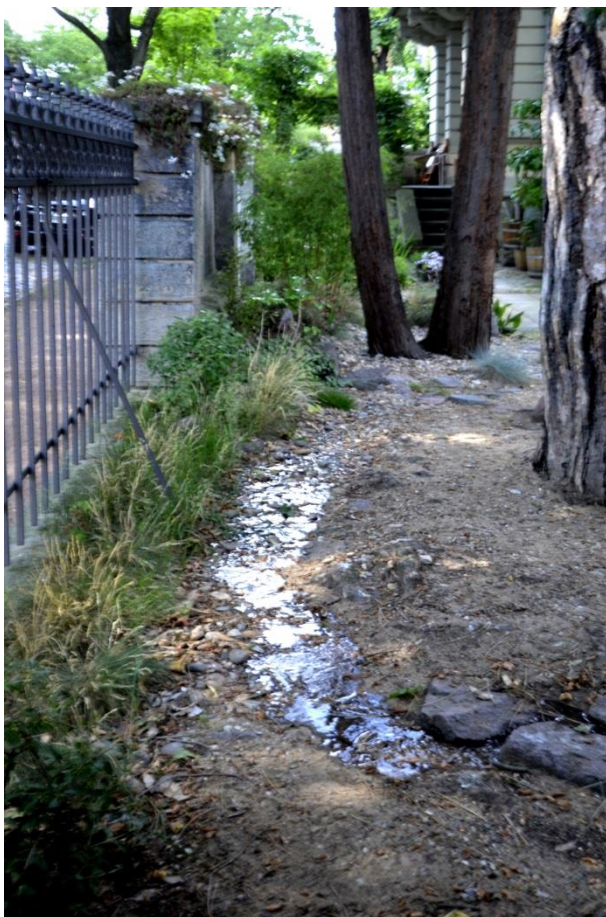


Abb. 30: Künstlicher Wasserlauf mit Versickerungswirkung in trockener Gartenpartie



Abb. 31: Wasser vielfältig spielerisch nutzbar, hier etwa mit pumpenbetriebenen Sprinklern, oberem Wasserbecken, Kaskade, verspiegelter "Grotte", unterem Wasserbecken und Wasserlauf

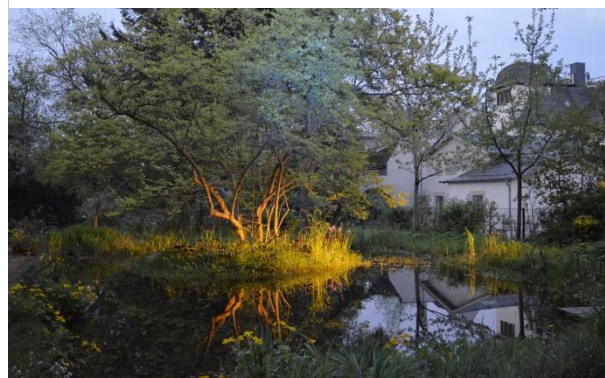


Abb. 32: Teich als Wasserspeicher

6. Zusätzliche dauerhafte Bewässerungsmöglichkeit auch in Trockenperioden

Wird das belebende Element Wasser als Erlebnis und Spielangebot auch in Trockenperioden gewünscht – wovon jeder Garten- und Schulhofbereich ungemein profitieren würde -, kämen Pumpen und/oder Zisternen in Frage (Abb. 29). Der Autor würde immer eine Pumpe gegenüber einer Zisterne bevorzugen, weil letztere bei längeren Hitzeperioden schnell erschöpft wäre und auch die Wasserqualität gegenüber dem Pumpen von Grundwasser meist schlechter ist. Steht jedoch kein Grundwasser zur Verfügung, ist eine Zisterne mit Pumpe besser als nichts und ermöglicht es etwa, temporär künstliche Wasserläufe zu speisen (Abb. 30) oder die für die Regenwasserableitung genutzten Rinnensysteme auch an trockenen Tagen betreiben zu können. Da Wasser durch die Pumpen mit Ausnahme der Frostperiode dauerhaft verfügbar wird, ermöglicht dies auch alle möglichen Wasserfreuden wie Wasserdüsen, -becken, Spiegeleffekte und andere Späße (Abb. 31).

7. Anlage eines Teiches

Das krönende Element der Regenwassernutzung auf dem Schul- oder Kitagrundstück wäre jedoch die Anlage eines Teiches (Abb. 32). Auch wenn er weniger als Retentionsraum benutzbar ist, sollte er doch möglichst immer einen guten Füllstand aufweisen, wäre er doch das bevorzugte Ziel aller Rinnensysteme. Ein Teich, sei er noch so klein, wäre das bevorzugte Objekt der Naturpädagogik. Er ermöglicht Pflanzen- und Tierbeobachtung und bildet ein auch ästhetisch ansprechendes Biotop (Abb. 33 und Abb. 34). Die Anlage und Unterhaltung von Teichen (Abb. 35, Abb. 36 und Abb. 37) wäre jedoch ein eigenes Kapitel wert, weshalb hier nur rudimentäre Grundlagen benannt werden können. Als Dichtung kommen Tone oder Folien in Frage, die gut vor Beschädigung etwa durch Vlies und Auspflasterung oder Betonplatten zu schützen sind. Um Unfällen mit Kindern vorzubeugen, ist ein Teich im eingezäunten Grundstück grundsätzlich zumindest in einem umlaufenden Streifen nur maximal 20 cm flach auszubilden. Da tiefere Bereiche im Interesse der Selbstreinigung und guten Wasserqualität sind, wären sie durch dichten Pflanzenwuchs oder unter der Wasseroberfläche angebrachte Gitter/Netze zu schützen oder separat abzuzäunen. Der Teich ist regelmäßig von übermäßigem Algenwuchs zu befreien. Um ein übermäßiges Wuchern der sehr schönen Wasserpflanzen zu vermeiden, sollten diese vorzugsweise in Kübeln eingesetzt werden.



Abb. 33: Teich als Biotop mit Pflanzenbeobachtungsmöglichkeiten



Abb. 34: Teich mit vielfältigen Tierbeobachtungsmöglichkeiten - hier etwa Kaulquappen



Abb. 35: Teich modelliert und mit Sand zum Einbringen von Folie und Schutzvlies vorbereitet



Abb. 36: Betonplatten und -steine schützen besonders strapazierte Teile des künftigen Teichs, Uferstreifen abgeflacht



Abb. 37: Frisch befüllter Teich lädt ein zu spielerischer Erkundung

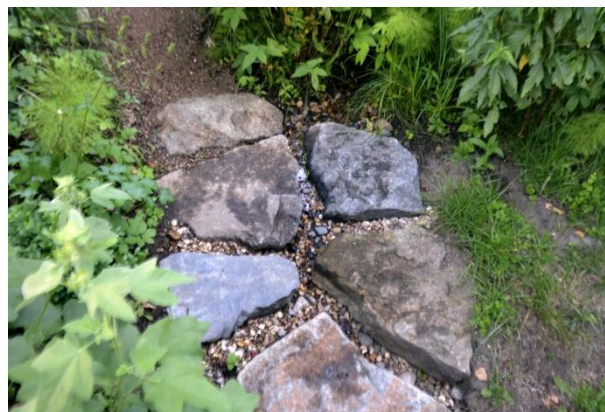


Abb. 38: Trittsteine am Überlauf des Teiches in die Rigole

8. Schaffung von Retentionsräumen

Jeder Teich braucht einen Überlauf. Dieser sollte sinnvollerweise wieder durch Rinnen-/Muldensysteme (Abb. 38) an den Versickerungsbereich, eine versickerungsfähige Mulde, vorzugsweise in eine Grünfläche integriert, angeschlossen werden (Abb. 39).

9. Windschutz und Beschattung von Anpflanzungen

Für ein optimales Pflanzenwachstum sollten alle Möglichkeiten genutzt werden, zusätzlichen Schatten und Windschutz zu gewähren. Dazu bieten sich winddichte Grundstückseinfriedungen an – etwa durch Mauern aus schönen und begrünbaren Materialien (Abb. 40) oder dichte Hecken. Dadurch werden nun auf den entsiegelten und besser bewässerten Flächen auch anspruchsvollere Bepflanzungen möglich, die gegenüber der reinen Klimaanpassung weiteren ästhetischen, ökologischen und pädagogischen Nutzen bringen (Abb. 41).



Abb. 39: Naturnah gestaltete Rigole am Ende des Teiches



Abb. 40: Mauer aus Lehm, Kalk- und Ziegelsteinen zum Schutz vor Wind und Austrocknung, bietet den Anpflanzungen Schatten



Abb. 41: Pädagogisch und ästhetisch wertvolle Pflanzung (Neuseelandflachs), die vom erhöhten Wasserdargebot profitiert



Abb. 42: Einzelne Gestaltungselemente verbinden sich zum Klimagarten

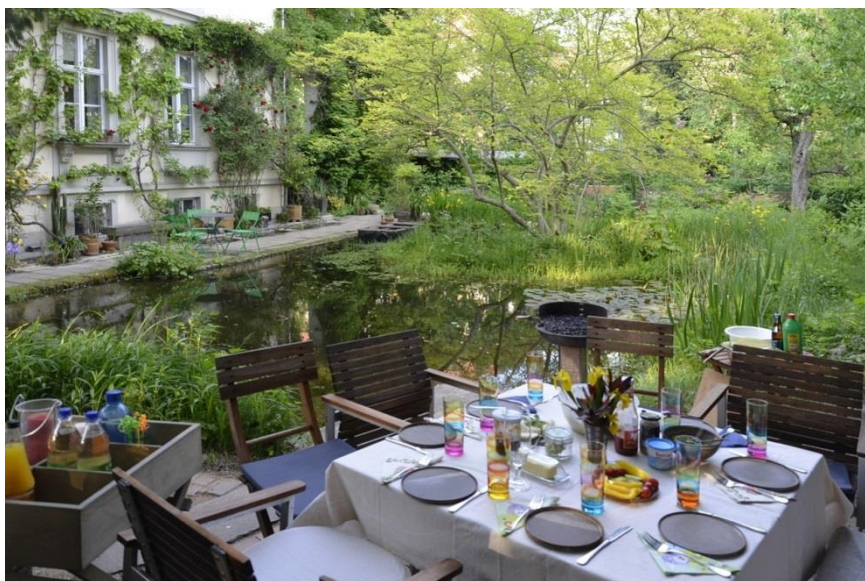


Abb. 43: Klimagarten lädt ein zum Aufenthalt

10. Klimagarten lädt zum Erholen und Genießen ein

Die Summe dieser Arbeiten trägt dann dazu bei, dass aus der Not der Klimaanpassung die Tugend eines völlig verwandelten Lernumfeldes hervorgeht – ein Klimagarten (Abb. 42), der erlebnisreich zum Erkunden, Verweilen, zum Austausch und zur Erholung einlädt (Abb. 43).

Zusammenfassung

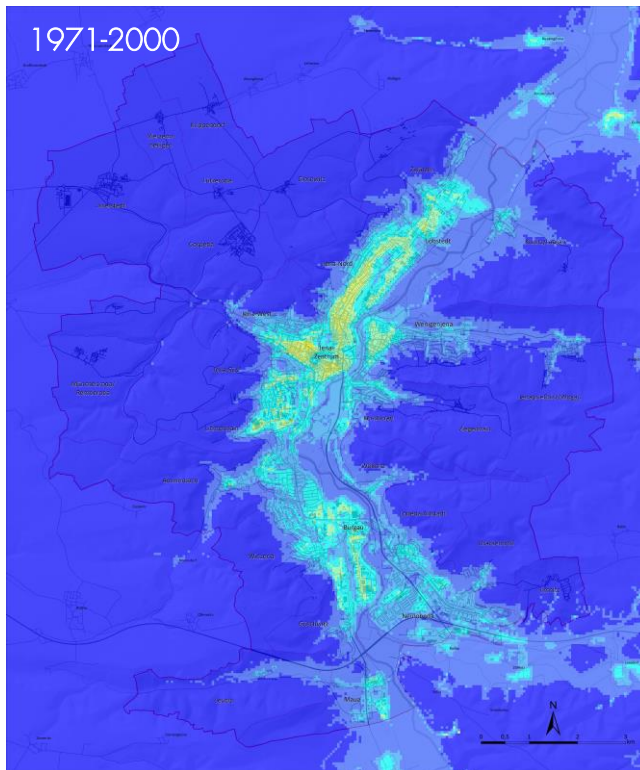
Der Klimawandel erfordert ein gänzlich Umdenken, das zum Umbau unserer bisher gewohnten Freianlagen der Schulen und Kitas führt. Schlüssel zur erfolgreichen Klimaanpassung ist die Ausbindung des Niederschlagswassers aus der Kanalisation, die Nutzung für die Begrünung von Gebäuden und Freiräumen und das Absenken der Grün- und Pflanzflächen gegenüber den Wegen. Der Beitrag hat gezeigt, wie die offen sichtbare Durchleitung des Wassers hin zu Teichen und Rigolen einen besonderen pädagogischen Erlebniswert hat - weit über die Erreichung der Klimaschutz- und -anpassungsziele hinaus.

1. Einführung und Hintergrund

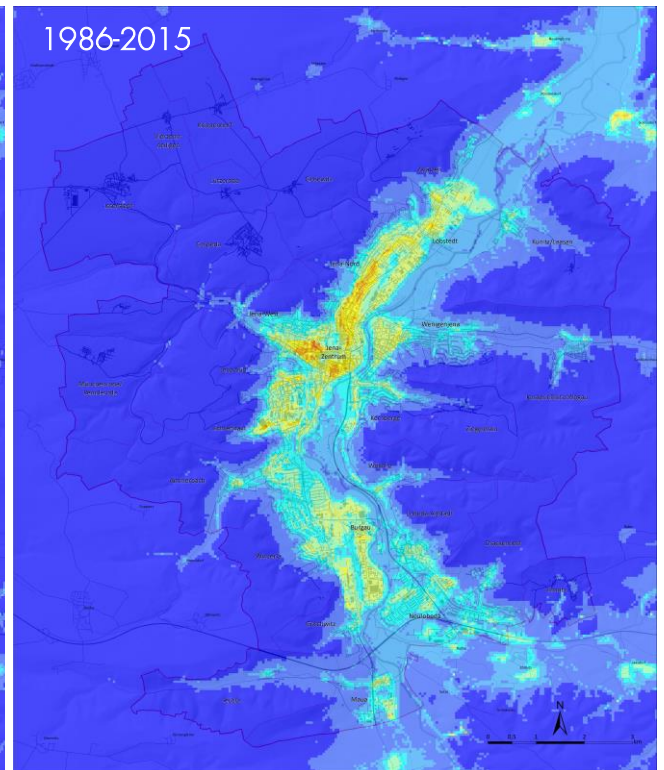
1.1 Heiße Tage in Jena

Dass Jena aufgrund seiner besonderen Topographie zu den wärmsten Orten Thüringens zählt, ist bekannt (vgl. Wagner 1915). Durch Simulationsrechnungen auf der Grundlage von Messdaten (TMLNU 2001) konnte zudem gezeigt werden, dass während autochthoner Wetterlagen der städtische Wärmeinsel-Effekt Jenas, also die Temperaturdifferenz zwischen der durch die höhere Bebauungsdichte aufgeheizten Stadt und dem Umland, Dimensionen von 4 Kelvin (K) erreichen kann (Dörfer 2004). Die im Rahmen der Jenaer Klimaanpassungsstrategie durchgeführten Untersuchungen zum Lokalklima Jenas (Hofmann et al. 2014) stützen ebenfalls die stadtklimatische Sonderstellung der Stadt und skizzieren zudem die zukünftige klimatische Entwicklung anhand von Klimaprojektionen. Die zunehmende Wärmebelastung für die Bevölkerung wird dabei als eine wesentliche klimawandelbedingte Betroffenheit im Stadtgebiet herausgestellt (Stadt Jena 2012).

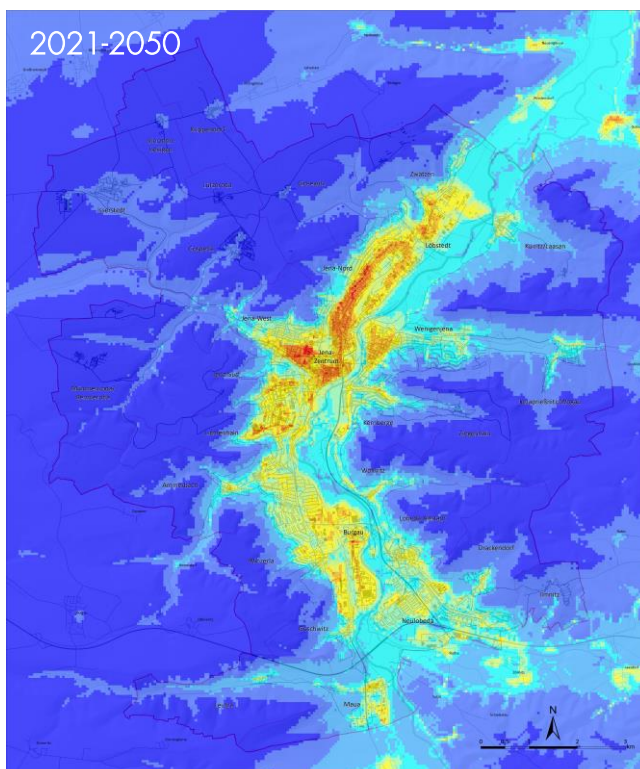
Ein geeigneter klimatischer Kennwert zur Darstellung von Wärmebelastung in einem Gebiet sind die sogenannten Heißen Tage. Als Heißer Tag gilt ein Tag, an dem eine Maximaltemperatur von 30 °C erreicht oder überschritten wird ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$). Summiert man die Heißen Tage eines Jahres auf und bildet den jeweiligen Mittelwert über eine Klimaperiode von mindestens 30 Jahren, so lässt sich die Entwicklung des Kennwerts valide veranschaulichen. Abb. 44 zeigt die mittlere jährliche Anzahl Heißer Tage im Jenaer Stadtgebiet für drei Klimaperioden: 1971-2000, 1986-2015, welche jeweils auf einer auf Messdaten basierenden Modellierung (Hofmann et al. 2014) beruhen, sowie 2021-2050, der Projektionsdaten regionaler Klimamodelle zugrunde liegen. Während in der Klimaperiode 1971-2000 (a) im Stadtgebiet maximal 14 bis 15 Heiße Tage in den am stärksten verdichteten Ortsteilen (Jena-Zentrum, -West, -Nord) verzeichnet wurden, waren es in der um 15 Jahre versetzten Klimaperiode 1986-2015 (b) bereits 18 bis 19 Heiße Tage in innerstädtischen Bereichen und bis zu 17 in vergleichsweise peripheren Quartieren mit stellenweise hoher Bebauungsdichte (z. B. Lichtenhain, Löbstedt, Burgau, Göschwitz). Für die zukünftige Klimaperiode 2021-2050 (c) wird eine mittlere Anzahl Heißer Tage von bis zu 21 Tagen pro Jahr projiziert. Dies betrifft wiederum verdichtete Bereiche mit hohem Versiegelungsgrad und eher geringem Grünanteil wie Jena-Zentrum, -West und -Nord. Darüber hinaus wird in sämtlichen Stadträumen mit vergleichsweise hoher Bebauungsdichte (Dorfkerne, wie Ammerbach, Zwätzen oder Lichtenhain; Gewerbegebiete, wie Göschwitz, Maua oder Jena-Nord und Wohngebiete wie Neulobeda, Winzerla, Wenigenjena) eine deutliche Zunahme der Anzahl an Heißen Tagen auf im Mittel bis zu 19 pro Jahr projiziert. Bei der Betrachtung aller drei Klimaperioden lässt sich durch die Darstellung der Heißen Tage eine sukzessive Ausweitung und Intensivierung der Wärmeinsel im Bereich des Jenaer Stadtkörpers erkennen, was insbesondere anhand der Saalenebentäler (z. B. Gembdental, Ammerbacher Tal, Mühlthal) und der umgebenden Ortslagen (z. B. Jenaprießnitz/Wogau, Zöllnitz, Porstendorf) ersichtlich wird. Die Entwicklung zwischen den durch Messdaten belegten Klimaperioden 1971-2000 (a) und 1986-2015 (b) liegt zum Teil darin begründet, dass Jena seit der politischen Wende 1990 eine wachsende Stadt mit zunehmender Flächeninanspruchnahme ist, belegt allerdings primär die Auswirkungen der zunehmenden globalen Klimaerwärmung. Die Modellierung für die Klimaperiode 2021-2050 (c) berücksichtigt keinerlei Änderungen der (zukünftigen) Bebauungsstruktur und spiegelt ausschließlich die Projektion bei fortschreitender Klimaerwärmung wider.



(a) Mittlere jährliche Anzahl Heißer Tage im Jenaer Stadtgebiet in der Klimaperiode 1971-2000.

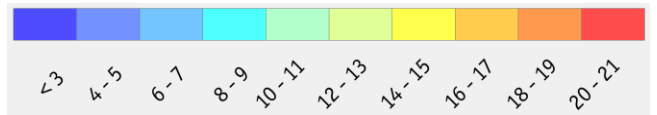


(b) Mittlere jährliche Anzahl Heißer Tage im Jenaer Stadtgebiet in der Klimaperiode 1986-2015.



(c) Mittlere jährliche Anzahl Heißer Tage im Jenaer Stadtgebiet in der Klimaperiode 2021-2050.

Heiße Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)/Jahr:



Datengrundlage:

Stadtklimatische Modellierungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) mit MUKLIMO_3 anhand von Mess- und Modelldaten im Rahmen der Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS (Stadt Jena 2012, Hofmann et al. 2014).

Die Darstellungen zu den Klimaperioden 1971-2000 (a) und 1986-2015 (b) beruhen dabei auf Messdaten des DWD, die der zukünftigen Klimaperiode 2021-2050 (c) auf dem Mittelwert regionaler Klimamodelle (CLM, REMO, STAR, WETTREG2006) nach dem Emissions-Szenario A1B.

Abb. 44: Entwicklung der Heißen Tage im Jenaer Stadtgebiet.

1.2 Auswirkungen und Betroffenheit durch Wärmebelastung

Die Ausführungen in Kap. 1.1 zeigen eine deutliche Zunahme der heißen Tage im Jenaer Stadtgebiet. In der Konsequenz ergibt sich daraus – neben einer erhöhten Verdunstungsrate – v. a. eine Verstärkung der Wärmebelastung für die Jenaer Bevölkerung.

„Ist die Wärmeabgabe [des Körpers] behindert – was hauptsächlich bei sommerlichen, gering bewölkten Wetterlagen mit hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchte und schwachem Wind der Fall ist – droht Überhitzung und die Thermoregulation muss verstärkt wirksam werden. Die Umgebung wird dann als belastend empfunden, man spricht von Wärmebelastung“ (DWD 2017). Der Grad der Belastung wird von jedem Menschen unterschiedlich empfunden. Jungen, gesunden Menschen macht Hitze in der Regel weniger zu schaffen als älteren oder körperlich vorbelasteten Menschen. Vor allem während Hitze- und Trockenperioden, die sich in Zukunft häufen und intensivieren werden (IPCC 2013), kommt es neben zunehmender Erschöpfung und eingeschränkter Leistungsfähigkeit auch zu einem verstärkten Auftreten von temperaturbeeinflussten Krankheitsbildern, allen voran Lungen- und Herzkreislauferkrankungen, bis hin zu erhöhten Sterblichkeitsraten (Scherber et al. 2013; D'Ippoliti et al. 2010). So konnte bspw. nachgewiesen werden, dass ca 5 % aller Todesfälle in Berlin im Zeitraum 2001-2010 mit erhöhten Lufttemperaturen korreliert sind (Scherer et al. 2014).

Auch Kinder und insbesondere Kleinkinder gelten als vulnerable Bevölkerungsgruppe gegenüber Wärmebelastung. Ursächlich hierfür sind ein größeres Oberfläche-Masse-Verhältnis im Vergleich zu Erwachsenen, sodass mehr Wärme in den Körper transferiert werden kann und die bei Kindern verminderte Fähigkeit zu schwitzen (BBK 2013). Ferner halten sich Kinder vergleichsweise häufig im Freien auf und verfügen oftmals nicht über das nötige Bewusstsein zum Selbstschutz gegenüber Umwelteinflüssen (Brasseur et al. 2016, Xu et al. 2014).

Wiederum für Kinder von besonders hoher Relevanz ist dabei die enge Verknüpfung von steigenden sommerlichen Temperaturen und der lufthygienischen Belastungssituation. Als wesentliche Faktoren für die Bildung von bodennahem Ozon gelten hohe Temperaturen, eine starke Insolation (Sonneneinstrahlung) und eine erhöhte Konzentration an Stickoxiden insbesondere aus dem Verkehr. Durch die projizierte Zunahme von Hitze- und Trockenperioden (IPCC 2013) werden die Ausgangsbedingungen für die Bildung bodennahen Ozons somit befördert. Sofern sich die verkehrsbedingten Stickoxidemissionen nicht signifikant verringern, muss demnach damit gerechnet werden, dass die Ozon-Konzentration in urbanen Räumen statistisch zunimmt, die Anzahl an Tagen mit Grenzwertüberschreitungen steigt und sich Belastungssituationen für die Bevölkerung (v. a. verminderte Leistungsfähigkeit, olfaktorische Reizungen, Atemwegserkrankungen) häufiger einstellen werden (Jacob & Winner 2009; BMVBS/BBSR 2009). Auch leichtflüchtige Substanzen aus biogenen Quellen (z. B. Bäume) können Einfluss auf die Ozonbildung an Hitzetagen haben (Wagner 2014). Genauer quantifizierbare Aussagen zu deren Bedeutung können jedoch noch nicht getroffen werden und bleiben der weiteren Forschung vorbehalten (Pacifico et al. 2009).

Auch bezüglich Aerosolen und Stäuben wird mit fortschreitendem Klimawandel von einer zunehmenden Belastungssituation und einer entsprechenden Häufung von korrelierten Krankheitsbildern (v. a. Allergien, Asthma, Herz-Kreislauf-Erkrankungen) ausgegangen (Fiore et al. 2012; Jacob & Winner 2009). Als wesentliche klimawandelbedingte Ursache ist hierfür wiederum die Verstärkung und Häufung sommerlicher Hitze- und Trockenperioden und die damit verbundene Abnahme der Niederschlagssummen bzw. -häufigkeiten zu sehen (BMVBS/BBSR 2009, Kuttler 2004).

1.3 Wärmebelastung beeinflussende Faktoren

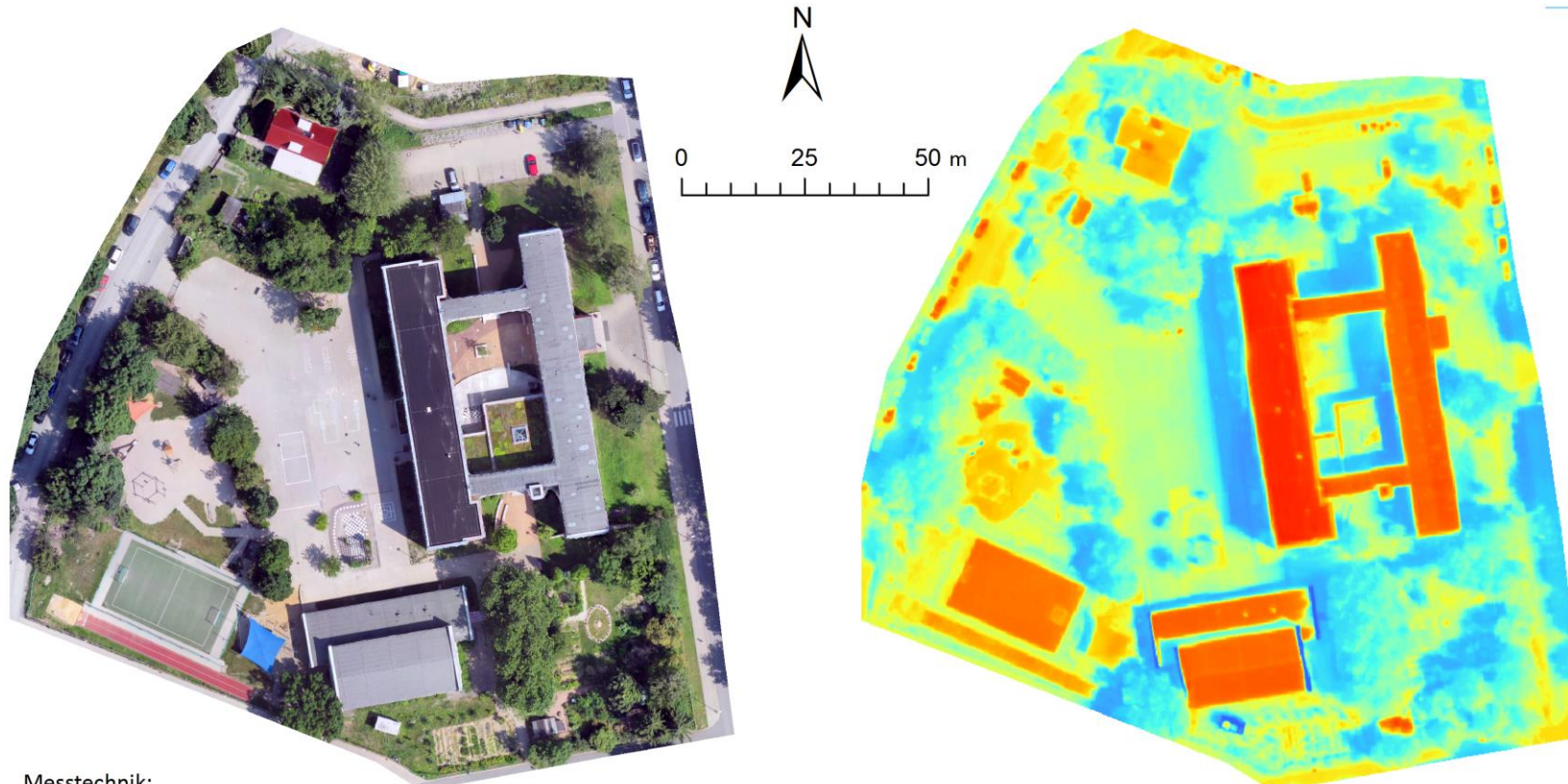
Im urbanen Raum gibt es eine Vielzahl von Faktoren, die die Wärmebelastung bei der Bevölkerung sowohl verstärkend als auch abschwächend beeinflussen. Das sind in erster Linie die Bebauungsstruktur (z. B. Grad der Versiegelung, Oberflächen- und Materialeigenschaften, Höhe, Dichte und Exposition von Gebäuden), die Nähe zum Umland bzw. zu größeren innerstädtischen Freiflächen, wie Wälder, Parks, Brachflächen, Kleingartenanlagen sowie Windfelder und -strömungen, der Einfluss von nächtlicher Kaltluft und das Vorhandensein bzw. die Quantität und Qualität kühlender Elemente (Grünflächen, Stadtbäume, Wasserelemente etc.).

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde zur Visualisierung der Bedeutung von die Wärmebelastung beeinflussenden Faktoren eine drohnengestützte Thermografie-Befliegung eines ausgewählten Standorts (Heinrich-Heine-Schule im Ortsteil Wenigenjena) durchgeführt. Abb. 45 zeigt die bei der Befliegung simultan erzeugten Luftaufnahmen mit einem optischen Sensor (Luftbild, links) und einer Thermalkamera (Wärmebild, rechts) an einem Sommertag zur fortgeschrittenen Vormittagszeit bei schwach windigem und wolkenarmem Wetter.

Die Aufnahmen lassen eine deutliche Differenzierung der Oberflächentemperatur in Abhängigkeit von den die Wärmebelastung beeinflussenden Einflussgrößen erkennen. Als besonders überwärmt ($T \geq 60 \text{ }^\circ\text{C}$) treten bspw. sonnenexponierte Flächen mit besonderer Beschaffenheit, Materialeigenschaften und Farbe hervor (z. B. Dachflächen, parkende Autos). Auch die Bedeutung der Albedo, also dem Reflexionsvermögen von Oberflächen, wird anhand der Aufnahmen eindrucksvoll visualisiert: Der westliche Gebäudetrakt mit schwarzem Flachdach (ca. $65 \text{ }^\circ\text{C}$) heizt sich stärker auf als der östliche Trakt mit etwa $60 \text{ }^\circ\text{C}$ Oberflächentemperatur. Hervorzuheben ist zudem der temperaturmindernde Einfluss von Beschattung und Verdunstungskühlung. Zum Zeitpunkt der Aufnahmen ist der westliche Bereich des Schulhofs bereits deutlich länger der Sonneneinstrahlung ausgesetzt als der östliche und teilweise noch beschattete Hofbereich. Über dem Schulhof besteht daher ein Temperaturunterschied von etwa 25 K (ca. $50 \text{ }^\circ\text{C}$ im Eingangsbereich des Schulhofs bis ca. $25 \text{ }^\circ\text{C}$ im Gebäudeschatten des Westtraktes). Auch der Schattenwurf von Bäumen und den vergleichsweise kleinen Sträucher auf dem Schulhof erzeugt deutliche Temperaturdifferenzen zu umgebenden nicht beschatteten Bereichen. Ebenso zeigt sich die kühlende Wirkung vegetationsbestandener Freiflächen, wie etwa beim Vergleich des versiegelten und überwärmten Bolzplatzes (55 bis $60 \text{ }^\circ\text{C}$, südwestlicher Bildausschnitt) und den diesen umgebenden Rasenflächen (35 bis $50 \text{ }^\circ\text{C}$). Eine Zwischenstellung (ca. $55 \text{ }^\circ\text{C}$) nimmt der sich nördlich anschließende Spielplatz ein, der aufgrund seiner Kies-/Sandunterlage zwar Niederschlagswasser aufnimmt, dieses allerdings kaum zu speichern und somit zu verdunsten vermag. Im Laufe des weiteren Tages (weiterer Sonneneinstrahlung) dürfte sich insbesondere der Schulhof auf Oberflächentemperaturen von bis zu $60 \text{ }^\circ\text{C}$ aufheizen, da dieser die Wärmeenergie der Sonneneinstrahlung besonders gut aufnimmt und somit die bodennahen Luftschichten erwärmt, aufgrund der vollversiegelten Fläche keine Verdunstung generiert, von der Westfront des Schulgebäudes zusätzliche Wärmeenergie reflektiert bekommt und weitläufig kaum kühlende Elemente wie Bäume, Rasenflächen oder Wasserelemente vorhanden sind.

Die tiefblauen erscheinenden, schmalen Giebelflächen der Sporthalle (südlicher Bildausschnitt) sind Reflexionen der Metallverkleidung und spiegeln die Troposphärentemperatur (weit unter $0 \text{ }^\circ\text{C}$) wider. Die Temperaturangaben dieser Flächen sind somit als Reflexionsfehler zu werten.

Oberflächentemperaturen am Standort Heinrich-Heine-Schule



Messtechnik:
 MikroKopter Okto XL
 thermale Infrarotkamera:
 thermalIMAGER TIM 450 (Spektralbereich 7,5 - 13,0 μm)
 RGB-Kamera:
 Canon A2500
 Flughöhe: 100m über Grund

Messzeitpunkt:
 19.07.2017, 10.55 - 11.00 Uhr

Wetter zum Messzeitpunkt:
 sonnig, ca. 27°C, schwach windig

Oberflächentemperatur in °C

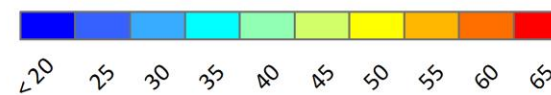


Abb. 45: Oberflächentemperaturen am Standort Heinrich-Heine-Schule

1.4 Zur Veranlassung des Projektes

Die Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS (Stadt Jena 2012) weist die Wärmebelastung für die Bevölkerung als eines der prioritären Handlungsfelder für die zukünftige Stadtentwicklung in Jena aus. Die Karten zur Entwicklung der Heißen Tage im Stadtgebiet (Abb. 44) verdeutlichen, dass die Wärmebelastung in der Stadt in den vergangenen Jahren und Dekaden bereits zugenommen hat und auch in Zukunft weiter zunimmt. Gleichzeitig zählen Kinder aufgrund bestehender physiologischer, metabolischer (Stoffwechsel) und ethologischer (Verhalten) Unterschiede zu den gegenüber Wärmebelastung besonders anfälligen Bevölkerungsgruppen (Kap. 1.2). Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Jena eine wachsende Stadt ist, der Nutzungsdruck auf bestehende Betreuungs- und Bildungseinrichtungen demnach eher zunimmt und sich Flächenpotenziale für Erholung bzw. thermischen Ausgleich eher verknappen dürften, müssen Lösungen gefunden werden, wie die Aufenthaltsqualität vor dem Hintergrund einer klimawandelbedingt zunehmenden Wärmebelastung in Kindertagesstätten und Grundschulen aufrecht erhalten bzw. verbessert werden kann.

Die Untersuchung zur Wärmebelastung an kommunalen Kindertagesstätten und Grundschulen der Stadt Jena hat daher das Ziel, einerseits bestehende bzw. zukünftige Betroffenheiten durch Wärmebelastung für die untersuchten Objekte zu ermitteln, Prioritäten bzgl. des Handlungsbedarfs aufzuzeigen und konkrete Vorschläge zur Reduzierung der Belastungssituation zu erarbeiten. Nach Möglichkeit sollen diese Maßnahmen im Zuge künftiger Sanierungsvorhaben der Objekte mit eingeplant

und realisiert werden. Grundlage für das Pilotprojekt sind zehn Kindertagesstätten und neun Grundschulen, die sich in der Verwaltung der Kommunalen Immobilien Jena befinden (Abb. 46).



Abb. 46: Untersuchte Kindertagesstätten und Grundschulen im Jenaer Stadtgebiet.

2. Methodik

In Kap. 1.3 wurden die wesentlichen Entstehungs- bzw. Minderungsfaktoren für Wärmebelastung benannt. Letztlich wird der Grad der Ausprägung von Wärmebelastung durch eine Vielzahl von Wirkzusammenhängen zwischen diesen und weiteren Faktoren bestimmt (Phelan et al. 2015).

Will man auf vergleichsweise großer Maßstabsebene (z. B. Gesamtstadt, Ortsteil, Quartier) die Betroffenheit durch Wärmebelastung ermitteln, kann dafür eine Vielzahl zweckmäßiger Daten (z. B. Mitteltemperatur, durchschnittlicher Versiegelungsgrad) erhoben werden. Für eine Beurteilung der Betroffenheit durch Wärmebelastung am konkreten Objekt können derartige verhältnismäßig grob skalierte Mittelwerte jedoch keine Anwendung finden. Es ergibt sich vielmehr der Bedarf, ein eigenständiges, maßstabsgerechtes Bewertungsschema aufzubauen, das alle unter Kap. 1.3 aufgeführten Faktoren berücksichtigt und gleichzeitig deren Quantifizierung und somit Vergleichbarkeit erlaubt.

2.1 Schwerpunktthemen, Wirk- und Resilienzfaktoren

Für die Erarbeitung eines Bewertungsschemas zur Betroffenheit der einzelnen Objekte durch Wärmebelastung wurden in einem ersten Schritt drei Schwerpunktthemen für die Analyse festgelegt:

- Wärmebelastung im Innenbereich (Gebäudeaufheizung)
- Wärmebelastung im Außenbereich
- Lufthygienische Belastungssituation

Zu jedem dieser Schwerpunktthemen wurden in Bezug auf Wärmebelastung wesentliche Einflussgrößen recherchiert und zusammengetragen. Dabei wurden diese für alle Schwerpunkte in Wirkfaktoren und Resilienzfaktoren separiert. Bei Ersteren handelt es sich um Einflussgrößen, die die Exposition des Objektes/der Einrichtung gegenüber der Klimawirkung (z. B. höhere Mitteltemperaturen, stärkere Insolation) ausdrücken und mehr oder weniger unveränderlich sind (z. B. Stellung des Gebäudes). Unter Resilienzfaktoren werden diejenigen Einflussgrößen zusammengefasst, die jener Klimawirkung der Wirkfaktoren etwas entgegenzusetzen haben (Resilienz), also einen wärmebelastungsmindernden Effekt bewirken können und vergleichsweise veränderlich sind (z. B. Sonnenschutz an Fenstern, Bedeckungsgrad mit Großgrün). Tab. 1 gibt einen Überblick zu den betrachteten Wirk- bzw. Resilienzfaktoren.

Tab. 1: Bei der Betroffenheitsermittlung betrachtete Wirk- (rot unterlegt) und Resilienzfaktoren (grün unterlegt) mit Erläuterungen.

Wärmebelastung im Innenbereich (Gebäudeaufheizung)	
Faktor	Erläuterung
Gebäudeexposition und Außenverschattung	Gebäudegrundriss und -höhe im Zusammenhang mit der Sonneneinstrahlung im Tagesverlauf unter Berücksichtigung von beschattenden Elementen (z. B. Bäume, andere Gebäude); siehe auch Abb. 51 im Anhang
Fensterflächen nicht beschatteter Außenwände	Anteil von Fensterfläche zur Gesamtfläche der einzelnen Gebäudeseiten im Zusammenhang mit der Sonneneinstrahlung im Tagesverlauf unter Berücksichtigung von beschattenden Elementen (z. B. Bäume, andere Gebäude); siehe auch Abb. 51 im Anhang
Art des Sonnenschutzes an sonnenbeschienenen Fenstern	Installierter Sonnenschutz (Raffstores, Sonnenschutzglas, Innenjalousien etc.) an den jeweiligen Gebäudeseiten im Zusammenhang mit der Sonneneinstrahlung im Tagesverlauf unter Berücksichtigung von beschattenden Elementen (z. B. Bäume, andere Gebäude)
Bauweise und Wärmedämmung	Beschaffenheit (Mächtigkeit und Material) von Mauerwerk und (so weit vorhanden) Außendämmung; Wärmedurchgangskoeffizient U bzw. Wärmedurchlasswiderstand R
Lüftungs-/Klimaanlage	Technische Kühlpotenziale, wie Lüftungs- oder Klimaanlage und deren Wirksamkeit (z. B. gesamtes Gebäude oder einzelne Gebäudeteile)
Wärmebelastung im Außenbereich	
Faktor	Erläuterung
Heiße Tage	Mittlere Anzahl Heißer Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$) im Projektionszeitraum 2021-2050 (vgl. Abb. 44 sowie Abb. 52 im Anhang)
URBAHT-Bewertung	UrbanHeatTool zur Abschätzung der Wärmebelastung in der jeweiligen Umgebung (mikroklimatische Gegebenheiten) anhand klimatischer Kennwerte sowie baulicher Strukturfaktoren (Gebhardt & Meyer 2015): je höher die Prädisposition gegenüber Wärmebelastung, umso größer der Wert (siehe auch Abb. 52 im Anhang)
Anteil Grünfläche an Außenfläche	Unversiegelte, vegetationsbestandene Fläche im Verhältnis zur gesamten Außenfläche (siehe auch Abb. 53 bzw. Abb. 54 des Anhangs)
Anteil sonstige verdunstungsaktive Fläche an Außenfläche	Unversiegelte, jedoch bzgl. der Verdunstungsleistung weniger effiziente Flächen (z. B. Sandkasten, wassergebundene Decke, verdichteter, vegetationsloser Oberboden) im Verhältnis zur gesamten Außenfläche (siehe auch Abb. 53 bzw. Abb. 54 des Anhangs)

Bedeckungsgrad Großgrün	Flächensumme (Grundfläche der Baumkrone anhand des Kronendurchmessers) aller Bäume im Verhältnis zur gesamten Außenfläche; Grundlage: Baumkataster der Stadt Jena 2017 (vgl. Abb. 53 im Anhang)
Vitalität des Großgrüns	Mittlere Vitalitätsbeurteilung aller Bäume im Zusammenhang mit dem Kronenvolumen; Grundlage: Baumkataster der Stadt Jena 2017
Dach-/Fassadenbegrünung	Vorhandensein, Qualität und Quantität von Dach- und Fassadenbegrünung
Wasserelemente in den Sommermonaten	Vorhandensein, Qualität und Quantität von Wasserelementen (z. B. Matschanlage, Außendusche, Sprenkler, Gartenschlauch) zur Abkühlung in den Sommermonaten
Lufthygienische Belastungssituation	
Faktor	Erläuterung
Heiße Tage	Mittlere Anzahl Heißer Tage ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) im Projektionszeitraum 2021-2050 (vgl. Abb. 44 und Abb. 52 im Anhang)
Anzahl Kfz/d in der näheren Umgebung	Mittlere Anzahl an Kfz/d auf umgebenden Straßen; Grundlage: Verkehrsmodell Jena (Stand 2014); vgl. Abb. 56 des Anhangs
Anteil Bestandsbäume mit hohem Ozonvorläuferemissionsvermögen	Anteil von Bäumen mit hohem Ozonvorläuferemissionsvermögen im Zusammenhang mit dem Kronenvolumen im Verhältnis zur Gesamtzahl aller Bäume bzw. dem gesamten Kronenvolumen; Grundlage: Hewitt & Street 1992 (Abb. 57 im Anhang)
Bedeckungsgrad Großgrün	Flächensumme (Grundfläche der Baumkrone anhand des Kronendurchmessers) aller Bäume im Verhältnis zur gesamten Außenfläche; Grundlage: Baumkataster der Stadt Jena 2017 (vgl. Abb. 53 des Anhangs)
Anteil Bestandsbäume mit hohem Stickoxid-/Feinstaubbindungsvermögen	Anteil von Bäumen mit hohem Stickoxid- oder Feinstaubbindungsvermögen im Zusammenhang mit dem Kronenvolumen im Verhältnis zur Gesamtzahl aller Bäume bzw. dem gesamten Kronenvolumen; Grundlage: Stadt Jena 2016 (Abb. 57, Tab. 3 im Anhang)

2.2 Begehung der einzelnen Objekte

Im Zeitraum Mai/Juni 2017 wurden Begehungen aller Objekte durchgeführt. Anhand eines Aufnahmebogens wurden alle vor Ort erfassbaren Wirk- und Resilienzfaktoren aufgenommen. Die Aufnahme wurde bei jedem Objekt von der gleichen Person durchgeführt, um eine zusätzliche subjektive Fehlerquelle möglichst ausschließen zu können.

Bei jeder Begehung wurden die jeweiligen Kita- bzw. Schulleiter bzgl. ihrer Erfahrungen zur Wärmebelastung in ihrer Einrichtung befragt. Im Gespräch mit den Leitern und durch die Begehung der Innenräume und Außenbereiche wurden problematische Bereiche bzw. Potenziale und Defizite identifiziert sowie mögliche Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebelastung bzw. zur Verbesserung

der Aufenthaltsqualität für Kinder und Pädagogen zusammengetragen und anschließend mit dem Auftraggeber diskutiert (Kap. 4).

2.3 Ermittlung der Betroffenheit

Die Grundlage für die Betroffenheitsermittlung der betrachteten Kindertagesstätten und Grundschulen gegenüber Wärmebelastung bilden die Wirk- und Resilienzfaktoren aus Tab. 1. Diese wurden zu den Begehungsterminen (Kap. 2.2) erhoben bzw. abgeschätzt (z. B. Anteil Fensterfläche an nicht beschatteten Außenwänden) oder auf der Grundlage anderweitig verfügbarer Daten (z. B. Baumkataster der Stadt Jena, Luftbilder) hergeleitet. Die Ergebnisse zu einzelnen, ausgewählten Wirk- und Resilienzfaktoren sind auch im Anhang grafisch dargestellt.

Alle Faktoren wurden hinsichtlich ihrer Bedeutung/ihres Einflusses bzgl. der Wärmebelastung innerhalb eines Schwerpunktthemas gewichtet, aufsummiert und jeweils für Wirk- (Wf) und Resilienzfaktoren (Rf) auf den Wertebereich [0;1] normiert. Dadurch konnte pro Objekt für jedes Schwerpunktthema ein Wirkungsindex (Wi) und ein Resilienzindex (Ri) hergeleitet werden, der somit den Grad der Wirkung bzw. Resilienz eines Objekts bzgl. eines Schwerpunktthemas widerspiegelt und als Zahl im genannten Wertebereich ausdrückt:

$$W_i [0; 1] = \frac{(Wf_1 * a) + (Wf_2 * b) + (Wf_3 * c)}{((Wf_1 * a) + (Wf_2 * b) + (Wf_3 * c))_{max}}$$

bzw.

$$R_i [0; 1] = \frac{(Rf_1 * a) + (Rf_2 * b) + (Rf_3 * c)}{((Rf_1 * a) + (Rf_2 * b) + (Rf_3 * c))_{max}}$$

Die Betroffenheit kann folglich aus der Differenz zwischen dem Wirkungsindex (Wi) und dem Resilienzindex (Ri) abgeleitet werden und wird für jedes Objekt bzgl. jedes der drei Schwerpunktthemen als Betroffenheitsindex (Bi) mit einem Wertebereich [-1; 1] wiedergegeben:

$$B_i [-1; 1] = W_i - R_i$$

Der Betroffenheitsindex (Bi) drückt somit unter Abwägung aller Einflussfaktoren die Betroffenheit eines Objektes gegenüber Wärmebelastung bzgl. des jeweiligen Schwerpunktthemas aus.

3. Ergebnisse

3.1 Verhaltensänderung an Hitzetagen

Die Wahrnehmung von Hitze und des Grades, ab welchem diese als „Belastung“ empfunden wird, ist höchst subjektiv (Kap. 1.2). Die Ergebnisse der Befragung der jeweiligen Kita- und Schulleiter ist somit nur sehr bedingt repräsentativ, weshalb im Folgenden auf eine quantitative Darstellung verzichtet und eine qualitative Interpretation der Befragungsergebnisse erfolgen soll.

In allen untersuchten Objekten werden Hitzetage bzw. Hitzeperioden bzgl. des Kita-/Schulalltags als problematisch bis einschränkend empfunden. In den Kindertagesstätten ist das Problembewusstsein für Wärmebelastung, höchstwahrscheinlich aufgrund des niedrigeren Alters der Kinder und der entsprechenden Disposition gegenüber den Auswirkungen, deutlich stärker ausgeprägt als in den Grundschulen. Vielfach werden Konzentrationsdefizite, Stimmungsverschlechterungen („mauliger“ oder „weinerlicher“) bis hin zu einer Häufung von kleinen Unfällen bei den Kindern an Hitzetagen beobachtet. Entsprechend groß stellt sich auch der Unterschied zwischen den Kitas und Grundschulen bzgl. der Verhaltensänderung an Hitzetagen bzw. -perioden dar. Als „belastend“ wird in den Kitas vor allem der Außenbereich (Sonneneinstrahlung und Wärme) wahrgenommen, weshalb hier zumeist vielfältige Gegenmaßnahmen (z. B. Trinkpausen, Kopfbedeckung, Wasserelemente) ergriffen werden und in der Mehrzahl der Kitas der Tagesablauf dahingehend angepasst wird, dass die Kinder früher am Morgen in den Außenbereich und auch früher am Vormittag wieder in die Gruppenräume gehen. Manche Kitas verkürzen zudem die Aufenthaltszeit im Freien oder gehen an manchen (heißen) Tagen gar nicht raus. Im Gegensatz dazu wird in den Grundschulen primär der „Innenbereich“, vor allem die Klassenräume, als Belastung empfunden, in denen sich die Schüler die meiste Zeit aufhalten und die sich aufgrund der Wärmeabgabe der Schüler auf vergleichsweise engem Raum zusätzlich aufheizen. Gegenmaßnahmen bei Wärmebelastung (z. B. Verlagerung des Unterrichts in schattige Außenbereiche) werden an den Grundschulen jedoch kaum ergriffen und sind dort auch deutlich schwieriger zu realisieren, bspw. aufgrund der größeren Schülerzahlen und der entsprechenden Notwendigkeit zur Flächenversiegelung. Auch „hitzefrei“ ist an den Grundschulen kaum eine Option, da die Schulen trotz dessen ihrer Aufsichtspflicht gerecht werden müssen und die Kinder somit im Schulhort verbleiben, der sich räumlich häufig ebenfalls auf den Klassenraum konzentriert.

3.2 Betroffenheit gegenüber Wärmebelastung

Der in Kap. 2.3 beschriebenen Methodik folgend wurde eine Betroffenheitsermittlung für die untersuchten Objekte bzgl. der drei Schwerpunktthemen zur Wärmebelastung (Kap. 2.1) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Betroffenheitsanalyse sind nachfolgend (Abb. 47, Abb. 48 und Abb. 49) dargestellt. Je Schwerpunktthema sind der jeweilige Wirkungs- und Resilienzindex sowie der resultierende Betroffenheitsindex (Kap. 2.3) auf einer dimensionslosen Skala im Wertebereich von -1 bis 1 aufgeführt. Demnach bestehen eher geringe Betroffenheiten bei den Einrichtungen im linken Bereich des Diagramms (geringer Betroffenheitsindex), und vergleichsweise hohe Betroffenheiten bei Einrichtungen, die sich weiter rechts im Diagramm befinden (hoher Betroffenheitsindex).

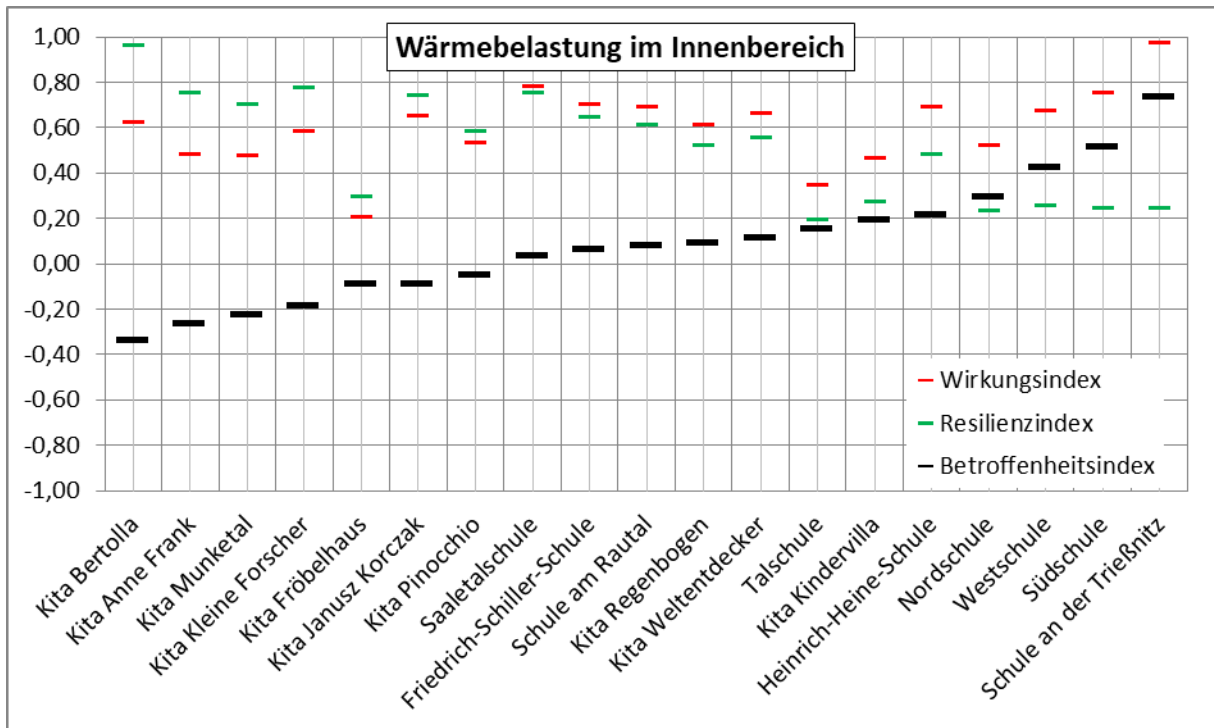


Abb. 47: Betroffenheit der Einrichtungen im Schwerpunktthema Wärmebelastung im Innenbereich.

Abb. 47 zeigt die Betroffenheit der betrachteten Einrichtungen bzgl. des Schwerpunktthemas **Wärmebelastung im Innenbereich**. In diesem Schwerpunktthema ist die Differenz zwischen der Einrichtung mit der geringsten (Kita Bertolla: - 0,34) und derjenigen mit der höchsten Betroffenheit (Schule an der Triebnitz: 0,73) am größten (1,07), das heißt, im Innenbereich sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Einrichtungen bzgl. Wärmebelastung am deutlichsten ausgeprägt.

Anhand des jeweiligen Wirkungs- und Resilienzindex wird erkennbar, dass bei der Mehrzahl der Einrichtungen in der Vergangenheit aufgrund spürbarer Belastungen Maßnahmen zur Abwendung von Überwärmung getroffen worden sind: Ist die Exposition gegenüber Wärmebelastung (Wirkungsindex) bei einem Objekt hoch (z. B. Saaletalschule), so ist dieses Objekt auch relativ gut mit Elementen/Maßnahmen zur Minderung der Überwärmung (Resilienzindex) ausgestattet. Stellt sich die klimatische Exposition eines Objektes weniger deutlich dar (z. B. Kita Fröbelhaus, Talschule), so ist auch die Ausstattung mit Wärmebelastung mindernden Elementen/Maßnahmen aufgrund des weniger „spürbaren“ Bedarfs begrenzt.

Diese Kohärenz zwischen Wirkungs- und Resilienzindex lässt sich jedoch nicht bei den Einrichtungen rechts im Diagramm (Nordschule, Westschule, Südschule, Schule an der Triebnitz) erkennen. Diese Objekte weisen unabhängig von der Exposition (Wirkungsindex) einen geringen Resilienzindex auf, was in einer vergleichsweise hohen Betroffenheit resultiert. Insgesamt ist bei den untersuchten Grundschulen die Betroffenheit höher als bei den betrachteten Kindertagesstätten.

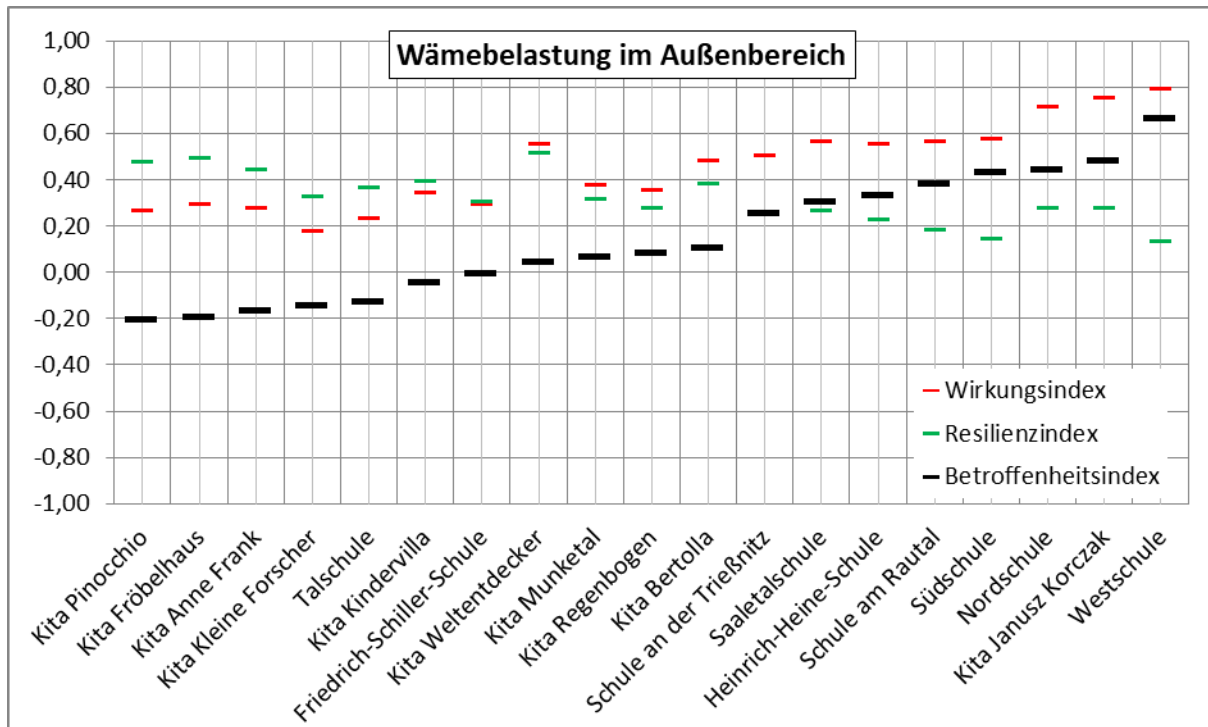


Abb. 48: Betroffenheit der Einrichtungen im Schwerpunktthema Wärmebelastung im Außenbereich.

Noch deutlicher stellt sich dieser Unterschied bei der Betroffenheitsanalyse zum Schwerpunktthema **Wärmebelastung im Außenbereich** (Abb. 48) dar. Zwischen der Kita Bertolla und der Schule an der Trießnitz ist ein merklicher „Sprung“ in der Betroffenheit erkennbar. Bei den Einrichtungen links dieses Sprungs im Diagramm nehmen Wirkungs- und Resilienzindex jeweils recht nah beieinander liegende Werte ein (mittlere Differenz: 0,11), bei den Einrichtungen rechts davon ist der Wirkungsindex – und somit die Betroffenheit – deutlich höher als der Resilienzindex (mittlere Differenz: 0,41). Bei den Einrichtungen links (geringere Betroffenheit) handelt es sich überwiegend um Kindertagesstätten (9 von 11), die Objekte rechts (höhere Betroffenheit) sind fast ausschließlich Grundschulen (7 von 8).

Beim Schwerpunktthema **Lufthygienische Belastungssituation** (Abb. 49) ergibt sich eine vergleichsweise homogene Verteilung der untersuchten Einrichtungen bzw. ist die Differenz zwischen der Einrichtung mit der geringsten und der höchsten Betroffenheit am geringsten (0,75). Dennoch gibt es auch beim Schwerpunktthema Lufthygiene Einrichtungen mit einem deutlich höheren Wirkungsindex gegenüber dem Resilienzindex (Kita Janusz Korczak, Nordschule, Saaletalschule). Die sich dadurch ergebenden erhöhten Betroffenheiten sind allerdings unspezifisch hinsichtlich der Frage, ob es sich vornehmlich um Kindertagesstätten oder Grundschulen handelt.

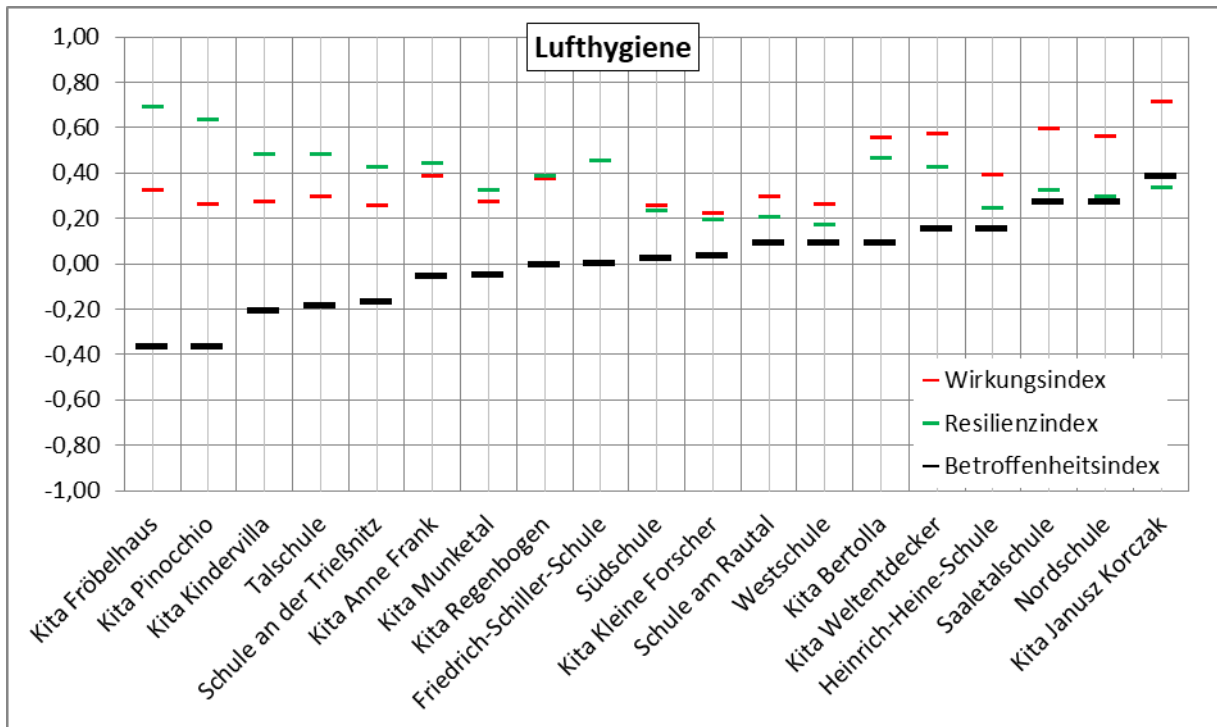


Abb. 49: Betroffenheit der Einrichtungen im Schwerpunktthema Lufthygienische Belastungssituation.

Klassifiziert man die Ergebnisse der Betroffenheitsanalysen zu den Schwerpunktthemen (Abb. 47, Abb. 48, Abb. 49) anhand der Standardabweichung der Varianzen, lässt sich die Betroffenheit der einzelnen Kitas und Grundschulen übersichtlich wie folgt darstellen (Tab. 2).

Tab. 2: Übersicht zur Betroffenheit der untersuchten Objekte bzgl. der drei Schwerpunktthemen.

Einrichtung/Objekt	Wärmebelastung im Innenbereich	Wärmebelastung im Außenbereich	Lufthygienische Belastungssituation	
Kita Anne Frank	gering	gering	mittel	
Kita Bertolla	gering	gering	mittel	
Kita Fröbelhaus	gering	gering	gering	
Kita Janusz Korczak	gering	erhöht	höchst	
Kita Kindervilla	mittel	gering	gering	
Kita Kleine Forscher	gering	gering	mittel	
Kita Munketal	gering	mittel	mittel	
Kita Pinocchio	gering	gering	gering	
Kita Regenbogen	mittel	mittel	mittel	
Kita Weltentdecker	mittel	mittel	erhöht	
Friedrich-Schiller-Schule	mittel	gering	mittel	
Heinrich-Heine-Schule	mittel	erhöht	erhöht	
Nordschule	erhöht	erhöht	erhöht	
Saaletalschule	mittel	erhöht	erhöht	
Schule am Rautal	mittel	erhöht	mittel	
Schule an der Trießnitz	höchst	mittel	gering	
Südschule	höchst	erhöht	mittel	
Talschule	mittel	gering	gering	
Westschule	erhöht	höchst	mittel	
Einstufung der Betroffenheit (zur Erläuterung):				
geringste	gering	mittlere	erhöhte	höchste

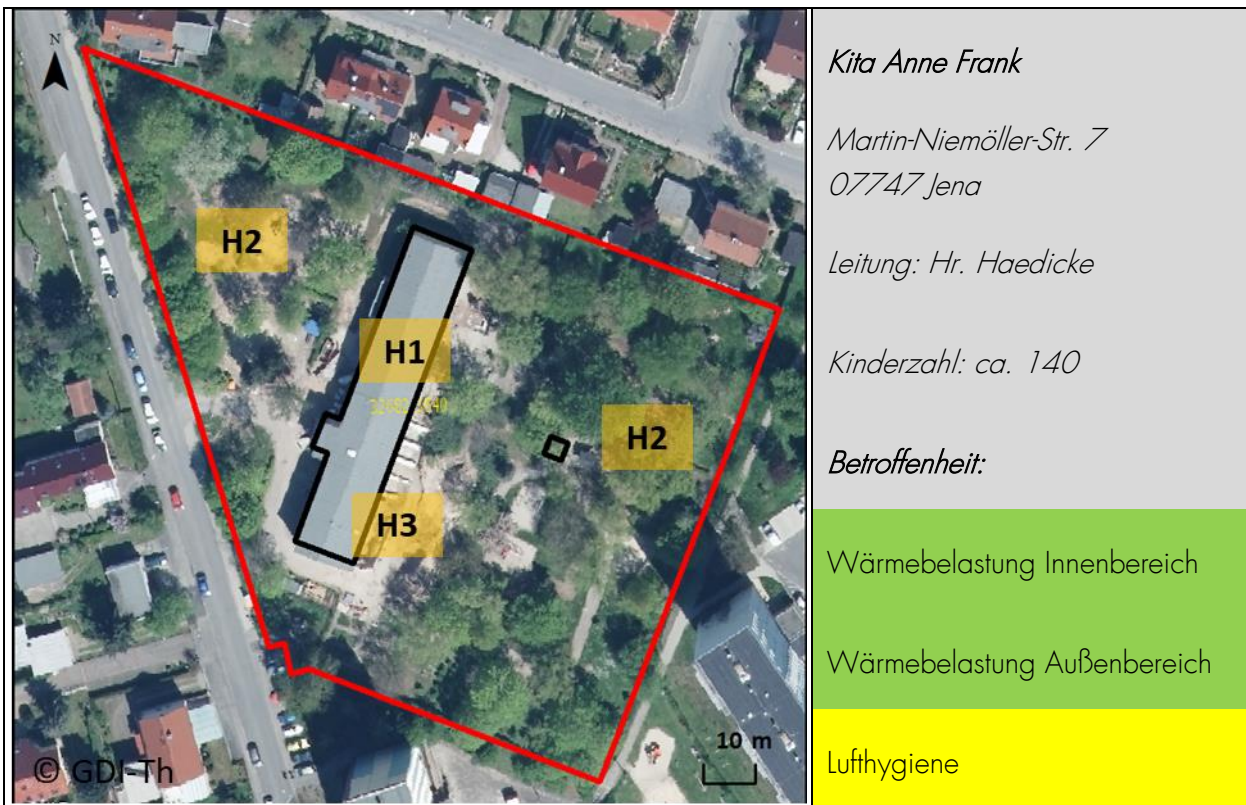
4. Betrachtung der einzelnen Objekte und Handlungsempfehlungen

Der Klimawandel wird in den nächsten Dekaden zu einer deutlichen Verstärkung der bioklimatischen Belastungssituation in Jena führen (Kap. 1), worauf insbesondere an Einrichtungen mit einer Konzentration von Menschen, die als besonders sensibel gegenüber Wärmebelastung gelten, in Zukunft entsprechend reagiert werden muss. In der vorliegenden Studie wurden dazu 19 Kindertagesstätten und Grundschulen hinsichtlich ihrer Betroffenheit durch Wärmebelastung untersucht. Im Allgemeinen vermittelten die Objekte einen überwiegend positiven Eindruck, was ihre Ausstattung/Resilienz bzgl. Wärmebelastung betrifft: So wurden 18 der 19 Objekte in der näheren Vergangenheit saniert und vielfach mit Maßnahmen zum Sonnen-/Wärmeschutz versehen. Im Außenbereich sind Sonnensegel über Sandkästen inzwischen Standard, weshalb die Ausstattung mit Sonnensegeln gar nicht erst als Kriterium (Resilienzfaktor, Tab. 1) bei der Untersuchung betrachtet worden ist.

Trotz dessen konnten durch die Betroffenheitsanalyse sowie die Begehungen und Gespräche vor Ort deutliche Unterschiede hinsichtlich der Exposition gegenüber Wärmebelastung und der vorhandenen Ausstattung identifiziert werden. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Tab. 2 zusammengefasst, welche als Grundlage für die Setzung von Prioritäten bei der Planung und Realisierung von Maßnahmen zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität an den betrachteten Standorten dienen könnte und sollte.

Nachdem im vorangegangenen Kapitel ein Überblick zu den Ergebnissen der Betroffenheitsanalyse gegeben wurde, sollen die einzelnen Einrichtungen/Objekte nun fokussiert und mögliche Maßnahmen zur Minderung der zukünftig zunehmenden Wärmebelastung andiskutiert werden.

4.1 Kita Anne Frank



Die Kita Anne Frank liegt im Übergangsbereich der Ortsteile Altlobeda und Neulobeda (Lobeda-Ost). Die Einrichtung wurde 2017 saniert und modernisiert und verfügt über ein weitläufiges, nahezu vollständig unversiegeltes Außengelände (Bild 1): Rein rechnerisch stehen jedem Kind ca. 66 m² Außenfläche zur Verfügung (Abb. 50 im Anh.), so viel wie bei keinem anderen der betrachteten Objekte.

Im Innenbereich der Kita wird vor allem das Dachgeschoss als problematisch empfunden, da sich dieses aufgrund des darüber befindlichen Flachdachs deutlich schneller erwärmt, sich auch der Essensbereich (warmes Essen, viele Kinder) im Dachgeschoss befindet und eine Durchlüftung nur begrenzt zu realisieren ist. An Hitzetagen wird der Tagesablauf daher so organisiert, dass der Mittagsschlaf – soweit möglich – im Keller abgehalten werden kann. Alle sonnenbeschienenen Fensterfronten sind mit effektiven Außenjalousien (Raffstores, Bild 2) ausgestattet.

Das große Außengelände ist regelmäßig mit schattenspendendem Großgrün durchsetzt, welches jedoch teilweise deutliche Vitalitätseinschränkungen zeitigt (insb. Weide, Berg-Ahorn, Nadelbäume). Als besonders hitzebelasteter und gleichzeitig stark frequentierter Aufenthaltsbereich ist das



„Amphitheater“ (Bild 3) zu benennen. An der Südfassade wurden bereits Kletterhilfen für Fassaden-
grün installiert. Im Außenbereich gibt es eine Dusche und eine Matschstrecke.

Handlungsempfehlungen:

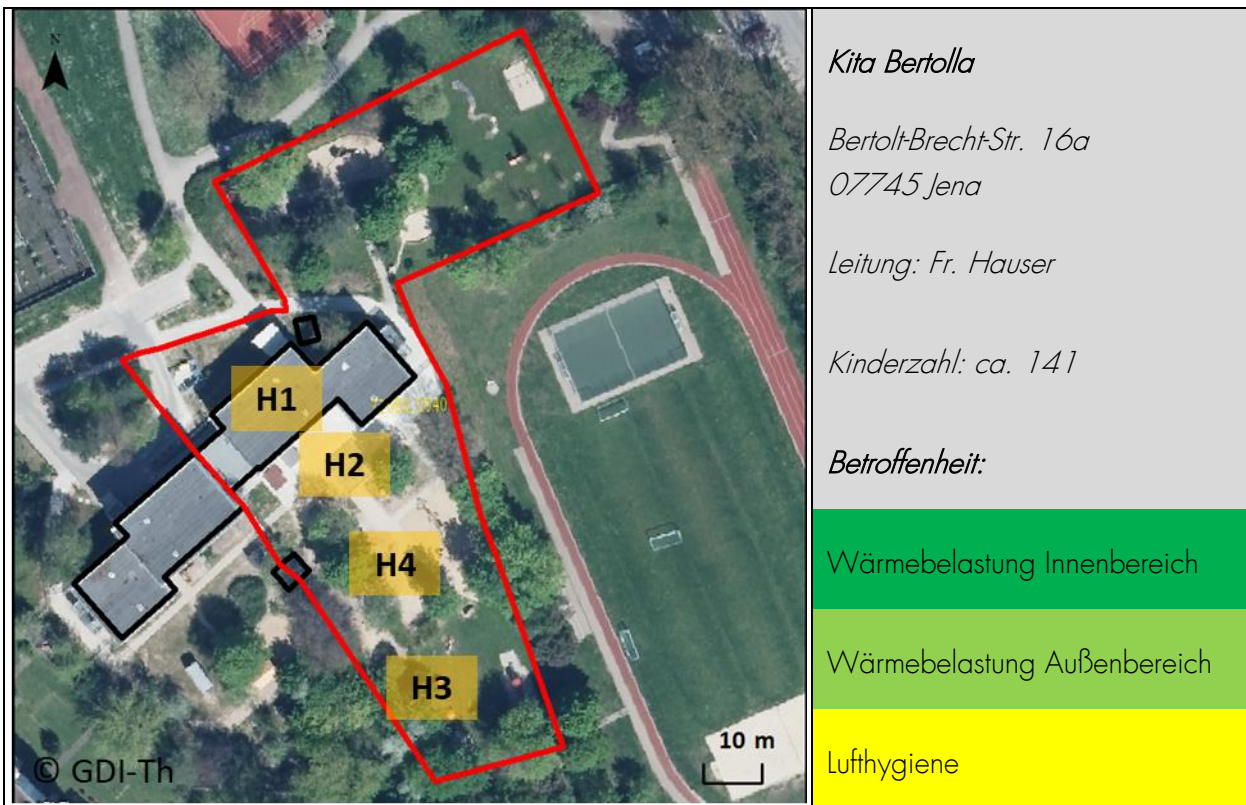
Um den Wärmeeintrag über das Flachdach zu reduzieren, wäre eine Dachbegrünung wünschenswert (H1). Auch ein hellerer Anstrich oder der Schattenwurf aufgeständerter PV-Module würde eine Minderung des Wärmedurchgangs bewirken.

Der Außenbereich sollte grundsätzlich in seiner Größe, seinem geringen Versiegelungsgrad und seinem gestreuten Baumbestand erhalten bleiben (H2). Die Zusammensetzung des Baumartenspektrums sollte jedoch sukzessive hin zu trocken- und strahlungstoleranten Baumarten verändert werden. Dazu eignen sich bspw. Krim- oder Silber-Linde, Lärche, Blumen-Esche, Zürgelbaum, Dreispitz-Ahorn sowie diverse Eichenarten (Trauben-, Zerr-, Schindel-, Scharlach-, Ungarische, Zweifarbig oder Persische Eiche). Zur Vermeidung lufthygienischer Belastungszustände könnten dabei verstärkt Baumarten mit hohem Stickoxid- bzw. Feinstaubbindungsvermögen berücksichtigt werden (siehe Tab. 3 im Anhang).

Für das „Amphi-Theater“ sollte eine Teilbeschattung geschaffen werden (H3). Dazu sollte ein zusätzlicher Baumstandort an der südöstlichen Ecke des Aufenthaltsbereichs (Bild 4) mit einer geeigneten Baumart mit halboffener Krone (z. B. Badische Eberesche, Zweifarbig Eiche) installiert werden. Der Standort sollte derart gestaltet werden, dass eine Zuleitung von Niederschlagswasser vom umgebenden Pflaster gewährleistet ist.



4.2 Kita Bertolla



Die Kita Bertolla im Ortsteil Winzerla wurde 2015 saniert und modernisiert. Das Gebäude hat dank der Bauweise und Dämmung den geringsten Wärmedurchgangskoeffizienten aller betrachteten Objekte. Zudem profitiert das Gebäude von der optimalen Fassadenalbedo (Bild 1) sowie z. T. von umstehenden Großbäumen, die im Sommer Teile der Fassade beschatten und im Winter das Sonnenlicht durchlassen.

Auch die Kita Bertolla ist mit einem dunklen Flachdach versehen. In Kombination mit den großen Fenstern der nach Süden exponierten Gruppenräume des Obergeschosses überwärmen sich diese trotz der effektiven und mit Zirkulationsraum bedachten Außenjalousien (Raffstores) vergleichsweise schnell (Bild 1).

Der Außenbereich der Kita ist insgesamt gut durchgrünt und vergleichsweise vital. Insbesondere die Baumreihen an der östlichen und südlichen Grundstücksgrenze sind von großer Bedeutung für die Beschattung der Freiflächen. Im nordöstlichen Außenbereich wurde bereits eine Reihe mit Urveltmammutbäumen nachgepflanzt. An Hitzetagen ist der Terrassenbereich (Bild 1) aufgrund der Exposition, der hohen Versiegelung und der Rückstrahlung durch das Gebäude schnell überwärmt. Durch den Sitzbereich mit Plexiglasüber-



dachung (Bild 2) verstärkt sich die Überwärmung zusätzlich. Einzelne Bäume weisen eine deutlich eingeschränkte Vitalität auf. Besonders der Berg-Ahorn im Bereich des Sandkastens (Bild 3) ist abgängig, der Standort allerdings von großer Relevanz für eine Beschattung des Sandkastens und des Terrassenbereichs. Eine Außendusche und eine Matschanlage sind vorhanden.

Handlungsempfehlungen:

Bzgl. der Wärmebelastung im Innenbereich hat die Kita Bertolla bereits einen hohen Standard. Zur Verbesserung des Innenklimas und auch unter Gesichtspunkten wie Wasserrückhalt und Artenvielfalt wäre die Installation eines Gründachs wünschenswert (H1). Alternativ könnte auch ein hellerer Anstrich des Flachdachs die Albedo erhöhen oder aufgeständerte PV-Module Beschattung generieren.

Die Überdachung der Sitzgruppe (Bild 2) sollte durch andere Materialien ersetzt werden (H2). Der Wärmebelastung entgegenwirken würden Materialien mit heller, lichtundurchlässiger Oberfläche; bestenfalls Holz mit Rankpflanzen (Pergola).

Der südliche Außenbereich offeriert einige potenzielle Baumstandorte. Diese sollten im Hinblick auf eine rechtzeitige Nachpflanzung aktuell geschädigter/abgängiger Exemplare mit geeigneten Baumarten genutzt werden (H3). Auf der Grundlage des Jenaer Stadtbaumkonzeptes (Stadt Jena 2016) eignen sich dafür insbesondere Amerikanischer Tulpenbaum, Ess-Kastanie, Berliner Pappel und Scharlach-Eiche – für die Nachpflanzung des Berg-Ahorns (Bild 3) Amerikanischer Zürgelbaum, Krim- oder Silber-Linde.

Beidseits der Wege könnte mit geringem Aufwand eine Bewässerung der Bäume durch ablaufendes Niederschlagswasser realisiert werden, anstatt dieses in die Kanalisation abzuführen (Bild 4). Mittelfristig sei hier auch an ein Rigolensystem gedacht (H4).

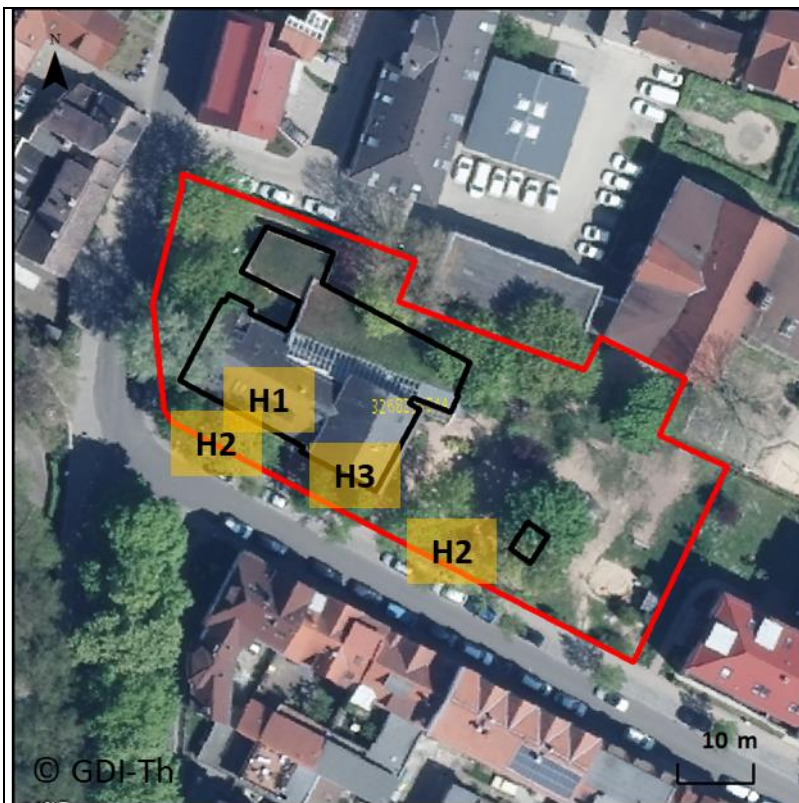


Bild 3



Bild 4

4.3 Kita Fröbelhaus

*Kita Fröbelhaus*

*Magnus-Poser-Str. 18
07749 Jena*

Leitung: Fr. Beckert

Kinderzahl: ca. 80

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Bei der Kita Fröbelhaus handelt es sich um einen im Jahre 1921 errichteten Backsteinbau im Ortsteil Wenigenjena im erweiterten Bereich der Saaleaue. 1994 erhielt die Einrichtung einen gedämmten Anbau mit Dachbegrünung. Die Kita verfügt über einen vergleichsweise üppigen Baumbestand (Abb. 53 im Anh.) von dem auch das Gebäude stark profitiert, da es in den Sommermonaten zu großen Teilen beschattet wird (Abb. 51 im Anh.). Nach Aussage der Kita-Leitung gehen die Kinder immer raus, da der Baumbestand auch an Hitzetagen einen halbwegs erträglichen Außen-aufenthalt ermöglicht. Zum Zeitpunkt der Begehung (30. Mai) fand eine Umgestaltung des Außenbereichs statt, der jedoch keine Reduktion des Baumbestands implizieren soll.

Die entlang der Südgrenze der Einrichtung verlaufende Linden-Reihe (Bild 1) ist von großer Bedeutung bzgl. der Beschattung der Außenflächen und des Gebäudes. Lediglich das Dachgeschoss profitiert aufgrund der Höhe der Bäume nicht von deren Beschattungspotenzial, weshalb sich das Dachgeschoss vergleichsweise schnell aufheizt und an Hitzetagen gelegentlich Raumwechsel zum Mittagsschlaf vorgenommen werden. Bis auf die Dachfenster (Bild 2) sind alle relevanten Fenster mit Innenjalousien ausgestattet, die aufgrund



Bild 1

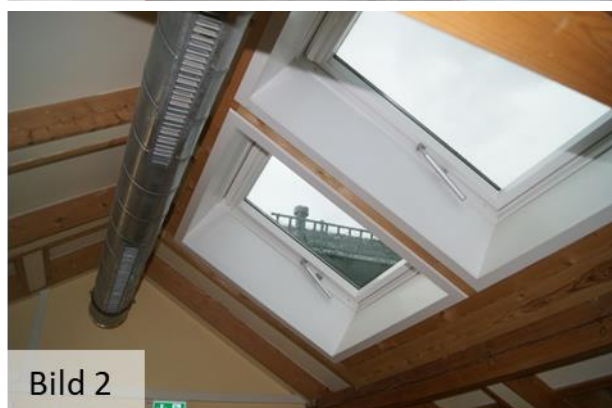


Bild 2

der guten Außenbeschattung auch als ausreichend angesehen werden können. Über den deckenden Baumbestand hinaus ist die Einrichtung mit mobilen Sonnenschirmen ausgestattet. Der Neubau einer Matschanlage und eines Wasserbottichs ist im Zuge der Umgestaltung vorgesehen (Bild 3). Hervorzuheben ist das stellenweise vorhandene Fassadengrün (Bild 4). Zudem hat das Fröbelhaus einen außergewöhnlich hohen Anteil an Baumarten (Ahorn, Baumhasel, Hainbuche) mit hohem Feinstaub- bzw. Stickoxidbindungsvermögen vorzuweisen (Abb. 57 im Anh.).



Bild 3

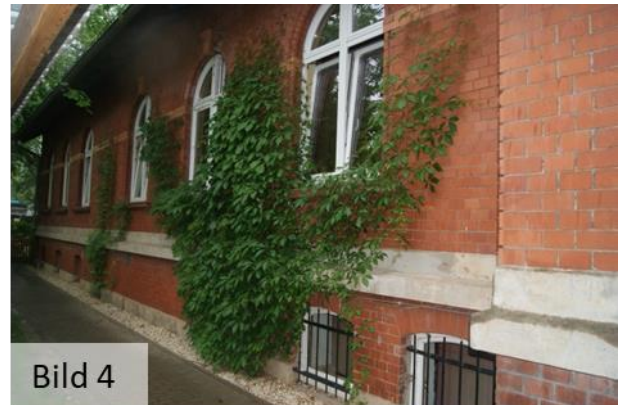


Bild 4

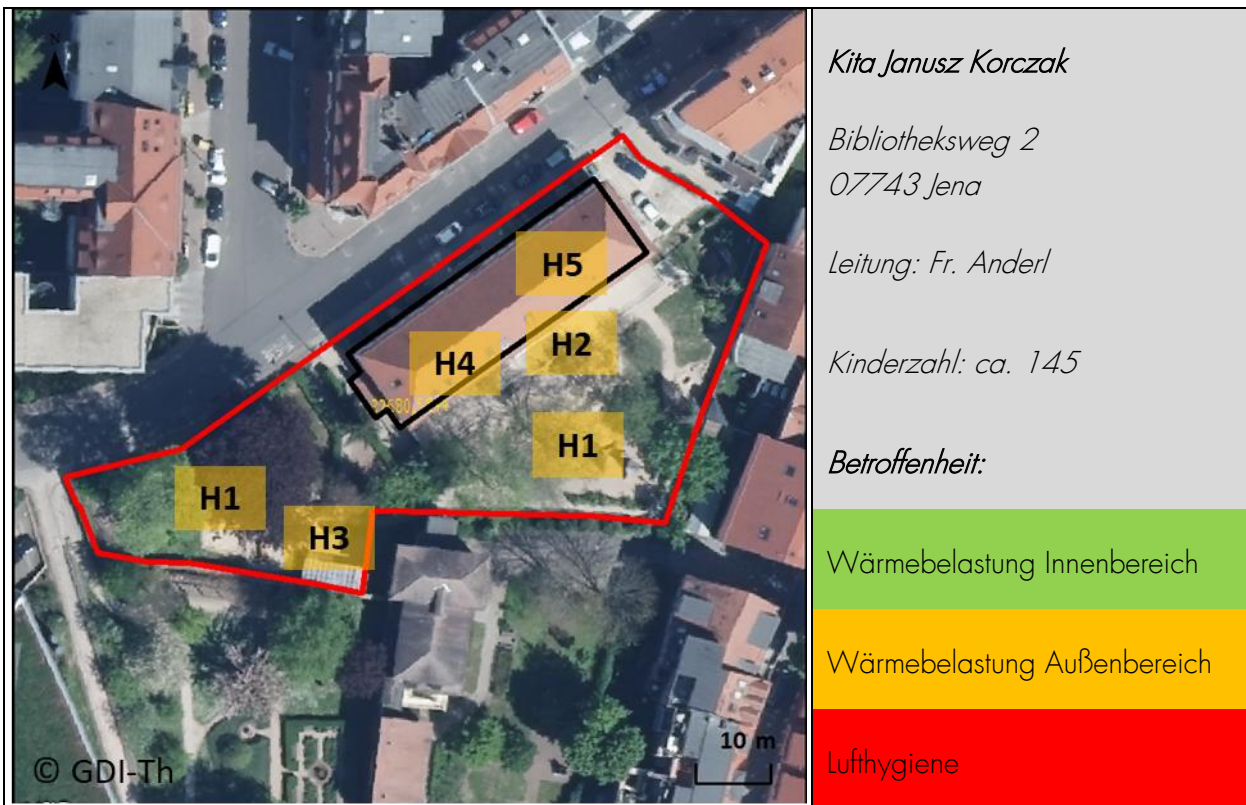
Handlungsempfehlungen:

Um den Wärmeeintrag in das Dachgeschoss zu mindern sollten die nach Süden ausgerichteten Dachfenster mit einem Sonnenschutz (bevorzugt Außenjalousien) versehen werden (H1).

Entscheidend für die zukünftige Aufrechterhaltung der vergleichsweise guten Aufenthaltsqualität im Außen- wie Innenbereich in den Sommermonaten ist der Erhalt der Baumreihe entlang der Magnus-Poser-Str. (H2). Abgängige Exemplare sollten konsequent, rechtzeitig und funktionsgerecht nachgepflanzt werden. Bei zunehmenden Anzeichen für Trockenstress oder Hitze-/Strahlungsschäden sollte eine Bepflanzung mit trockenoleranteren Arten entsprechend des Stadtbaumkonzeptes (Stadt Jena 2016) angedacht werden.

Die stellenweise Fassadenbegrünung um das Gebäude hat mikroklimatische, ökologische sowie ästhetische Relevanz und sollte daher erhalten bleiben und nach Möglichkeit in ihrer Entwicklung gefördert werden (H3).

4.4 Kita Janusz Korczak



Die Kita Janusz Korczak befindet sich im nördlichen Stadtzentrum Jenas. Das Gebäude erstreckt sich über fünf Etagen und beherbergt bis zu 155 Kinder.

Aufgrund der zentralen Lage bzw. der Nähe vergleichsweise stark befahrener Straßen (Abb. 56 im Anh.) ergibt sich für die Einrichtung eine relativ hohe lufthygienische Belastungssituation (Abb. 49 im Anh.). Auch bzgl. des Schwerpunktthemas „Wärmebelastung im Außenbereich“ ist die Betroffenheit erhöht (Abb. 48 im Anh.), was insbesondere auf die zentrale Lage und die damit verbundene Wirkung des Wärmeinsel-Effekts zurückzuführen ist (Abb. 52 im Anh.). Nach Aussage der Kita-Leitung sind die Kinder an Hitzetagen unkonzentrierter, weshalb z. B. bestimmte Spielzeuge nicht herausgegeben und bespielt werden.

Trotz der hohen Exposition aufgrund der Lage im Stadtzentrum, der Höhe des Gebäudes und fehlender Außenbeschattung in den Sommermonaten, da die Bäume zu weit entfernt vom Gebäude stehen, ergibt sich für die Kita jedoch nur eine geringe Wärmebelastung im Innenbereich. Diesbezüglich ist die Einrichtung mit den



installierten Raffstores an allen sonnenbeschienenen Gebäudefronten, der optimalen Albedo der Außenfassade und aufgrund eines geringen Wärmedurchgangskoeffizienten sehr gut gerüstet (Bild 1). Als problematisch ist jedoch der Beratungsraum im Dachgeschoss anzusehen, dessen Dachfenster keinen Sonnenschutz haben und der laut Kita-Leitung an Sommertagen nur vormittags genutzt werden kann.

Im Außenbereich ist die Terrasse mit starkem Überwärmungspotenzial behaftet (Bild 2). Aufgrund der Ausrichtung des Gebäudes erfährt dieser Bereich während des gesamten Vormittags Sonneneinstrahlung, die zudem vom Gebäude vielfach reflektiert wird. Für den weiteren Außenbereich kann die Ausstattung mit beschattendem Großgrün aber als ausreichend bezeichnet werden, besonders die

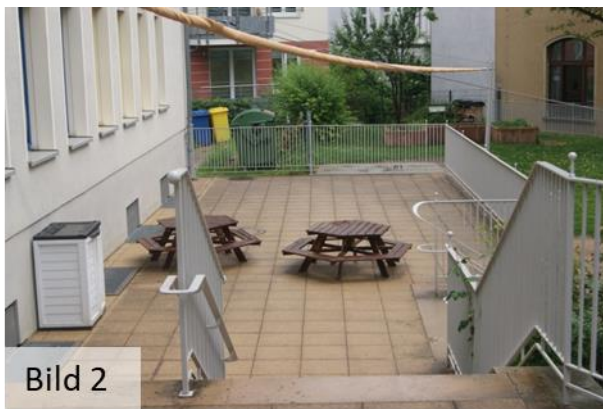


Bild 2



Bild 3

ausreichend bezeichnet werden, besonders die drei großen, alten Bäume im westlichen Gartenbereich sind klimaökologisch sehr wertvoll (Bild 3). Die Berg-Ulme (Bild 3) jedoch weist eine fortgeschrittene Kronenverlichtung und einen hohen Totholzanteil auf. Einzelne Sonnensegel hängen deutlich zu tief und wirken eher wärmestauend und somit kontraproduktiv (Bild 4). An Wasserelementen ist nur ein Gartenschlauch vorhanden; die Anlage einer Matschstrecke o. ä. wird von Kindern und Kita-Leitung gleichermaßen gewünscht.

Bzgl. der hohen Betroffenheit im Schwerpunktthema Lufthygiene sind die umgebenden, relativ stark befahrenen Straßen (Abb. 56 im Anh.), wie der Fürstengraben (B 7), die Straße Am Planetarium und der Durchgangsverkehr des Damenviertels in Kombination mit der hohen Anzahl heißer Tage bzw. dem innerstädtischen Mikroklima („Städtische Wärmeinsel“, Abb. 52 im Anh.) ursächlich.



Bild 4

Handlungsempfehlungen:

Als wichtigste Maßnahme zum Erhalt der Aufenthaltsqualität in der Kita Janusz Korczak ist der Erhalt der Grünflächen und des Baumbestandes (H1) zu nennen; der Außenbereich sollte nicht weiter versiegelt, die Bäume, Büsche und Hecken (insbesondere kleines „Hainbuchen-Wäldchen“) erhalten bzw. adäquat nachgepflanzt werden. Hinsichtlich der erhöhten lufthygienischen Belastungssituation sollte zukünftig darauf geachtet werden, bei Nachpflanzungen verstärkt auch Baumarten mit hohem Stickoxid-/Feinstaubbindungsvermögen zu verwenden (Tab. 3 im Anh.).

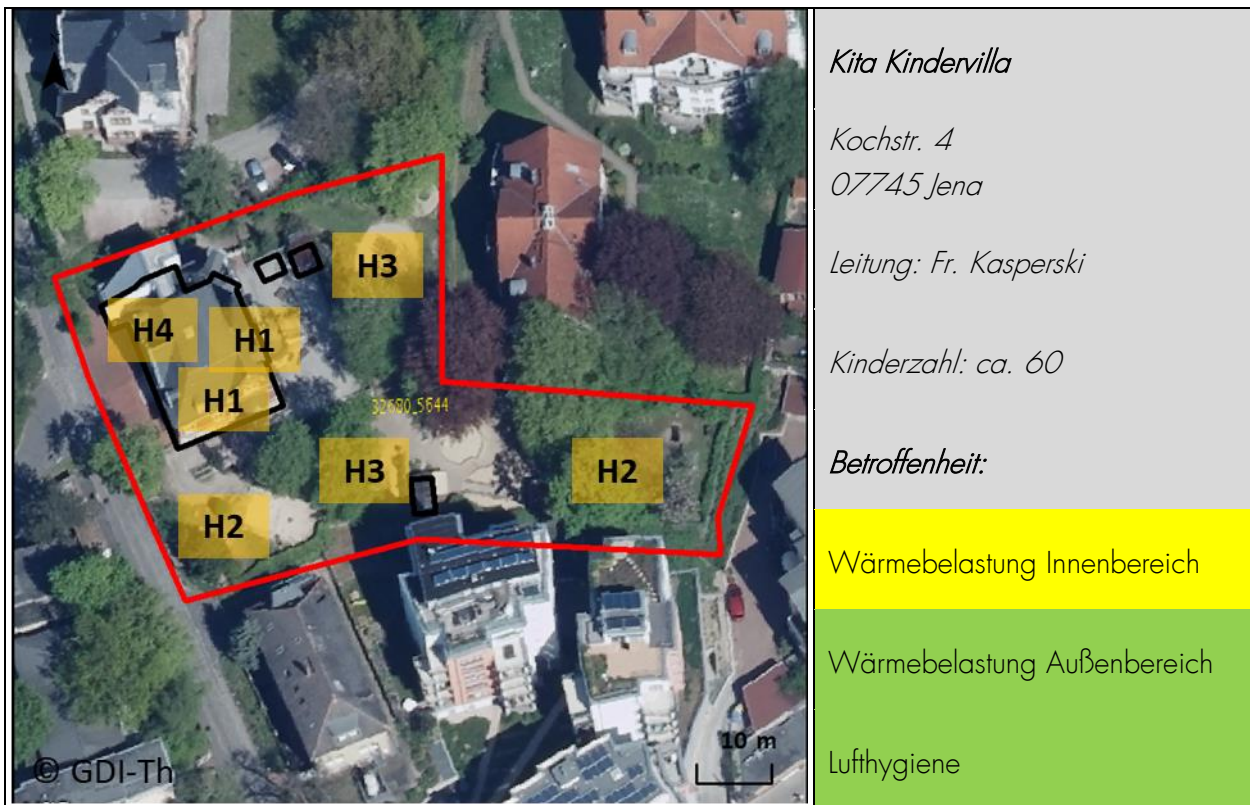
Im Bereich der Terrasse sollte zudem die Beschattung durch Erneuerung des vorhandenen, aber recht kleinen Sonnensegels, verstärkt werden (H2).

Die sonstigen Sonnensegel sollten bzgl. ihrer Anbringung (möglichst hoch, Abluft zulassen) überprüft und gegebenenfalls neu justiert werden (H3).

Es sollte zudem geprüft werden, inwieweit die Anbringung eines effektiven Sonnenschutzes an den Dachfenstern des Beratungsraumes möglich ist (H4).

Mittelfristig sollte unter den sich abzeichnenden klimatischen Entwicklungen die Installation einer Klima-/Lüftungsanlage für das Gebäude angedacht werden, deren Energieversorgung aus Gründen des Klimaschutzes aus erneuerbaren Energiequellen gewährleistet wird (H5).

4.5 Kita Kindervilla



Die Kindervilla ist eine zentrumsnah gelegene integrative Kindertagesstätte in einer ehemaligen Anwaltsvilla (Dr. Koch) aus mächtigem Klinkermauerwerk und einem, gemessen an der Kinderzahl und der Zentrumsnähe, relativ großzügigem Außenbereich (Abb. 50 im Anh.).

Als wärmebelastet wird die obere Etage der Villa empfunden, wo sich auch der Kleinkindbereich befindet. An Sommertagen wird daher der Schlafraum in den im kühleren Keller befindlichen Sportraum verlagert. Bzgl. der Innenaufheizung kommt der Einrichtung die geringe Fensterfläche zugute (Bild 1). Im Untergeschoss sind recht abgenutzte Außenjalousien angebracht, im Obergeschoss nur wenig effektive Innenjalousien (Bild 2).



Der Außenbereich weist eine gute Großgrünabdeckung auf und die vorhandenen Sonnensegel sind optimal angebracht bzw. werden gestützt, um einen Wärmestau zu vermeiden. Rasengittersteine auf den Parkflächen vor dem Gebäude bieten Retentionsraum für Niederschlagswasser und lassen dieses an warmen Tagen wieder verdunsten (Bild 3). Der Außenbereich verfügt über eine Matschstrecke und eine Außendusche. Als ein Bereich mit hohem Überwärmungspotenzial ist die Terrasse zu

nennen, wobei hier eine Teilbeschattung durch den umstehenden Baumbestand jedoch gewährleistet ist. Einzelne Bäume zeigen deutliche Vitalitätseinschränkungen, vermutlich infolge von Trockenstress und hoher Strahlungsintensität (Bild 4).



Bild 3

Auch in Bezug auf die Lufthygiene ist die Betroffenheit der Kindervilla als gering einzuschätzen, die Kochstraße ist nur gering frequentiert (Abb. 56 im Anh.) und das Verhältnis von Baumarten mit hohem Stickoxid-/Feinstaubbindungsvermögen zum Bestand ist ausgesprochen positiv (Abb. 57 im Anh.).

Handlungsempfehlungen:

Zur Stärkung der Resilienz der Kindervilla gegenüber der klimawandelbedingt zunehmenden Wärmebelastung sollte insbesondere der Sonnenschutz an den Fenstern verbessert werden (H1). Die Erneuerung bzw. Installation von Außenjalousien auch im Obergeschoss unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes sollte daher geprüft werden.

Insbesondere aufgrund der zentrumsnahen Lage und des leichten Südostgefälles (erhöhter Wärmeeintrag) des Außenbereichs hat der Baumbestand einen besonders wichtigen mikroklimatischen sowie lufthygienischen Einfluss und sollte in seiner Substanz erhalten werden (H2). Bei Nachpflanzungen sollte konsequent auf möglichst trocken- und strahlungstolerante Baumarten gemäß Jenaer Stadtbaukonzept (Stadt Jena 2016) zurückgegriffen werden.

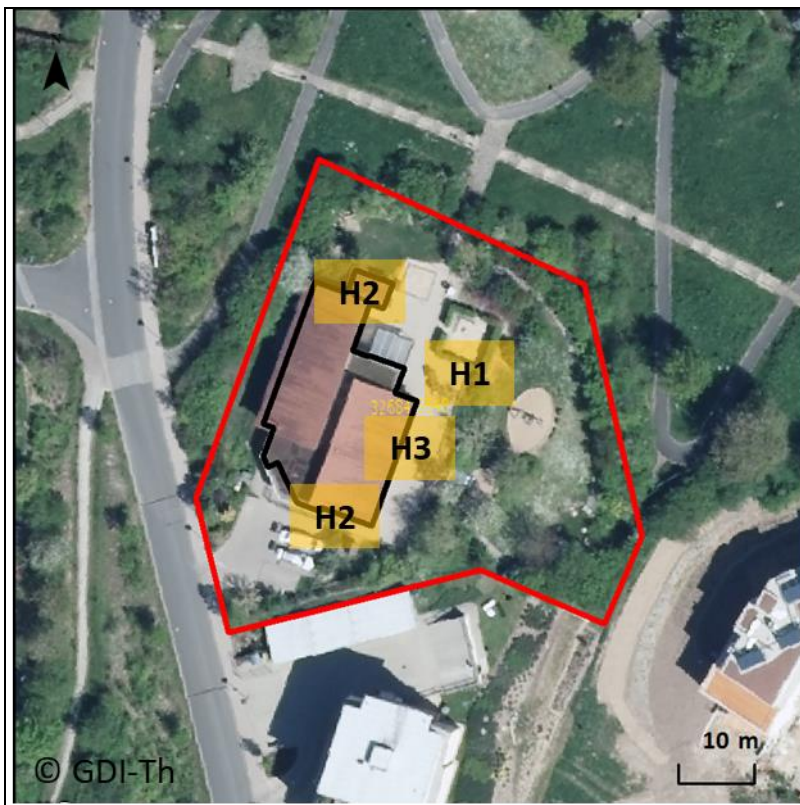
Auch der geringe Grad an versiegelter Fläche im Außenbereich ist von elementarer Bedeutung bzgl. der zukünftigen Aufenthaltsqualität und sollte entsprechend beibehalten werden (H3).

Ein Ausbau der Kellerräume zur verstärkten Nutzung während der Sommermonate sollte zudem in Betracht gezogen werden (H4).



Bild 4

4.6 Kita Kleine Forscher



Kita Kleine Forscher

*Carl-Orff-Str. 8
07745 Jena*

Leitung: Fr. Bernhardt

Kinderzahl: ca. 57

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Die im Jahre 2002 eröffnete Kita Kleine Forscher ist Bestandteil des relativ neuen, seit den 2000er Jahren entstandenen Jenaer Wohngebiets „Himmelreich“ im Ortsteil Zwätzen am Nordrand des Stadtgebiets. Aufgrund der Stadtrandlage und der offenen Bebauung im Wohngebiet hat der städtische Wärmeinseleffekt nur mäßigen Einfluss auf die Einrichtung. Für den Zeitraum 2021-2050 werden daher nur vergleichsweise wenige Heiße Tage (ca. 7) projiziert und auch die umgebenden Bebauungsstrukturen haben gemäß Urban-Heat-Tool (URBAHT) kaum Einfluss auf das Überwärmungspotenzial der Einrichtung (Abb. 52 im Anh.). Die Einrichtung ist in einen südost-exponierten Hangbereich gebaut, sodass die Sonneneinstrahlung zur Vormittags- und Mittagszeit sehr intensiv einwirken und v.a. den Terrassenbereich überwärmen kann (Bild 1). Nach Aussage der Kita-Leitung verlassen die Kinder an manchen Tagen daher gar nicht das Gebäude. Die drei ebenfalls nach Südosten ausgerichteten Gruppenräume zeichnen sich durch große Fensterflächen aus, wobei der Innenbereich durch die effizienten Außenjalousien (Raffstores) und das Rückstrahlvermögen der Gebäudefassade insgesamt nur gering betroffen ist (Bild 2). Die ursprünglich blaugraue Wandfarbe ist aufgrund



Bild 1



Bild 2

der intensiven Sonneneinstrahlung über die Zeit inzwischen allerdings größtenteils ausgebleichen (Bild 2), was einen dauerhaften, unangenehmen Blendeffekt bewirkt.

Die Beschattung des Außenbereichs durch Großgrün ist sehr gering (19 %, Abb. 55 im Anh.), was v. a. am Alter der neu errichteten Einrichtung liegt. Der Grünbestand benötigt noch Zeit, um seine Wohlfahrtsfunktionen funktional entfalten zu können. Aufgrund des geringen Alters der Einrichtung und somit auch der Bäume zeichnen sich diese jedoch durch eine sehr gute Vitalitätsbewertung aus (Abb. 55 im Anh.). Was der Baumbestand aktuell noch nicht zu beschatten vermag, gewährleisten einige Sonnensegel bzw. viele „Versteckmöglichkeiten“ (Hecken und Sträucher) für die Kinder (Bild 3). Teile der Dachfläche sind begrünt und für Sommernachmittage steht eine Gartenschlauchdusche zur Verfügung.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Verkehrsfrequenz der Carl-Orff-Str. (Abb. 56 im Anh.) und der Stadtrandlage mit einer relativ geringen Anzahl an heißen Tagen kann die lufthygienische Belastungssituation als wenig problematisch angesehen werden. An Tagen mit hohen Temperaturen und starker Insolation könnten sich biogene Ozonvorläufersubstanzen (Abb. 57 im Anh.) verstärkend auf mögliche lufthygienische Belastungszustände auswirken (Kap. 2.1).



Bild 3



Bild 4

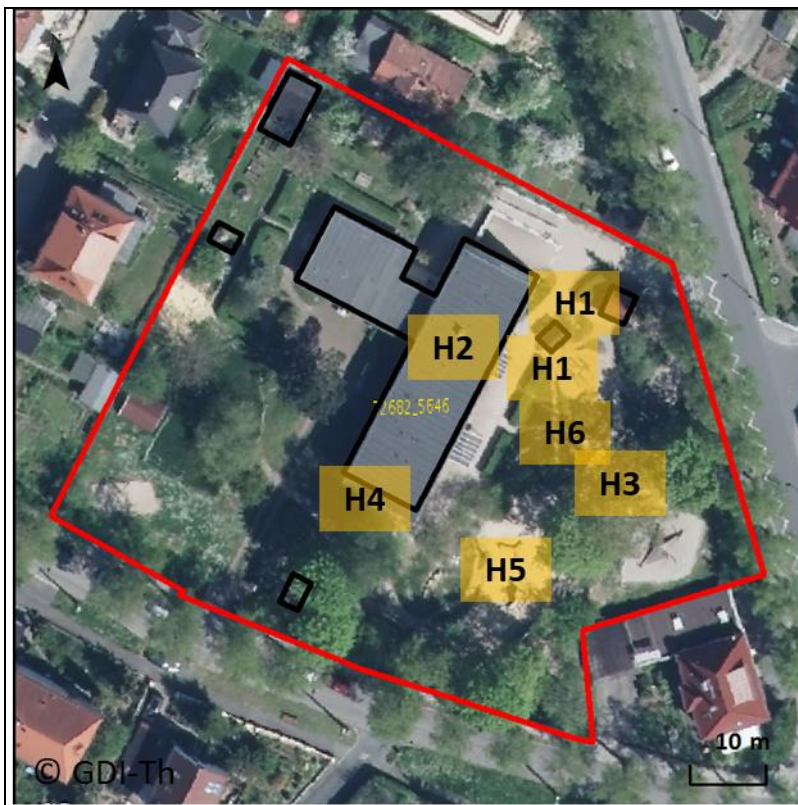
Handlungsempfehlungen:

Bzgl. der Wärmebelastung im Innenraum ist die Kita Kleine Forscher aufgrund der Außenjalousien, der Fassadenalbedo und des Gründachs recht gut hinsichtlich einer Zunahme und Intensivierung von Hitze- und Trockenperioden gerüstet. Bedenkt man das recht geringe Alter des Grünbestands, so gilt das auch für den Außenbereich.

Dennoch wird die Verstärkung der Beschattung von Gebäude und insbesondere des Terrassenbereichs empfohlen. Dazu sollte ein zusätzlicher Baum am östlichen Rand der Terrasse (Hangkante) gepflanzt werden (**H1**). Dabei sollte eine Baumart gewählt werden, die recht strahlungstolerant ist und im Sommer eine relativ dichte Krone erzeugt, wie z.B. Gemeine oder Virginische Hopfenbuche. Die Südfassade des Gebäudes (Bild 4) eignet sich sehr zur Installation einer Fassadenbegrünung (**H2**) mit Rankern oder Klimmern mit hohem Lichtanspruch, bspw. Trompetenblumen oder Wilder Wein. Auch an der Nordfassade ist eine Begrünung denkbar. Hier empfehlen sich schattentolerante Pflanzen, wie z. B. Spindelstrauch, Efeu oder Hortensien.

Die ursprüngliche und inzwischen verblichene Wandfarbe sollte zur Minderung des Blendeffekts unter Beachtung der Albedo-Eigenschaften in einem hellen farbigen Grauton erneuert werden (**H3**).

4.7 Kita Munketal

*Kita Munketal*

*Schützenhofstr. 7
07743 Jena*

Leitung: Fr. Martini & Hr. Granda

Kinderzahl: ca. 116

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Bei der Kita Munketal handelt es sich um ein im Jahr 1999 saniertes, vollständig gedämmtes Gebäude mit geringem Wärmedurchgangskoeffizienten und vergleichsweise großzügigem Außenbereich (Abb. 50 im Anh.) im Ortsteil Jena-Nord. Das Gelände ist nach Südosten abfallend geneigt und erfährt in den Vormittags- und Mittagsstunden intensiven Wärmeeintrag. An Hitzetagen gehen die Kinder zeitiger raus und früher wieder in das Gebäude. An manchen Tagen wird der Außenbereich ganz gemieden und die kühleren Räumlichkeiten in Keller und Erdgeschoss bevorzugt.

Seitens der Kita-Leitung wird das Obergeschoss in Bezug auf Wärmebelastung als problematisch beschrieben. Dieses befindet sich unter einem Flachdach mit dunklem, wärmeabsorbierendem Belag und erfährt aufgrund der Höhe des Gebäudes keine Beschattung von außen. Auch die Möglichkeiten zum Luftaustausch werden als eingeschränkt bezeichnet. Die sonnenexponierten Gruppenräume mit viel Fensterfläche an der Ostseite des Gebäudes sind vollständig mit effektiven Außenjalousien ausgestattet (Bild 1).



Bild 1



Bild 2

Der Außenbereich der Kita Munketal verfügt über vitale Grünflächen, einem ausreichenden Baumbestand und zahlreiche Versteck- bzw. Schattenmöglichkeiten (Bild 2). Von besonderer Bedeutung sind die Lindenreihen entlang der Schützenhofstraße im Nordosten und der Straße Munketal im Süden. Diese gehören zwar nicht zum Baumbestand des Grundstücks der Kita, wirken aber als wichtiger Schattenspenders für den Außenbereich. Einzelne Berg-Ahorne der Kita sind deutlich von Kronenverlichtung und vorzeitiger Blattwelke gezeichnet (Bild 3). Der Terrassenbereich vor der Südostfront des Gebäudes ist vormittags ohne Schatten und heizt sich ob des Materials und der Gebäuderückstrahlung recht schnell auf (Bild 4). Das Sonnensegel über dem Sandkasten hängt zu tief, die Kinder bewegen sich bei Sonneneinstrahlung im Wärmestaubereich. Die großräumige Matschanlage war zum Zeitpunkt der Begehung nicht funktionstüchtig.



Bild 3



Bild 4

Bzgl. des Schwerpunktthemas Lufthygiene ergibt sich für die Kita Munketal eine mittlere Betroffenheit, was insbesondere aus der Nähe zu den kompakten Siedlungsstrukturen in Jena-Nord und der damit verbundenen relativ hohen Anzahl an heißen Tagen resultiert (Abb. 52 im Anh.). Durch die Exposition des Geländes und die somit erhöhte Einstrahlungssumme wird die Ausbildung von Belastungszuständen theoretisch

befördert. Der Baumbestand der Kita bzw. dessen Artzusammensetzung und der vergleichsweise geringe Verkehrsfluss auf den beiden angrenzenden Straßen gewährleisten jedoch stabile lufthygienische Verhältnisse.

Handlungsempfehlungen:

Um der Überwärmung des Terrassenbereichs entgegenzuwirken und zumindest für eine Teilbeschattung der Südostfront mit den Gruppenräumen zu sorgen, sollten zwei bis drei zusätzliche Baumstandorte entlang der östlichen Terrassenkante (hinter der Hecke) oder auf der kleinen Grünfläche vor der östlichen Gebäudeecke vorgesehen werden (H1). Hierfür würden sich z. B. Schmalkroniger Rot-Ahorn, säulenförmige Sorten von Rot-Buche, Feld-Ahorn oder Ess-Kastanie eignen.

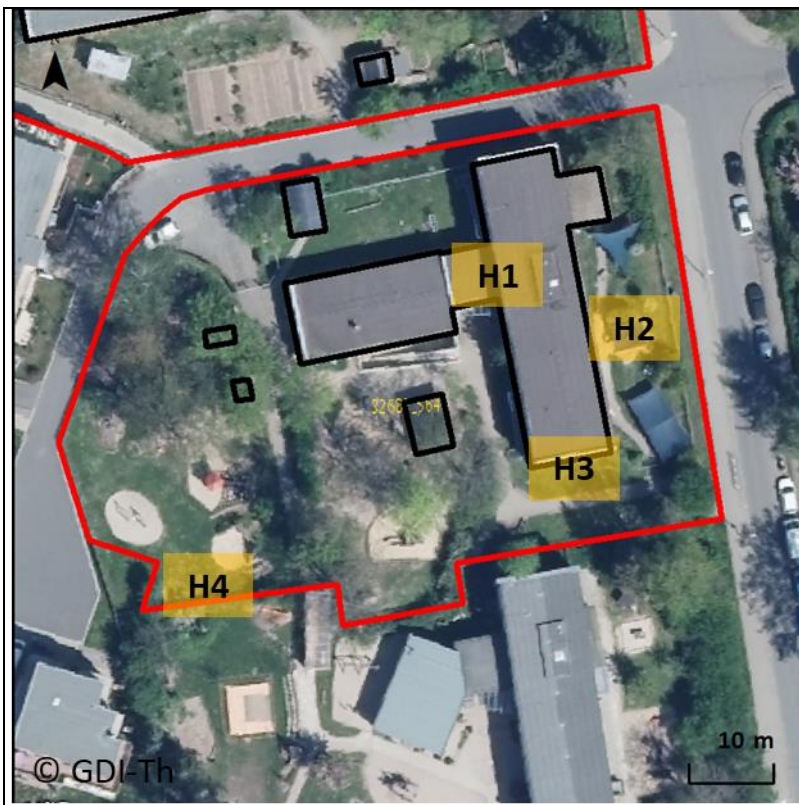
Zur Verringerung der Wärmebelastung im Gebäude ist eine Verbesserung der Rückstrahlungseigenschaften des Flachdachs zu empfehlen (H2), idealerweise durch ein Gründach, durch einen helleren Anstrich oder aufgeständerte PV-Module.

An den Standorten der abgängigen Berg-Ahorne sollten Bäume mit hoher Funktionalität bzgl. Beschattung und Verdunstungskühlung nachgepflanzt werden (H3). Dies könnten z. B. andere Ahorn-Arten, Eichen, Krim- oder Silber-Linde sein.

Auf der Südseite neben der Fluchttreppe empfiehlt sich die Installation einer Fassadenbegrünung (H4). Aufgrund der Gebäudedämmung und der Lichtverhältnisse sollten Ranker oder Schlinger an Stützelementen mit mittlerem Lichtanspruch gewählt werden. Dazu sind bspw. Gewöhnliche Waldrebe, Knöterich (*F. aubertii/baldschuanica*), Wilder Wein oder Geißblatt geeignet.

Die Anbringung der Sonnensegel sollte optimiert (H5) und die Matschanlage nutzbar gemacht werden (H6).

4.8 Kita Pinocchio



Kita Pinocchio

*Dammstr. 36
07743 Jena*

Leitung: Fr. Eifler

Kinderzahl: ca. 110

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Die Kita Pinocchio befindet sich im Ortsteil Wenigenjena am Rande des Altnaubauquartiers „Tümp-
lingviertel“ im erweiterten Bereich der Saaleue. In dem zweistöckigen Flachbau ist an Sommertagen ein deutlicher Temperaturunterschied zwischen dem Erd- und dem Obergeschoss wahrnehmbar, der v. a. durch den Wärmeeintrag über die dunkle Dachfläche zu erklären ist (Bild 1). Das Gebäude ist nach Osten hin (Gruppenräume) durch einen sehr hohen Anteil an Fensterfläche charakterisiert (Abb. 51 im Anh., Bild 2). Der installierte Sonnenschutz an den Fenstern (vollständig automatische Raffstores) ist jedoch sehr effizient (Bild 2), weshalb sich die Betroffenheit des Innenbereichs insgesamt als gering darstellt.

Auch der Außenbereich stellt sich als recht resilient gegenüber der projizierten Zunahme von Wärmebelastung dar. Die Kita hat im Vergleich zu allen anderen betrachteten Einrichtungen einen hohen Anteil an Grünfläche an der Gesamtaußenfläche, einen hohen Bedeckungsgrad durch das Großgrün (Abb. 53 im Anh.) und eine im Mittel gute Vitalität des Baumbestands (Abb. 55 im Anh.). Auch Matschanlage und Rasensprekner sind vorhanden. Der separierte Kleinkindbereich auf der Ostseite des Geländes birgt jedoch ein erhöhtes Überwärmungspotenzial. Zum einen ist dieser Bereich zur Vormittags- und Mittagszeit stark sonnenexponiert, da



Bild 1



Bild 2

dieser nicht vom Gebäudeschatten profitiert, sondern eher die großflächigen Fensterflächen der Ostfassade mit entsprechenden Reflexionseffekten zur Aufheizung des davor befindlichen Areals beitragen. Zum anderen sind die gepflanzten Kleinbäume (Blutpflaume, Steppenkirsche) sehr klein bzw. können diese aufgrund des nur sehr geringen Kronenvolumens kaum spürbare Effekte (Beschattung, Verdunstungskühlung) erzielen (Bild 3).



Bild 3

Bzgl. der Lufthygiene lassen die Lage der Kita im Stadtgebiet, die umgebenden Siedlungsstrukturen, die Verkehrsbelastung der umgebenden Straßen sowie die Größe und Zusammensetzung des Baumbestands keine spürbaren Belastungssituationen erwarten.



Bild 4

Handlungsempfehlungen:

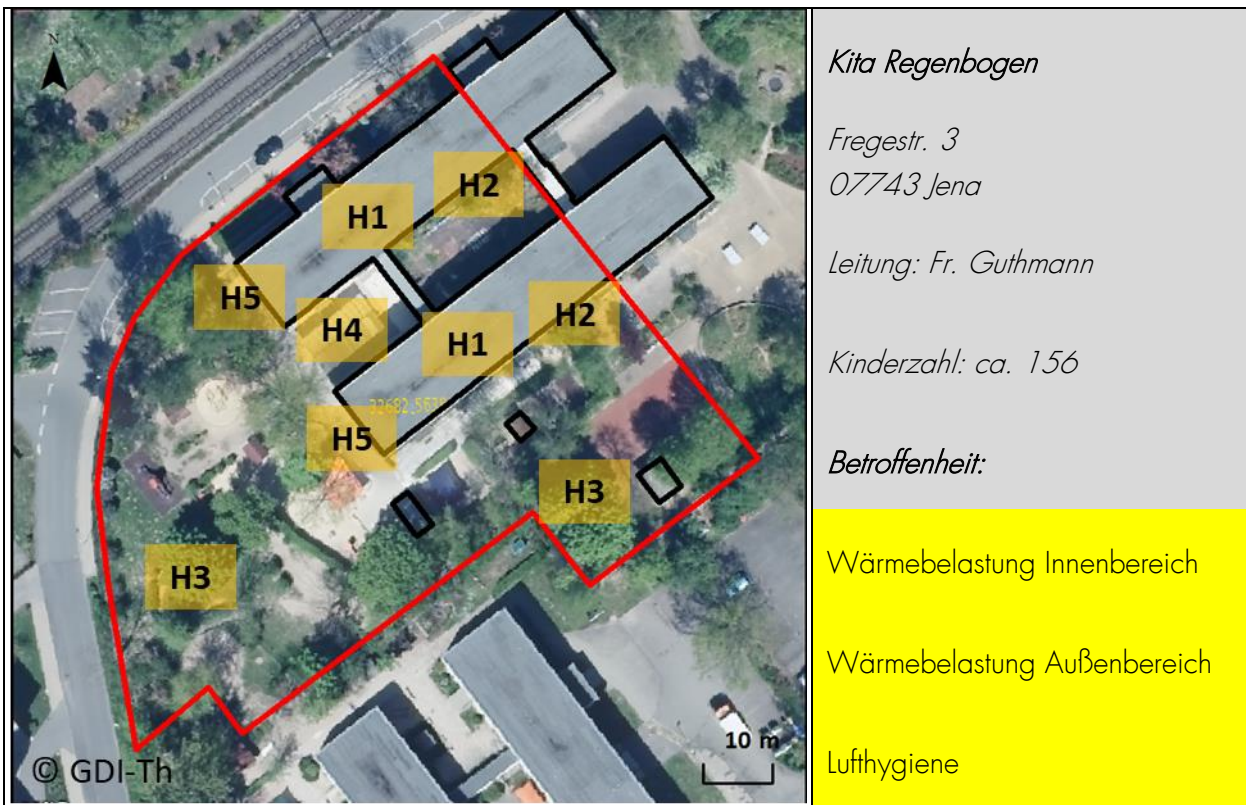
Zur Reduktion des Wärmeeintrags in das Obergeschoss sollte das Rückstrahlungsvermögen des Flachdachs verbessert werden (H1), idealerweise durch Umgestaltung zu einem Gründach, durch aufgeständerte PV-Module oder einen helleren Anstrich.

Bzgl. des sonnenexponierten Kleinkindbereichs (H2) sollten entweder Möglichkeiten angedacht werden, diesen in ein geschützteres Areal zu verlagern oder die Kleinbäume durch mittelkronige Bäume zu ersetzen, was zudem den Wärmeeintrag auf das Gebäude in den Sommermonaten reduzieren würde. Dabei sei bspw. an Elsbeere, Ess-Kastanie oder passende Eichenarten (z. B. Zweifarbige-, Schindel-, Scharlach-Eiche) gedacht. Eine ideale Lösung könnte auch die Pflanzung einer Straßenbaumreihe entlang des Grünstreifens neben dem Gehweg der Dammstraße außerhalb der Kindertagesstätte (links in Bild 3) darstellen, was entsprechend mit der städtischen Grünplanung abgestimmt werden müsste.

Die Südfassade des Gebäudes (Bild 4) stellt eine ideale Fläche zur Anbringung einer großflächigen Fassadenbegrünung zur Verbesserung des Mikroklimas und des Lebensraum- bzw. Nahrungsangebots für z. B. Insekten dar (H3). Um die Außendämmung des Gebäudes dabei nicht in Mitleidenschaft zu ziehen, sollten dazu Stützelemente angebracht und schlingende, windende oder rankende Pflanzen mit hohem Lichtanspruch, wie z. B. Strahlengriffel, Waldrebe (*Clematis maximowcziana* oder *C. vitalba*) oder Beerentraube verwendet werden.

An der hinteren (westlichen) Grenze zum Spatzennest empfiehlt sich zur besseren Beschattung des hinteren Außenbereichs während der Mittags-/Nachmittagszeit die Pflanzung eines Baumes (H4), als Artempfehlung z. B. Krim-Linde.

4.9 Kita Regenbogen



Die Kita Regenbogen befindet sich am westlichen Rand des Wohngebiets Lobeda-West. Stadtklimatisch gesehen profitiert die Einrichtung von ihrer Lage im Einflussbereich der Saale und der umliegenden Grünflächen (Abb. 52 im Anh.). Trotzdem wird seitens der Kita-Leitung die Wärmebelastung als großes Problem in den Sommermonaten empfunden, was in kürzeren Aufenthaltszeiten im Außenbereich resultiert. Insbesondere über den versiegelten Bereichen („Hofplatten“) wird der „Wärmestau“ als „sehr belastend“ empfunden, weshalb diese vor dem Rausgehen mit dem Gartenschlauch abgespritzt werden.

Bei dem zweietagigem sanierten und modernisierten Flachbau der Einrichtung (Bild 1) ist, ähnlich wie bei vergleichbaren Objekten (Kap. 4.1 - Kita Anne Frank, Kap. 4.2 - Kita Bertolla, Kap. 4.7 - Kita Munketal, Kap. 4.8 - Kita Pinocchio), im Obergeschoss eine erhöhte Lufttemperatur gegenüber dem Untergeschoss wahrnehmbar, was vornehmlich auf den Wärmeeintrag über die dunkle Dachfläche zurückzuführen ist. Vor allem die südexponierten Gruppen- und Schlafräume des Obergeschosses sind davon betroffen. Ein effektiver Sonnenschutz an den entsprechenden Fensterfronten ist allerdings durchweg vorhanden (Bild 1).



Der Außenbereich der Kita wurde in den letzten Jahren durch Flächenabrtritt an eine benachbarte Kita und durch den Bau der Straßenbahntrasse Neulobeda-Winzerla sukzessive verkleinert, wobei die Kinderzahl in etwa konstant geblieben ist, woraus sich für den Außenbereich inzwischen ein relativ hoher Nutzungsdruck ergibt (Abb. 50 im Anh.), was dem Grünbestand z. T. deutlich anzusehen ist (Abb. 53 und Abb. 55 im Anh., Bild 2 und 3). Der Sitzbereich im Hof ist mit einer Plexiglasüberdachung versehen, die das Überwärmungsempfinden über den dunklen Hofplatten bzw. zwischen den beiden Gebäudeflügeln deutlich verstärkt (Bild 4). Der sanierte (östliche) Innenhofbereich ist mit großen, gut ausgerichteten Sonnensegeln, Beeten und Obstbäumen versehen, die auch zur (Teil-)Beschattung des Gebäudes beitragen.

Die zukünftige lufthygienische Belastungssituation hängt stark von der Entwicklung der Verkehrszahlen der Fregestraße ab (Abb. 56 im Anh.). Der Grünbestand insbesondere in der Umgebung und die stadtklimatisch relativ günstige Lage des Objektes stellen allerdings eine gute Grundlage dar, lufthygienischen Belastungszuständen entgegenzuwirken.



Bild 3



Bild 4

Handlungsempfehlungen:

Von zentraler Bedeutung für die Minderung der Wärmebelastung im Innenbereich der Kita ist die Reduzierung des Wärmeeintrags über das Flachdach (H1). Dies kann durch einen neuen, helleren Anstrich der Dachfläche, durch die Installation von aufgeständerten Photovoltaik-Modulen oder, soweit statisch möglich, durch Umgestaltung hin zu einem Gründach erreicht werden.

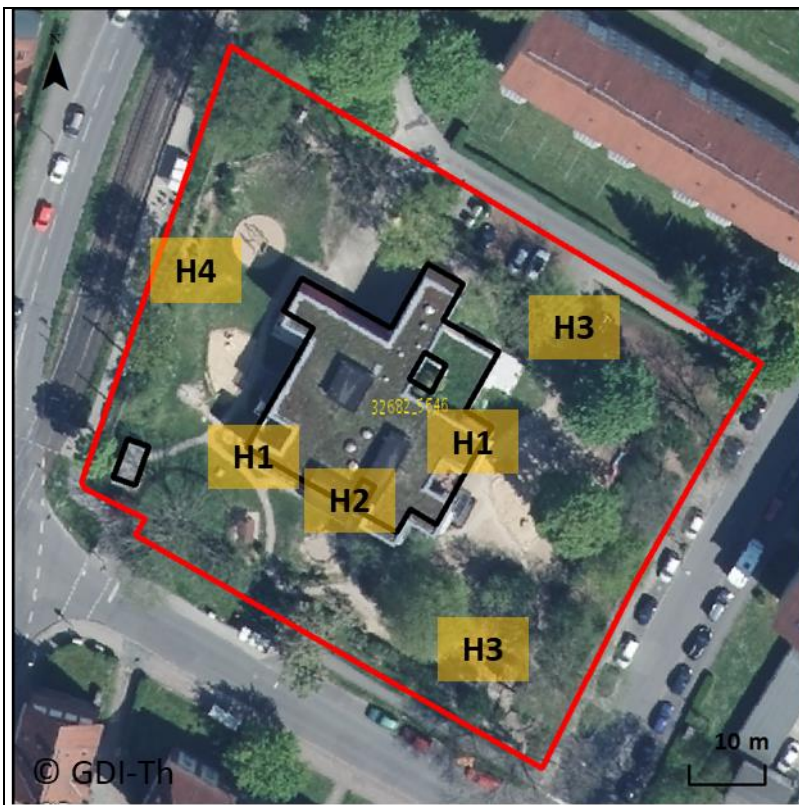
Die Möglichkeiten zur Verlagerung der an den Südseiten des Obergeschosses gelegenen Schlafräume sollten geprüft werden (H2).

Im Außenbereich sollte der Schwerpunkt auf dem Erhalt und der Pflege der Grünflächen liegen (H3). Insbesondere die aktuellen Baumstandorte sollten erhalten, abgängige Exemplare adäquat (Höhe und Kronenvolumen) entsprechend der Empfehlungen des Jenaer Stadtbaumkonzeptes (Stadt Jena 2016) nachgepflanzt werden.

Die Plexiglasüberdachung der Sitzgruppe im Hof sollte durch strahlungsundurchlässiges Material (z. B. Holz) ersetzt werden (H4). Ein Gründach ist diesbezüglich besonders zu empfehlen.

Die fensterlosen südwestexponierten Gebäudefronten eignen sich im Besonderen zur Installation einer Fassadenbegrünung (H5) mit Kletterhilfen (Spanndrähte, Spalier) und dafür geeigneten Pflanzenarten, wie Baumwürger, Waldrebe (*C. maximowcziana*) oder diverse Geißblattarten.

4.10 Kita Weltentdecker

*Kita Weltentdecker*

*Scharnhorststr. 1
07743 Jena*

Leitung: Fr. Grunitz

Kinderzahl: ca. 135

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Die Kita Weltentdecker ist ein moderner Neubau in zentrumsnaher Lage in einem Wohngebiet in Jena-Nord. Für die Einrichtung werden im Mittel 16,8 Heiße Tage für den Zeitraum 2021-2050 projiziert, was den höchsten Wert aller betrachteten Objekte darstellt (Abb. 52 im Anh.). Tendenziell verbringen die Kinder an besonders heißen Tagen daher auch weniger Zeit im Außenbereich.

Das zweietagige Gebäude wird insbesondere durch den hohen Anteil an Fensterfläche charakterisiert (Abb. 51 im Anh., Bild 1), wodurch der Innenraum sehr hell und lichtdurchflutet wirkt, der potenzielle Wärmeeintrag sich aber entsprechend erhöht. Durch den recht üppigen Baumbestand im Außenbereich erfährt das Gebäude eine Teilbeschattung und das Gründach der Einrichtung (Bild 2) reduziert den Wärmeeintrag über die Dachfläche. Zudem sind Außenjalousien installiert, die aufgrund ihrer Neigung eine Zirkulation der Luft zulassen (Bild 3). Nach Aussage der Kita-Leitung werden die Jalousien jedoch als wenig effektiv empfunden, weil diese nicht an allen nötigen Fenstern angebracht sind, der Stoff Wärmestrahlung unzureichend abhält und die Sensorik zur Steuerung der Jalousien sehr sensitiv auf Windbewegungen reagiert, weshalb die Jalousien häufig auch bei Sonnenschein eingefahren werden. Auch der Luftaustausch ist in einigen Räumen und den Bädern schwer zu realisieren, weil diese zumeist nur ein kleines kippbares Fenster aufweisen (kein Durchzug möglich) und der Fensterspalt des angekippten Fensters sehr klein ist.



Bild 1



Bild 2

Der Außenbereich der Kita ist vergleichsweise gut mit vitalen Grünflächen und einem funktionalem Baumbestand ausgestattet, was angesichts der hohen Prädisposition gegenüber Wärmebelastung (Abb. 52 im Anh.) von besonders großer Bedeutung für die Aufenthaltsqualität im Freien ist. Der Versiegelungsgrad ist relativ gering (Abb. 54 im Anh.), der Baumbestand überwiegend vital (Abb. 55 im Anh.) und es bieten sich eine Vielzahl an Spiel- und Versteckmöglichkeiten mit guter natürlicher Beschattung (Bild 4). Der Außenbereich verfügt über eine Matsch- und Wasserstrecke. Bei einem der Großbäume, einer Ulme im südöstlichen Bereich der Außenfläche, zeigte sich eine fortgeschrittene Kronenverlichtung.

Im Ergebnis der Betroffenheitsanalyse besteht für die Kita Weltentdecker eine erhöhte Betroffenheit bzgl. des Schwerpunktthemas Lufthygiene, was im Wesentlichen auf zwei Ursachen zurückzuführen ist: Erstens zählen die Wohnquartiere im Bereich zwischen Camburger Str. und Dornburger Str. zu den am stärksten überwärmten Arealen während Hitze- und Trockenperioden im gesamten Stadtgebiet (Abb. 44 und Abb. 52 im Anh.) und bergen somit ein erhöhtes Potenzial für die Entstehung von bodennahem Ozon. Zweitens ist die angrenzende Dornburger Str. mit durchschnittlich über 4.000 Kfz/Tag eine relativ stark befahrene Straße, von der entsprechend erhöhte Konzentrationen an Stickoxiden (NO_x) als Ozonvorläufer emittiert werden. Subjektiv wurde eine lufthygienische Beeinträchtigung durch die Dornburger Str. jedoch nicht bestätigt. An Tagen mit hohen Temperaturen und starker Insolation könnten sich biogene Ozonvorläufersubstanzen (Abb. 57 im Anh.) verstärkend auf mögliche lufthygienische Belastungszustände auswirken (Kap. 1.2).

Handlungsempfehlungen:

Bzgl. des Wärmeeintrags ins Gebäude sollte geprüft werden, ob die Außenjalousien mit effektiveren, Wärmestrahlung absorbierenden Materialien versehen werden könnten (H1).



Bild 3



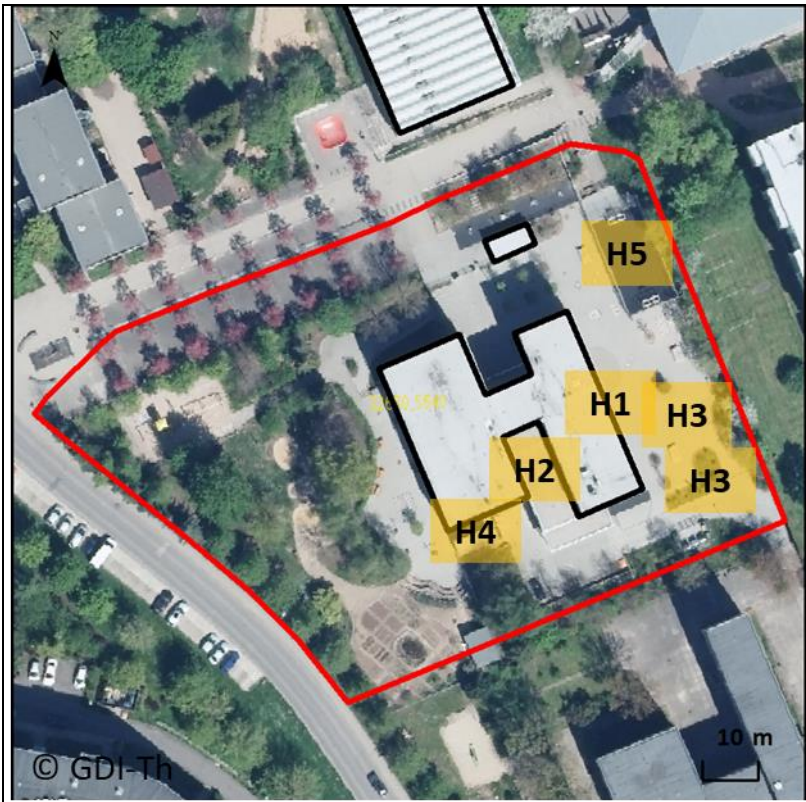
Bild 4

Zusätzliche Außenjalousien sollten an der Ostseite der Glasfassade des Treppenhauses angebracht werden (**H2**), da hier über die gesamte Vormittagszeit Wärmestrahlung ins Gebäude gelangt.

Der Baumbestand sollte hinsichtlich seiner Dimensionierung (Anzahl, Höhe und Kronendurchmesser der Bäume) erhalten und auch der recht geringe Versiegelungsgrad der Außenfläche hinsichtlich künftiger Umbauvorhaben beibehalten werden (**H3**). Bei Neu- und Nachpflanzungen von Bäumen sollten verstärkt auch Baumarten mit hohem Stickoxid-/Feinstaubbindungsvermögen entsprechend Tab. 3 verwendet werden.

Zwischen den beiden Sandflächen im westlichen Außenbereich wird die Pflanzung eines zusätzlichen Baumes, vorzugsweise Urweltmammutbaum oder Dreispitz-Ahorn, empfohlen (**H4**).

4.11 Friedrich-Schiller-Schule



Friedrich-Schiller-Schule

*Hugo-Schrade-Str. 3
07745 Jena*

Leitung: Fr. Müller

Kinderzahl: ca. 205

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Die Friedrich-Schiller-Schule befindet sich in stadtklimatisch vergleichsweise günstiger Lage am westlichen Rand des Wohngebietes Winzerla. Trotz des nach Osten abfallenden Hanges und der damit verbundenen erhöhten Strahlungsexposition (Abb. 51 im Anh.), insbesondere in den Vormittagsstunden, werden für den Standort aufgrund seiner Randlage und der Bebauungsstrukturen des Wohnge-



Bild 1



Bild 2

biets „nur“ im Mittel 6,4 Heiße Tage für den Zeitraum 2021-2050 projiziert, was dem niedrigsten Wert aller betrachteter Objekte entspricht (Abb. 52 im Anh.). Nach Aussage der Schulleitung sind es vor allem die Klassen- und Funktionsräume auf der Ostseite des Ostflügels, die stark wärme- bzw. lufthygienisch belastet sind. Der Einbau einer Lüftungsanlage ist für die nahe Zukunft vorgesehen.

Im Gegensatz zu den meisten anderen betrachteten Objekten verfügt die Friedrich-Schiller-Schule über ein Flachdach mit einer hellen Oberfläche (siehe Luftbild), sodass aufgrund des erhöhten Rückstrahlungsvermögens weniger Wärmeenergie über die Dachfläche ins Gebäude gelangt. Das Bauwerk besitzt eine relativ mächtige Außendämmung, weshalb das Gebäude einen geringen Wärmedurchgangskoeffizienten aufzuweisen hat. Als sehr problematisch ist jedoch die bereits erwähnte Ostseite des Objektes einzuschätzen, da diese durch große Fensterflächen mit wenig wirksamem Sonnenschutz (Innenjalousien) charakterisiert ist und auch von außen während der Vormittagsstunden keine Beschattung durch etwaige Bäume oder andere Gebäude erfährt (Bild 1 und 3).

Die Schiller-Schule verfügt über einen vergleichsweise großen Außenbereich (Abb. 50 im Anh.) mit, insbesondere im Vergleich zu anderen Grundschulen, relativ viel Grünfläche und einer guten Großgrünabdeckung (Abb. 53 im Anh.). Grünflächen und Großgrün konzentrieren sich jedoch größtenteils auf den weniger frequentierten westlichen Außenbereich mit Schulgarten und Spielplatz, der klimaökologisch als sehr wertvoll eingeschätzt werden kann (Bild 2). Der östliche Schulhof hingegen ist nahezu vollversiegelt und erfährt (zumindest in den Sommermonaten) kaum Beschattung durch einen angrenzenden Baumbestand. Die Bäume sind sehr klein (Bild 1 und 3), obwohl die Fläche einen deutlich höheren respektive breiteren Bewuchs zulässt; z. T. sind nur Büsche in Baumscheiben vorzufinden (Bild 4).



Bild 3



Bild 4

Der Verkehr auf der westlich angrenzenden Schrödingerstraße (Abb. 56 im Anh.) wird seitens der Schulleitung z. T. als belastend bzgl. Geruch und Lärm empfunden. Für die Baumreihe entlang der westlichen Grundstücksgrenze wurde jedoch eine optimale Baumart (Baum-Hasel) ausgewählt und dicht gepflanzt, um die Schadstoff-/Lärmbelastung durch den Verkehr zu mindern (Bild 5).



Bild 5

Handlungsempfehlungen:

Zur Verbesserung der Aufenthaltssituation während sommerlicher Hitze- und Trockenperioden im Gebäude sollten zusätzlich zur geplanten Lüftungsanlage effektive Außenjalousien an den Fenstern der östlichen Klassen- und Funktionsräume installiert werden (**H1**), da der Wärmeeintrag über die Fenster (neben der Körperwärme aller im Raum befindlicher Personen) eine wesentliche Einflussgröße darstellt.

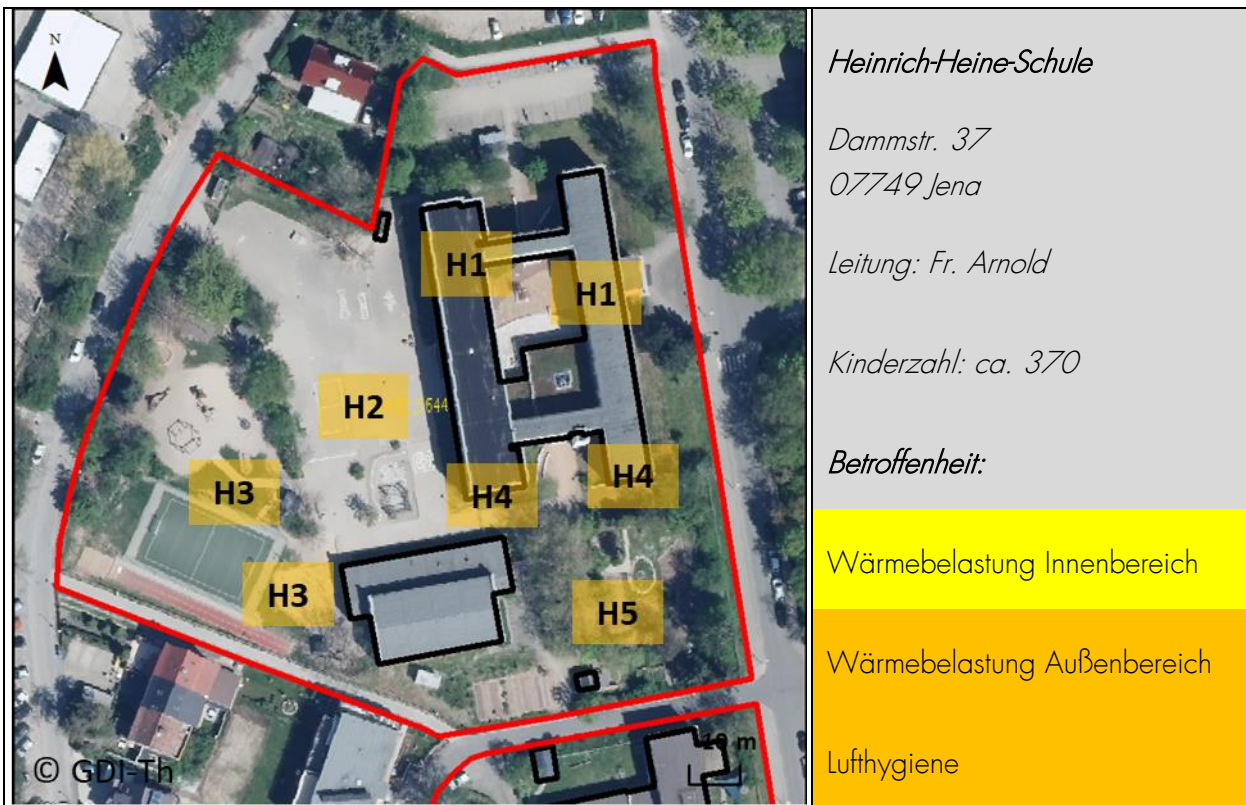
Das Kiesdach über der Aula zwischen dem westlichen und dem östlichen Gebäudetrakt eignet sich idealerweise zur Anlage einer Dachbegrünung (**H2**). Die bauphysikalische Machbarkeit sollte daher geprüft werden.

Die vorhandenen und potenziellen Baumstandorte auf dem östlichen Schulhof sollten besser bzw. mikroklimatisch gewinnbringend genutzt werden (**H3**). Die insgesamt etwa fünf bis sechs Standorte im südlichen Bereich des östlichen Schulhofes sollten dazu mit deutlich höheren Bäumen mit mitteldichter Krone bepflanzt werden und dadurch einerseits die Aufenthaltsqualität auf dem Schulhof verbessern und andererseits eine Teilbeschattung der Ostfassade (zumindest der unteren Etagen) generieren. Eine Zuleitung von Niederschlagswasser zu den einzelnen Baumstandorten ließe sich dabei leicht realisieren. Als geeignete Baumarten könnten Japanischer Schnurbaum, Rot-Esche, Weiß-Esche, Silber-Linde oder Ginkgo, evtl. auch in säulenförmigen Sorten, Verwendung finden. Generell sind Baumarten zu empfehlen, die sich durch ein hohes Stickoxid- bzw. Feinstaubbindungsvermögen auszeichnen (Tab. 3).

Die Südfassade des Westflügels eignet sich zur Installation einer Fassadenbegrünung mit Stützelementen und entsprechender Bepflanzung (**H4**) (z. B. Waldrebe, Wilder Wein).

Der schwarze Belag des Bolzplatzes sollte im Zuge zukünftiger Modernisierungen möglichst durch einen helleren ersetzt werden (**H5**).

4.12 Heinrich-Heine-Schule



Die Heinrich-Heine-Schule im Ortsteil Wenigenjena gehört hinsichtlich der Gesamtfläche und der Schülerzahl zu den größten der insgesamt 19 im Rahmen dieser Studie betrachteten Objekte. Das Gebäude wurde 2007/08 grundhaft saniert und 2011/12 von zwei auf drei Etagen aufgestockt. Nach Aussage der Schulleitung sind es erfahrungsgemäß besonders die Räumlichkeiten im Obergeschoss, in denen an Hitzetagen bereits in der ersten Vormittagshälfte hohe Lufttemperaturen erreicht werden. Da in Grundschulen generell die Aufsichtspflicht gewährleistet sein muss und demnach kein „Hitzefrei“ gegeben werden kann, wird in der H.-Heine-Schule der Unterricht bei sich einstellenden hitzebedingten Konzentrationsschwächen vorzeitig beendet und der Hortbeginn vorgezogen. Nach Möglichkeit wird dabei versucht, besonders die kühleren Kellerräume zu nutzen.

Das Schulgebäude zeichnet sich durch eine wirkungsvolle Außendämmung und eine optimale Albedo (Rückstrahlungsvermögen) der Fassaden aus. Dies gilt jedoch nicht für die Dachflächen (siehe Abb. 45), über die vergleichsweise viel Wärmeenergie ins Gebäude gelangen kann. Weiterhin ist der Anteil an Fensterfläche relativ hoch. Sonnenexponierte Fenster von Klassenräumen sind durchgängig mit effektiven Außenjalousien (Raffstores) versehen. An der Ost- und teilweise der Südseite



des Gebäudes ist eine Teilbeschattung durch den Grünbestand gegeben (Bild 1). Die Aula wurde mit einem Gründach versehen (Bild 2) und es existiert ein gern genutzter Trinkbrunnen im Haus. Etwa 50 % des Außenbereichs sind versiegelte Flächen (Abb. 54 im Anh.). Insbesondere der große voll versiegelte Schulhof (Bild 3) birgt ein hohes Überwärmungspotenzial, da dieser ab dem fortgeschrittenen Vormittag quasi unbeschattet ist und zudem die Gebäuderückstrahlungen der Westfassade des Schulgebäudes erfährt. Die eher kleinen Grünflächen wirken entsprechend übernutzt (Abb. 53 im Anh.) und sind daher wenig funktional. Der vergleichsweise kleine Baumbestand (Abb. 53 im Anh.) konzentriert sich auf den wenig genutzten Schulgartenbereich. Die wenigen Bäume und Sträucher, die sich direkt auf dem stark frequentierten Schulhof befinden, zeigen deutliche Nutzungsspuren und Vitalitätseinschränkungen (Bild 4). Die Bereiche von Spiel- und insbesondere Bolzplatz erfahren in den Sommermonaten im Tagesverlauf kaum Schatten. Der Schulgartenbereich ist großzügig angelegt und stimmig begrünt. Der Schulhof verfügt über eine Außendusche und die installierten Sonnensegel sind optimal angebracht.

Bzgl. des Schwerpunktthemas Lufthygiene sind insbesondere der geringe Großgrünanteil, die resultierende hohe Insolation und das erhöhte Überwärmungspotenzial aufgrund des hohen Versiegelungsgrades als bedeutsame Belastungsfaktoren für die Luftqualität anzusehen. Die Dammstraße und die umliegenden Verkehrsbe-
reiche sind vergleichsweise schwach frequentiert (Abb. 56 im Anh.), sodass verkehrsbedingte Emissionen von Ozonvorläufern (NO_x) nur mäßigen Einfluss haben dürften.



Bild 3



Bild 4

Handlungsempfehlungen:

Für den Innenbereich der H.-Heine-Schule ist der Wärmeeintrag über die Dachflächen eine entscheidende Größe. Dieser sollte möglichst reduziert werden (**H1**), indem ein helleres Material bzw. ein hellerer Anstrich für das Flachdach vorgesehen wird oder beschattende Photovoltaik-Module auf dem Dach angebracht werden. Am wirkungsvollsten würde sich die Installation einer Dachbegrünung auf das Innenraumklima auswirken.

Im Außenbereich ist es von großer Bedeutung den Großgrünbestand zu erhalten und gezielt auf Problembereiche zu erweitern: So könnten zwei bis drei Baumstandorte in der Tiefenlinie des Schulhofs (Bild 3), unter Berücksichtigung der Gewährleistung von Feuerwehrezufahrt und -stellfläche, geschaffen werden (**H2**), wofür sich eine Zuleitung von Niederschlagswasser relativ einfach realisieren ließe. Ein Rigolensystem für diesen Bereich wäre wünschenswert. Als Baumarten für diesen versiegelten Bereich des Schulhofs empfehlen sich bspw. Gemeine Hopfenbuche, Japanischer Schnurbaum oder Kaukasische Flügelnuss.

Auch für Spiel- und Bolzplatz sollte eine zusätzliche Beschattung durch Baumpflanzungen geschaffen werden. Geeignete Flächen dafür sind der Bereich zwischen Bolz- und Spielplatz oder die Grünflächen beiderseits des Sandkastens neben der Sporthalle (H3). Hierfür könnten Baumarten wie Gelb- oder Panzer-Kiefer, Sibirische Ulme, säulenförmige Libanon-Zeder oder Ess-Kastanie Verwendung finden.

Die jeweiligen Südfassaden der beiden Gebäudeflügel (Bild 5) eignen sich sehr zur Anbringung einer Fassadenbegrünung (H4). Da hier direkt der Schulgartenbereich anschließt, könnte dies z. B. durch Obstspaliergehölze erfolgen.

Generell sollte der mikroklimatisch vorteilhafte Schulgarten (Bild 6) stärker als Aufenthaltsbereich für den Schulhort vorgesehen bzw. genutzt werden (H5).

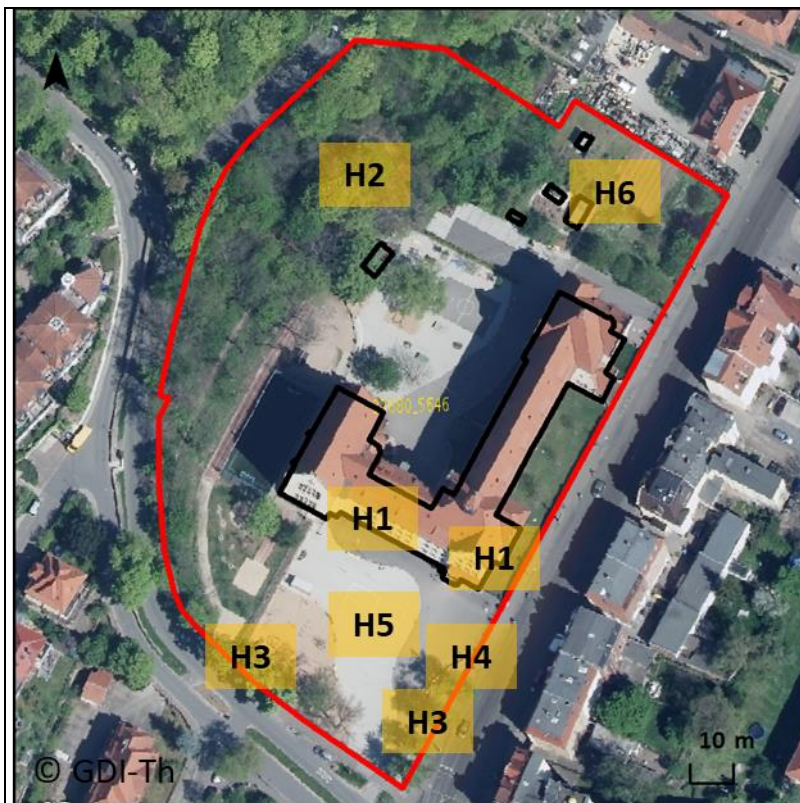


Bild 5



Bild 6

4.13 Nordschule

*Nordschule*

*Dornburger Str. 31
07743 Jena*

Leitung: Fr. Schuster

Kinderzahl: ca. 262

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Die zentrumsnah gelegene Nordschule im Ortsteil Jena-Nord ist ein altherwürdiges Gebäude aus dem Jahr 1908 (Bild 1). Innen- und Außenbereich der Schule wurden im Zeitraum 2013-2015 umfassend denkmalgerecht saniert. Aufgrund der zentralen Lage im Jenaer Siedlungskörper ist der Standort stark vom Wärmeinseleffekt betroffen (Abb. 52 im Anh.). Die Schule verfügt über einen großen Außenbereich (Abb. 50 im Anh.) mit recht hohem Grünanteil (Abb. 54 im Anh.), wobei der parkähnliche Hangwald (Bild 3) eine Besonderheit darstellt. Aufgrund des guten Platzangebotes werden die Kinder an Hitzetagen angehalten, bestimmte Bereiche (z. B. südlicher Hofbereich) nicht zu bespielen. Der Kellerbereich wird an heißen Tagen verstärkt durch den Hort genutzt, es finden Stundenverkürzungen an Hitzetagen statt.

Die Unterrichtsräume der Schule befinden sich überwiegend auf der West- und der Nordseite des Gebäudes, in denen vormittags recht erträgliche Aufenthaltsbedingungen herrschen. Seitens der Schulleitung werden aber die nach Südwesten (Bild 1) und insbesondere nach Südosten gelegenen Klassenräume an Sommertagen als problematisch empfunden, da diese über den



Bild 1

gesamten Vormittag volle Sonneneinstrahlung empfangen und sich entsprechend schnell aufheizen. Alle sonnenexponierten Fenster sind nur mit Innenjalousien ausgestattet (Bild 1).

Der Außenbereich setzt sich im Wesentlichen aus vier Bereichen zusammen: Dem Innenhof, dem südlichen Schulhof (Bild 2), dem Hangwald (Bild 3) und dem vergleichsweise großen Schulgarten-gelände (Bild 4). Der Innenhof wird durch das Schulgebäude ganzjährig gut beschattet, verfügt zu- dem über einen vitalen Baumbestand und weist an den Rändern auch entsiegelte Bereiche (wasser- gebundene Decken) auf. Der südliche Schulhof ist stark sonnenexponiert. Insbesondere der Spiel- platz erfährt kaum Beschattung während der Vormittags- und Mittagsstunden (Bild 2). Das installierte Sonnensegel hat wenig Effekt. Von großer Bedeutung für eine Teilbeschattung dieses Hofbereichs



Bild 2



Bild 3



Bild 4

sind die Lindenreihen entlang der Grundstücksgrenzen zur Dornburger Str. bzw. zum Hufelandweg (Bild 5). Der Bolzplatz wird ausreichend durch Gebäude und Baumbestand be- schattet. Mit den Robinien an der Südostseite des Gebäudes wurde eine geeignete Baumart gewählt, da diese gut mit der intensiven Strah- lung und den hohen Temperaturen an diesem Standort umgehen und (in fortgeschrittenem Alter) Teilbeschattung für die Räumlichkeiten auf dieser Gebäudeseite generieren können.



Bild 5

Für den Standort der Nordschule ergibt sich zudem eine erhöhte Betroffenheit bzgl. des Schwer- punkthemas Luftthygiene. Mit im Mittel 15,4 Heißen Tagen (Abb. 52 im Anh.) befindet sich die Schule in einem Hot-Spot für Wärmebelastung im Stadtgebiet. Zudem ist die Dornburger Str. mit

etwa 3900 Kfz/d (Abb. 56 im Anh.) eine relativ stark frequentierte Straße mit Kreuzungs- und Ampelbereich direkt vor der Schule, auf der entsprechend hohe Emissionsraten an Stickoxiden entstehen können. An Tagen mit hohen Temperaturen und starker Insolation könnten sich biogene Ozonvorläufersubstanzen (Abb. 57 im Anh.) verstärkend auf mögliche lufthygienische Belastungszustände auswirken (Kap. 1.2). Die Stellung des Gebäudes sowie der parkähnliche Hangwald generieren jedoch Frischluftzufuhr und sorgen für gute Ventilationsverhältnisse.

Handlungsempfehlungen:

Für die Klassenräume auf der Südost- und der Südwestseite des Gebäudes (Bild 1) ist die Installation von effizienteren Außenjalousien zu empfehlen (H1). Hierzu sollte ein Kompromiss mit den Interessen des Denkmalschutzes angestrebt werden.

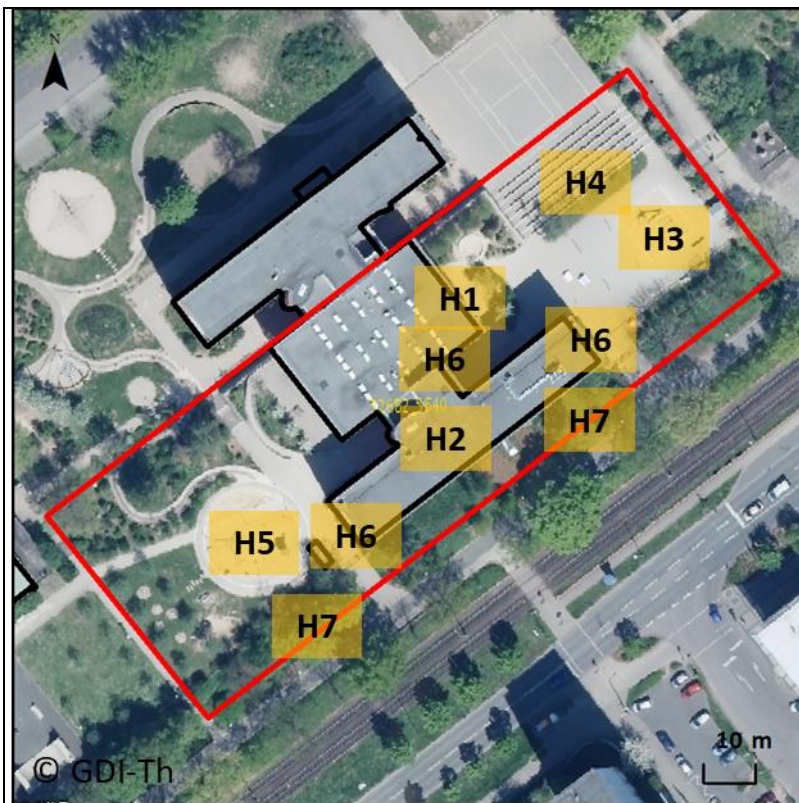
Der Hangwald (Bild 3) ist von besonderer klimaökologischer Bedeutung und sollte daher unbedingt erhalten werden (H2).

Auch die Lindenreihen (Bild 5) auf dem südlichen Schulhof sollten in ihrer Funktionalität erhalten werden (H3). Nachpflanzungen innerhalb dieser Baumreihen sollten zukünftig mit trocken- und strahlungstoleranteren Baumarten (z. B. Krim-Linde, Silber-Linde) erfolgen.

Die Reihe entlang der Dornburger Str. kann zudem um einen weiteren Baumstandort nach Norden hin erweitert werden (H4). Besonders effektiv bzgl. der Verbesserung der Aufenthaltsqualität auf dem südlichen Hofbereich würde sich die Installation von zwei bis drei Baumstandorten entlang der Tiefenlinie (etwa Grenze zwischen Asphalt und Pflaster, Bild 2) auswirken (H5). Dazu wären Baumarten wie Lederblättriger Weißdorn, Bungens Zürgelbaum, Kaukasischer Zürgelbaum, Kornelkirsche, Winter-Linde oder Schneeballblättriger Ahorn geeignet. Die Möglichkeiten zur Zuleitung von Niederschlagswasser in die Baumscheibe sollten dabei genutzt werden.

Der großzügige und funktionale Schulgartenbereich (Bild 4) sollte stärker als Aufenthaltsort in den Schulalltag („Grünes Klassenzimmer“) bzw. in den Schulhort integriert werden (H6).

4.14 Saaletalschule

*Saaletalschule*

*Karl-Marx-Allee 11
07747 Jena*

Leitung: Fr. Pohlack

Kinderzahl: ca. 385

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Die Saaletalschule in Lobeda-West gehört mit etwa 385 Kindern zu den größten Grundschulen in Jena. Schulgebäude und Außenbereich werden von zwei Schulen genutzt. Der südliche Riegel und Teile des Mitteltraktes gehören zur Saaletalschule, der nördliche Riegel und wiederum Teile des Mitteltraktes sind durch die Kaleidoskopschule in Benutzung. Der Außenbereich ist entsprechend aufgeteilt (siehe Luftbild), wobei keine strikte Nutzungstrennung der Außenbereiche existiert und der sich rein rechnerisch ergebende Nutzungsdruck auf das Außengelände mit etwa 14 m² pro Kind (Abb. 50 im Anh.) daher nur bedingt belastbar ist. Das Gebäude wurde 2010 saniert, hat einen geringen Wärmedurchgangskoeffizienten und der Südriegel ist zudem mit einer Lüftungsanlage ausgestattet.

Das Gebäude ist insgesamt stark sonnenexponiert bei gleichzeitig hohem Fensteranteil (Abb. 51 im Anh.). Die Baumreihe entlang der Südostgrenze zur Karl-Marx-Allee ist ein wichtiger Schattenspende für das Gebäude (Bild 1). Die nach Nordosten gelegenen Räumlichkeiten des Mitteltraktes (Bild 2) werden seitens der Schulleitung als besonders wärmebelastet empfunden. Diese profitieren nicht von der Lüftungsanlage



Bild 1

des Gebäudes und sind nur mit Verdunklungsrollos ausgestattet. Die im Mitteltrakt gegenüberliegenden Räume sind stattdessen mit Außenjalousien versehen, welche dort jedoch wenig nützlich sind, da die Grundschule in der Regel zur Vormittags- und Mittagszeit frequentiert wird und nachmittags kein Unterricht stattfindet. Davon abgesehen kann der Sonnenschutz an den Fenstern als ausreichend bewertet werden. Der gesamte Südriegel verfügt über Verdunklungsrollos sowie Außenjalousien, die Luftzirkulation erlauben. Ähnlich anderen Flachdachbauten werden auch die Klassenräume im Dachgeschoss als problematisch empfunden. An heißen Tagen wird versucht, den Unterricht für die dort befindlichen Klassen in den Außenbereich zu verlagern.



Bild 2



Bild 3



Bild 4



Bild 5

Gemessen an der Schülerzahl verfügt die Schule über einen durchschnittlichen Grünflächenanteil sowie Großgrünbestand. Für den nordöstlichen Bereich des Außengeländes (Spielplatz und Sportplatz mit Treppe) besteht ein hohes Überwärmungspotenzial, da dieser im Sommer während des gesamten Vormittags quasi unbeschattet ist und sich aufgrund des sehr hohen Versiegelungsgrads auf großer Fläche schnell aufheizt (Bild 3). Die zwischen Spiel- und Sportplatz befindliche Birkenreihe (Bild 4) ist zu klein, um spürbare Beschattungseffekte erzielen zu können. Der südwestliche Außenbereich birgt aufgrund seiner Lage und des deutlich geringeren Versiegelungsgrades ein, im Vergleich zum nordöstlichen Bereich, geringeres Überwärmungspotenzial. Das Sonnensegel des kreisrunden Spiel-/Sandplatzes hat jedoch wenig Nutzen, da es nur die Randbereiche der Fläche beschattet (Bild 5). Für den Schulhort stehen Wassersprenkler im Außenbereich zur Verfügung.

Prinzipiell ist der Standort der Saalealschule stadtklimatisch wie lufthygienisch, insbesondere aufgrund der Nähe zur Saaleau, vergleichsweise günstig gelegen. Die erhöhte Betroffenheit im Schwerpunktthema Lufthygiene ergibt sich vor allem aus der anliegenden Karl-Marx-Allee mit knapp 6.000 Kfz/d (Abb. 56 im Anh.) und der starken Sonnenexposition bzw. dem hohen Überwärmungspotenzial des Außengeländes. Eine große Bedeutung für die Gewährleistung einer guten

Luftqualität am Standort Saaletalschule kommt daher dem Grünriegel (Luftbild, Bild 1) entlang der Grundstücksgrenze zur Karl-Marx-Allee zu, durch welchen eine Teilbeschattung der Außenflächen generiert und ein Transport von Schadstoffen zum Schulgelände gemindert wird.

Handlungsempfehlungen:

Bzgl. des Innenraumklimas sollte in erster Linie der Sonnenschutz der Fenster der nach Nordosten ausgerichteten Räumlichkeiten des Mitteltraktes verbessert werden (**H1**, Bild 2), indem auch diese mit Außenjalousien versehen werden.

Auch der Wärmeeintrag über die Dachfläche sollte reduziert werden (**H2**). Wünschenswert hierfür wäre eine Dachbegrünung, aber auch ein hellerer Anstrich oder aufgeständerte PV-Module würden positive Effekte bewirken.

Im Außenbereich sollte das hohe Überwärmungspotenzial der vollversiegelten Flächen reduziert werden. Im Bereich des Spielplatzes im Osten könnte entlang der Spielplatzränder entsiegelt und stattdessen einzelne Hecken- oder besser Baumstandorte (geeignete Arten: Berliner Pappel, Ginkgo, Japanischer Schnurbaum) vorgesehen werden (**H3**, Bild 3).



Bild 6

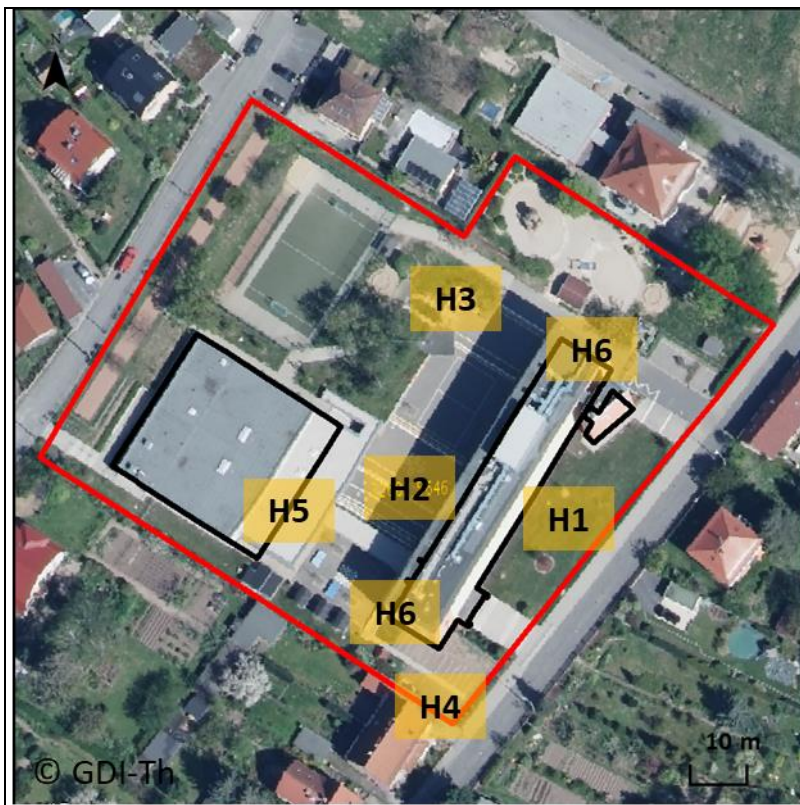
Bei Abgang der Birken oberhalb der Treppe zum Sportplatz (Bild 4) sollten diese durch deutlich höhere und somit effektivere Bäume nachgepflanzt werden (**H4**). Als geeignete Baumarten würden sich an diesem Standort säulenförmige Eichen oder Berliner Pappel anbieten. Auch eine Artenmischpflanzung (u. a. mit Europäischer Lärche) ist hier empfehlenswert.

Im Südwesten sollte das Sonnensegel des kreisrunden Spielplatzes (Bild 5) umgesetzt, oder besser durch einen Baumstandort (Ginkgo, Urweltmammutbaum) inmitten des Kreises ersetzt werden (**H5**). Denkbar wäre auch eine Baum-/Heckenpflanzung entlang des südlichen Kreisrandes mit geeigneten Arten, wie Ginkgo, Gelb- oder Panzer-Kiefer.

Insgesamt bietet das Schulgebäude viel Potenzial für Fassadengrün (**H6**), bspw. an der Nordost- sowie Südwestfassade des Südriegels oder an der Südseite des nordöstlichen Mitteltraktes (Bild 6). Aufgrund der Außendämmung des Gebäudes sollten hierfür Stützelemente angebracht und geeignete Pflanzen, wie Strahlengriffel, Akebie, Knöterich oder Blauregen verwendet werden.

Von hoher Relevanz bzgl. Beschattung und Lufthygiene ist zudem der Erhalt des Grünbestands entlang der südöstlichen Grundstücksgrenze (**H7**).

4.15 Schule am Rautal

*Schule am Rautal*

*Schreckenbachweg 3
07743 Jena*

Leitung: Fr. Hüller

Kinderzahl: ca. 266

Betroffenheit:

Wärmebelastung Innenbereich

Wärmebelastung Außenbereich

Lufthygiene

Die Schule am Rautal befindet sich auf einem südostexponiertem Hang unterhalb des „Heiligen Bergs“ im Ortsteil Löbstedt. Aufgrund der sonnenexponierten Lage der Schule (Abb. 51 im Anh.) ist an dem Standort, trotz seiner relativ peripheren Lage im Stadtgebiet, eine ziemlich hohe Wärmebelastung zu verzeichnen (Abb. 52 im Anh.).

Die Rautalschule ist das einzige der untersuchten Objekte, das über eine Klima-/Lüftungsanlage für das gesamte Schulgebäude verfügt. Elemente, die dem Wärmeeintrag ins Gebäude entgegenwirken sind – wahrscheinlich aufgrund des Vorhandenseins der Klima-/Lüftungsanlage – kaum vorhanden. Das gilt sowohl für die Beschattung von außen durch Bäume, welche zwar vorhanden sind, jedoch aufgrund der Anzahl und v. a. der Größe keinen Effekt haben, als auch für den Sonnenschutz an sonnenbeschienenen Fenstern (Bild 1). Für die Aufenthaltsqualität im Innenraum ist es daher von großer Bedeutung, dass die Klassenräume sich vollständig auf der nordwestlichen und somit – zur Unterrichtszeit – sonnenabgewandten Seite des Gebäudes befinden, während die Flure und das Treppenhaus auf der südöstlichen Seite angelegt sind.



Bild 1



Bild 2



Bild 3



Bild 4

Der Außenbereich weist eine relativ spärliche Grünausstattung auf. Das gilt sowohl für (vitale) Grünflächen als auch hinsichtlich des Baumbestands (Abb. 53 im Anh.). Dem vollversiegelten Schulhof (Bild 2) kommt zugute, dass dieser während der Vormittagszeit zum Teil durch das Schulgebäude beschattet wird. Ab dem späten Vormittag und insbesondere zur Horkzeit heizt sich dieser, zusätzlich befördert durch den dunklen Belag, recht schnell auf. Die im Südwesten des Schulhofs gepflanzten Gleditschien sind aufgrund ihres Alters noch recht klein, um spürbar Beschattung zu generieren und decken auch nur ein kleines Areal (bei sommerlichem Sonnenstand) ab (Bild 3). Auch Schulgarten und Bolzplatz sind quasi ganztags ohne Beschattung. Sehr positiv herauszustellen ist der Aufenthalts- und Spielbereich in der Mitte des Hofareals (zwischen versiegeltem Schulhof und Bolzplatz) mit gutem Baumbestand und Versteckmöglichkeiten (Bild 4). Der Baumbestand der Schule insgesamt weist, nicht zuletzt aufgrund des geringen Alters vieler Exemplare, eine gute Vitalität auf (Abb. 55 im Anh.).

Bzgl. der Lufthygiene ist ein erhöhtes Potenzial für Beeinträchtigungen aufgrund der sonnenexponierten Lage des Standorts und der daraus resultierenden erhöhten Einstrahlungssumme zu sehen (Abb. 51). Allerdings existieren nur im geringen Umfang Emissionsquellen für Ozonvorläufer, sei es anthropogener (Abb. 56 im Anh.) oder biogener Natur (Abb. 57 im Anh.).

Handlungsempfehlungen:

Die Maßnahmenempfehlungen zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität unter dem Gesichtspunkt zukünftig zunehmender Wärmebelastung beziehen sich vorrangig auf den Außenbereich. Aktuell wird die Wirksamkeit der Klima-/Lüftungsanlage als ausreichend empfunden, sodass bzgl. des Innenraums kein akuter Handlungsbedarf besteht. Im Zuge sich intensivierender Hitze- und Trockenperioden wird sich zeigen, inwieweit – auch unter energetischen Aspekten – nicht zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden sollten.

In jedem Fall ist die Schaffung einer Teilbeschattung der südostexponierten Gebäudefront (Sichtbereich Schreckenbachweg, Bild 1) durch verschiedene mittelgroße bis große Bäume entsprechend des Jenaer Stadtbaumkonzeptes (Stadt Jena 2016) empfehlenswert (**H1**).

Da eine Verringerung des Versiegelungsgrades im Außenbereich der Rautalschule nur schwer zu realisieren ist, sollten v. a. zusätzliche Baumstandorte in besonders überwärmungsgefährdeten Arealen angedacht werden. Wünschenswert ist die Anlage einer Baumreihe zwischen Schulgebäude und Sporthalle quer über den Schulhof, ungefähr in Höhe des Aufgangs zur Sporthalle (**H2**, Bild 2), mit versiegelungstoleranten Baumarten mit mitteldichter Krone (z. B. Spaeths Erle, Sorten von Kirsch-Pflaume) und unter Berücksichtigung der Gewährleistung von Feuerwehrstellflächen.



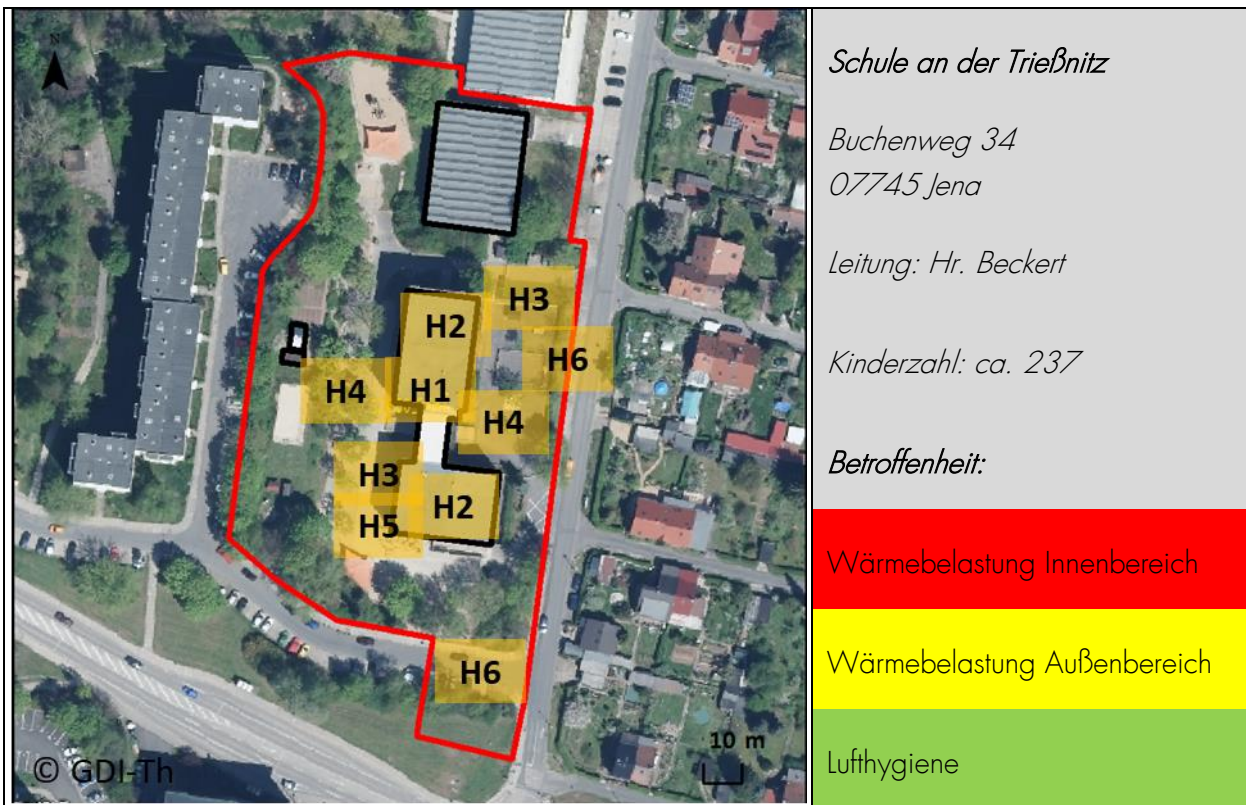
Auch die Sitzcke am nordwestlichen Rand des Hofes (Bild 5) sollte eine Beschattungsmöglichkeit entweder durch einen Baum oder ein Sonnensegel erhalten (**H3**).

Durch die Pflanzung eines Baumes mit relativ lichter Krone in der südlichen Grundstücksecke (**H4**) würde der Schulgarten eine Teilbeschattung erfahren und trotzdem ausreichend Sonnenlicht für die angebauten Pflanzen erhalten. Geeignete Arten könnten Herzblättrige Erle, Sand-Birke oder Weidenblättrige Birne darstellen.

Um mehr Verdunstungskühlung für den Hofbereich erwirken zu können, sollte auch geprüft werden, ob die aktuell mit Schotter versehenen Dachflächen der Aula bzw. der Überdachung über den Schulhof (Bild 6) durch ein Gründach ersetzt werden könnten (**H5**).

Zudem weist das Gebäude an zwei Stellen das Potenzial zur Installation einer Fassadenbegrünung auf, an der Gebäudenordseite sowie im südlichen Teil der westlichen Gebäudefront (**H6**). Aufgrund der Außendämmung des Schulgebäudes sollte dies mit Stützelementen und jeweils geeigneten Schlingern, Windern oder Rankern (z. B. Waldrebe-Sorten, Wilder Wein für die Nordseite und Strahlengriffel oder Pfeifenwinde für die Westseite) erfolgen.

4.16 Schule an der Trießnitz



Die Schule an der Trießnitz im Ortsteil Winzerla ist ein noch unsaniertes Gebäude aus DDR-Zeiten, dessen Sanierung allerdings für 2019/20 vorgesehen ist. Bei der Begehung der Einrichtung konnten deutlich erhöhte Innenraumtemperaturen, insbesondere in den südostexponierten Klassenräumen wahrgenommen werden. Vielfach waren improvisierte Maßnahmen zur Minderung der Innenraumtemperaturen (z. B. zusätzlich angebrachte Plissees und Ventilatoren) erkennbar. Gemessen an der Schülerzahl hat die Schule ein recht großes Außengelände (Abb. 50 im Anh.). Eine deutliche Erhöhung der Jahrgangsstärken ist in den nächsten Jahren jedoch vorgesehen.

Aufgrund des Sanierungsstandes ergibt sich eine hohe Betroffenheit durch Wärmebelastung im Innenbereich. Laut Schulleitung werden an manchen Tagen 30 °C Raumtemperatur bereits gegen 10.00 Uhr vormittags erreicht. Das stark sonnenexponierte (Abb. 51 im Anh.) ungedämmte Gebäude (Bild 1) in DDR-Fertigteilm Bauweise lässt vergleichsweise viel Wärmeenergie in die Innenräume. Die Klassenräume haben große Fensterflächen (Abb. 51 im Anh.), die bzgl. der Sonnenexposition mit den installierten Innenjalousien nur einen sehr ineffizienten Sonnenschutz aufweisen (Bild 2). Die brei-



ten Schulflure (Bild 3) sind spürbar angenehmer temperiert.

Der Außenbereich der Schule hat zwei Schulhöfe, einen östlich und einen westlich des Gebäudekomplexes. Der westliche Hof profitiert während des Vormittags vom Gebäudeschatten, der östliche z. T. von der Baumreihe entlang der Grundstücksgrenze zum Buchenweg (Bild 4). Insbesondere der dunkle Asphaltbelag des östlichen Schulhofs (Bild 5) birgt, im Zusammenhang mit der Rückstrahlung des Sonnenlichts durch das dahinter befindliche Schulgebäude, ein hohes Überwärmungspotenzial.



Bild 3



Bild 4



Bild 5

Der Außenbereich weist insgesamt einen vergleichsweise üppigen Baumbestand auf (Abb. 53 im Anh.). Auch die beiden Hofbereiche sind von einzelnen Baumstandorten durchsetzt, bei denen sich die „Gestaltung“ der Baumscheiben (Bild 5) allerdings sehr vitalitätseinschränkend (Abb. 55 im Anh.) auf die Bäume auswirkt (Bild 6). Der Grünbereich westlich des westlichen Hofes mit dem Grünen Klassenzimmer stellt sich als relativ vital dar und generiert ausreichend Schatten. Der sich südlich daran anschließende Sandbolzplatz ist zur Nachmittagszeit gänzlich unbeschattet.

Eine Beeinträchtigung der Lufthygiene durch verkehrsbedingte Emissionen (Abb. 56 im Anh.) oder durch biogene Quellen (Abb. 57 im Anh.) im Zusammenhang mit intensiver Sonneneinstrahlung bzw. hohen Temperaturen ist am Standort Triebnitzschule eher gering. Von hoher Bedeutung ist in diesem Kontext der Baumbestand im südlichen Grundstücksbereich zu bewerten, der eine wichtige Barriere für Schadstoffe von der viel befahrenen Winzerlaer Straße darstellt.



Bild 6

Handlungsempfehlungen:

Aufgrund der noch anstehenden grundhaften Sanierung/Modernisierung des Schulstandortes Triebnitzschule sollen an dieser Stelle keine expliziten Maßnahmen zur Reduktion der zukünftig zunehmenden Wärmebelastung vorgeschlagen werden, da davon ausgegangen wird, dass das zu sanierende Objekt auch bezüglich des Wärmeschutzes (Dämmung, Außenjalousien, evtl. Klima-/Lüftungsanlage, Hofgestaltung, Baumbestand) entsprechend aufgewertet wird. Es sollen daher eher grundsätzliche Hinweise hinsichtlich der Aufenthaltsqualität für den Standort gegeben werden:

Für den Zeitraum bis zur Sanierung des Gebäudes sollte die Möglichkeit geprüft bzw. abgestimmt werden, den Unterricht an Hitzetagen aus den stark aufgeheizten Klassenräumen in die breiten und deutlich kühleren Flure (Bild 3) oder verstärkt in den Außenbereich (Grünes Klassenzimmer) zu verlagern (H1).

Das Dach des sanierten Gebäudes sollte möglichst wenig Wärmeenergie ins Gebäude eindringen lassen. Dies kann durch einen hellen Anstrich, aufgeständerte Photovoltaikpaneele oder idealerweise durch eine Dachbegrünung realisiert werden (H2).

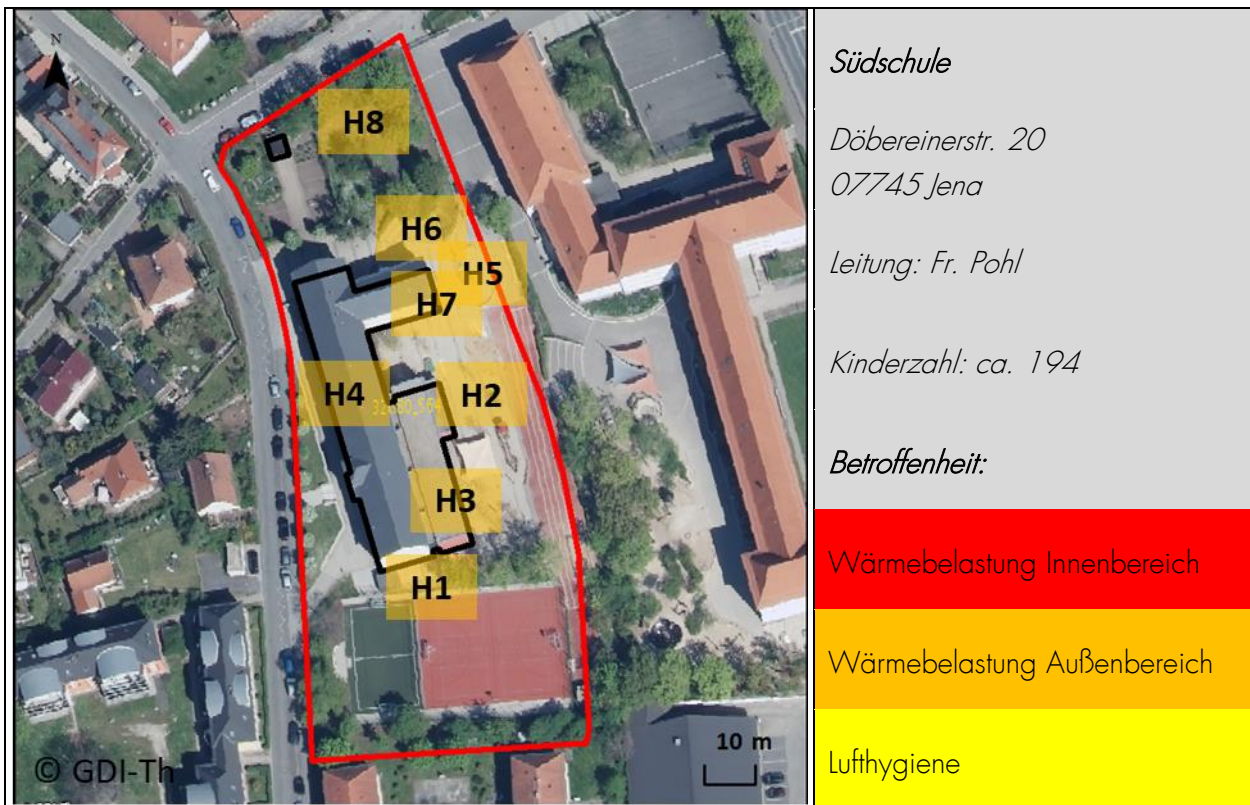
Im Außenbereich sollte auf eine Reduktion des Versiegelungsgrades (H3) hingewirkt werden (z. B. Rasengittersteine in Randbereichen).

Baumstandorte sollten großzügige Wurzelgruben und einen gewissen Schutz (z. B. Rundbänke um die Bäume) erhalten (H4). Durch Zuleitung von Niederschlagswasser zu den Baumscheiben bzw. Grünflächen wird die Wasserversorgung des Baumbestands verbessert, somit die Verdunstungskühlung erhöht und auch der Wasserrückhalt bei Starkregenereignissen verstärkt.

Die bestehende Wasserspielanlage sollte grundsätzlich erhalten und größer dimensioniert werden. Alternativ sollten Außenduschen vorgesehen werden (H5).

Der Baumbestand sollte nach Möglichkeit erhalten werden (H6). Das gilt insbesondere für die Bäume im südlichen Grundstücksbereich, jene entlang der Grenze zum Buchenweg (Bild 4) sowie die Baumstandorte in den versiegelten Hofbereichen. Nachpflanzungen sollten mit geeigneten Arten entsprechend des Jenaer Stadtbaumkonzeptes (Stadt Jena 2016) erfolgen.

4.17 Südschule



Die Südschule im Ortsteil Jena-Süd befindet sich an einem nach Osten abfallenden Hang des Saale-tals mit hoher Sonnenexposition und erhöhtem Überwärmungspotenzial (Abb. 51 im Anh.). Das Gebäude wurde in den Jahren 2007/2008 umfassend saniert und um einen Neubau erweitert.

Die Räumlichkeiten der Südschule verfügen generell nur über Innenjalousien zum Sonnenschutz verfügen (Bild 1). Auch im Außenbereich befindliche Elemente (z. B. Bäume, andere Gebäude), die eine Teilbeschattung des Gebäudes und damit eine Minderung des Wärmeeintrags generieren könnten, sind kaum vorhanden bzw. funktional (Bild 2). Insbesondere die nach Süden ausgerichteten Räumlichkeiten werden an Sommertagen bereits zur Vormittagszeit als „kaum erträglich“ empfunden. Auch Ausweich-



möglichkeiten, wie kühlere Kellerräume oder ein großer Schulgarten, v. a. für den Schulhort, sind nicht vorhanden.

Im Außenbereich weist die Schule mit knapp 60 % den höchsten Versiegelungsgrad aller betrachteten Objekte auf (Abb. 54 im Anh.), was insbesondere dem insgesamt recht geringen Flächenangebot am Standort geschuldet ist. Gleichzeitig werden nur etwa 15 % der Außenfläche durch Großgrün bedeckt (Abb. 53 im Anh.). In Kombination mit der stark sonnenexponierten Lage der Südschule (Abb. 51 im Anh.) ergibt sich somit ein sehr hohes Überwärmungspotenzial für den Außenbereich und ein entsprechendes Defizit an kühlenden bzw. beschattenden Elementen. Diesbezüglich hervorzuheben ist die relativ schlechte Vitalitätsbewertung der Bäume am Standort (Abb. 55 im Anh.). Das gilt insbesondere für die Blaseneshen auf dem Schulhof, denen das Zusammenwirken aus Wasserunterversorgung – aufgrund konvexer und somit wasserabführender Baumscheiben (Bild 2) – und starker Sonneneinstrahlung erheblich zusetzt. Diese zeitigen mehrheitlich eine deutliche Kronenverlichtung und sind entsprechend wenig funktional (Bild 2). Auch die Sportflächen (Sportplatz und Laufbahn) und der Spielplatz im nördlichen Bereich des Schulhofs (Bild 3) sind quasi ohne Schatten oder Verdunstungskühlung. Der Schulgartenbereich (Bild 4) ist angesichts der Schülerzahl recht klein und wird sich im Zuge eines Sporthallen-/Parkplatzbaus zusätzlich verkleinern.

Im Schwerpunktthema Lufthygiene ist ein einseitiges Potenzial für Beeinträchtigungen durch Bildung von bodennahem Ozon aufgrund der starken Insolation und des daraus resultierenden hohen Überwärmungspotenzials am Standort gegeben. Emissionsquellen für Ozonvorläufersubstanzen sind aber aufgrund wenig befahrener Straßen (in unmittelbarer Nähe) und der Baumartenzusammensetzung nur in geringem Umfang vorhanden (Abb. 56 und Abb. 57 im Anh.).



Bild 3



Bild 4

Handlungsempfehlungen:

Zur Verringerung der Wärmebelastung am Standort Südschule sollte insgesamt die Durchgrünung verstärkt bzw. qualitativ verbessert werden.

Für den Innenbereich würde sich eine Verlängerung der Baumreihe im südlichen Bereich des Schulhofs (Übergang zum Sportplatz) nach Westen sehr positiv auswirken, da dadurch eine natürliche Beschattung der nach Süden gelegenen Klassenräume in den Sommermonaten geschaffen würde (H1). Hier sind bis zu drei zusätzliche Baumstandorte mit geeigneten Arten (mittelkronige Bäume mit ovaler bis säulenförmiger und tendenziell dichter Krone: z. B. Spitz-Ahorn, Schneeballblättriger Ahorn, Rotblühende Rosskastanie, Pyramiden-Pappel) in Artenmischpflanzung denkbar.



Bild 5

Auch ein Umbau der an sich gut platzierten und ausreichend vorhandenen Blaseschenstandorte auf dem Schulhof (Bild 2) würde die Beschattung des Schulgebäudes (Neubau, Bild 1) deutlich verbessern und natürlich die Aufenthaltsqualität auf dem stark sonnenexponierten Schulhof erhöhen (H2). Dazu sollte der vorhandene Wurzelraum überprüft und ggf. vergrößert sowie der Zulauf von Niederschlagswasser zur Baumscheibe ermöglicht werden. Langfristig ist für diese Standorte ein Rigolensystem wünschenswert. Eventuell ist auch die Umstellung auf trocken- bzw. strahlungstolerantere Baumarten (z. B. Flaum-Eiche, Feld-Ahorn, Blumen-Esche, Schwedische Mehlbeere) sinnvoll.

Die Fenster der Ost- und Südseite sollten an einem derart sonnenexponierten Standort mit effektiven Außenjalousien versehen sein (H3). Hierzu sollte eine Kompromissfindung mit den Belangen des Denkmalschutzes angestrebt werden.

Mittelfristig ist für die Südschule eine Klima-/Lüftungsanlage (mit einer Stromversorgung aus regenerativen Energiequellen bzw. mittels PV-Modulen am Gebäude) zu empfehlen (H4).

Der Spielplatz im nördlichen Teil des Schulhofs (Bild 3) sollte mit Grünelementen bereichert werden (H5). Dazu könnten einzelne, möglichst hohe Sträucher oder kleine Bäume (geeignete Arten: Feld-Ahorn, Kornelkirsche, Flaum-Eiche, Gewöhnlicher oder Kanadischer Judasbaum) statt der Sitzbänke im Rondell vorgesehen werden. Dafür könnten Sitzrondelle zum Schutz der Bäume (Blaseschen) auf dem Schulhof installiert werden.

Auch im Bereich der Zufahrt zum Hof sind Möglichkeiten zur Ausweitung des Grünbestands vorhanden (Bild 5, H6).

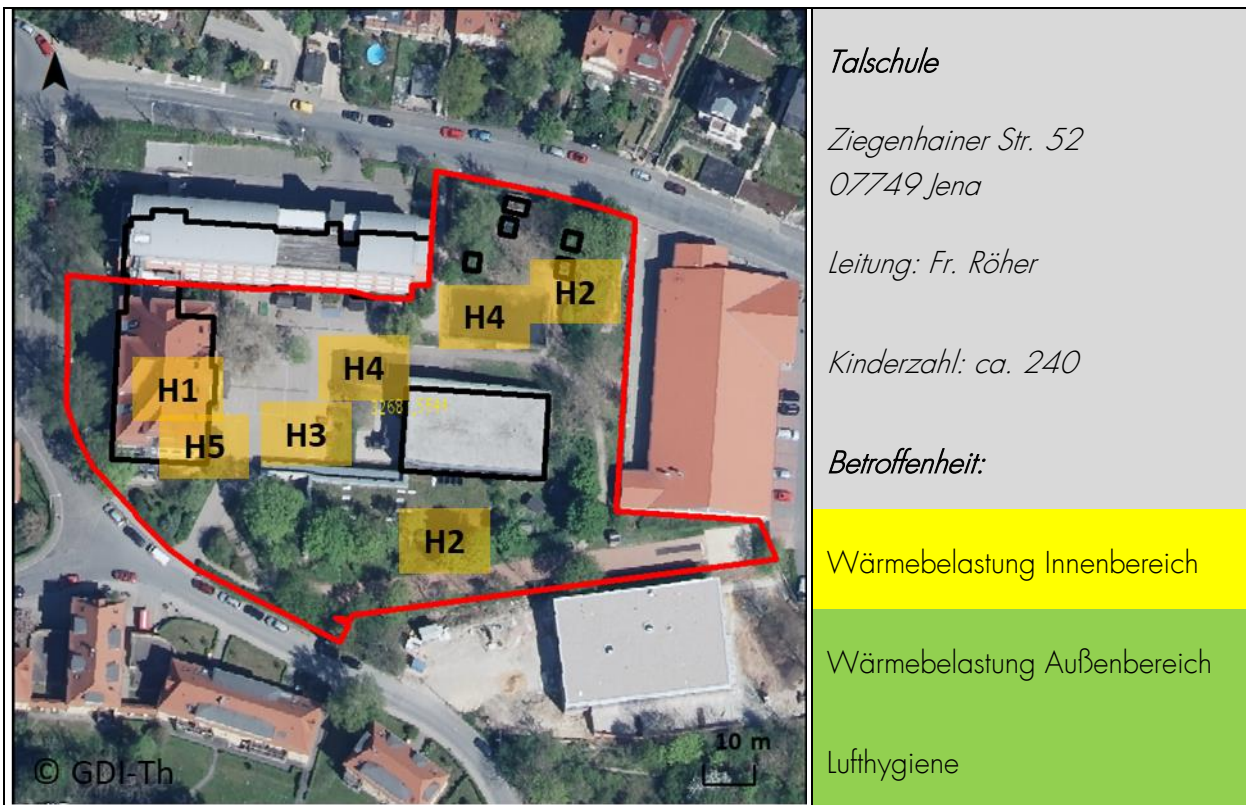
An einigen Stellen (z. B. östlicher Teil der Südfassade, Ostfassade des Nordtraktes, Bild 6, H7) bieten sich geeignete Flächen zur Installation einer Fassadenbegrünung an. Bei der Pflanzenwahl sollte insbesondere die hohe Strahlungsexposition des Standorts und die Außendämmung des Neubaus berücksichtigt werden.

Der noch existierende Schulgartenbereich sollte in jedem Fall erhalten bleiben und in seiner klimaökologischen Funktion ausgebaut werden (H8), z. B. durch Entsiegelung der Asphalt-Wege (Bild 4).



Bild 6

4.18 Talschule



Die Talschule befindet sich in einem Saalenebental (Ziegenhainer Tal) im Ortsteil Kernberge. Die relativ periphere Lage der Schule und die überwiegend aufgelockerte Bebauung der Umgebung begründen einen nur schwach ausgeprägten Wärmeinseleffekt und die vergleichsweise geringe Zahl Heißer Tage an dieser Lokalität (Abb. 52 im Anh.).

Das über 100 Jahre alte denkmalgeschützte Gebäude besteht aus etwa 50 cm mächtigem Mauerwerk und wird, nach Aussage der Schulleitung, auch im Sommer als „eigentlich immer angenehm kühl“ empfunden. Das Gebäude profitiert zudem teilweise von einer natürlichen Außenbeschattung durch Bäume und dem recht geringen Anteil an sonnenbeschienenen Fensterflächen (Bild 1), über die somit weniger Wärmeenergie ins Gebäude gelangt (Abb. 51 im Anh.). Als Sonnenschutz sind überwiegend Innenjalousien (Bild 2) installiert, was für die Mehrzahl der Räumlichkeiten, aufgrund der guten Beschattung durch Bäume bzw. der Ausrichtung vieler Klassenräume nach Westen, als ausreichend angesehen werden kann. Problematisch sind in diesem Zusammenhang jedoch die Klassenräume im Dachgeschoss zu nennen, da diese über die nach Osten und Süden aus-



gerichteten Dachfenster (Bild 3) während der Vormittags- und Mittagszeit volle Sonneneinstrahlung erfahren und deutlich stärker aufheizen als das übrige Gebäude. Die Außenfassaden und Dächer weisen eine gute Albedo auf; teilweise (Sporthalle) existieren begrünte Dachflächen.

Insgesamt verfügt der Außenbereich der Talschule über eine gute Grünausstattung (Abb. 53 im Anh.), v. a. im östlichen und südlichen Bereich (Bild 4), mit, angesichts des fortgeschrittenen Alters vieler Bäume, überwiegend guter Vitalität (Abb. 55 im Anh.). Der Schulhof (Bild 5) ist sehr sonnenexponiert, weist jedoch stellenweise beschattende Elemente auf und ist in den Randbereichen teilweise mit Rasengittersteinen versehen, die den Wasserrückhalt und somit auch die Verdunstungskühlung aus dem Bodenkörper verstärken. Kritisch anzumerken sind die schwarzen Sport- und Spielflächen des Bolz- und des Spielplatzes (Bild 5, im Hintergrund), die sich entsprechend schnell und stark aufheizen können.

Angesichts des vergleichsweise geringen Potenzials für Wärmebelastung (Abb. 52 im Anh.) und der eher im geringen Umfang vorhandenen anthropogenen (Abb. 56 im Anh.) wie biogenen (Abb. 57 im Anh.) Emissionsquellen für Ozonvorläufersubstanzen besteht für den Standort Talschule nur eine geringe Betroffenheit im Schwerpunktthema Lufthygiene.



Bild 3



Bild 4



Bild 5



Bild 6

Handlungsempfehlungen:

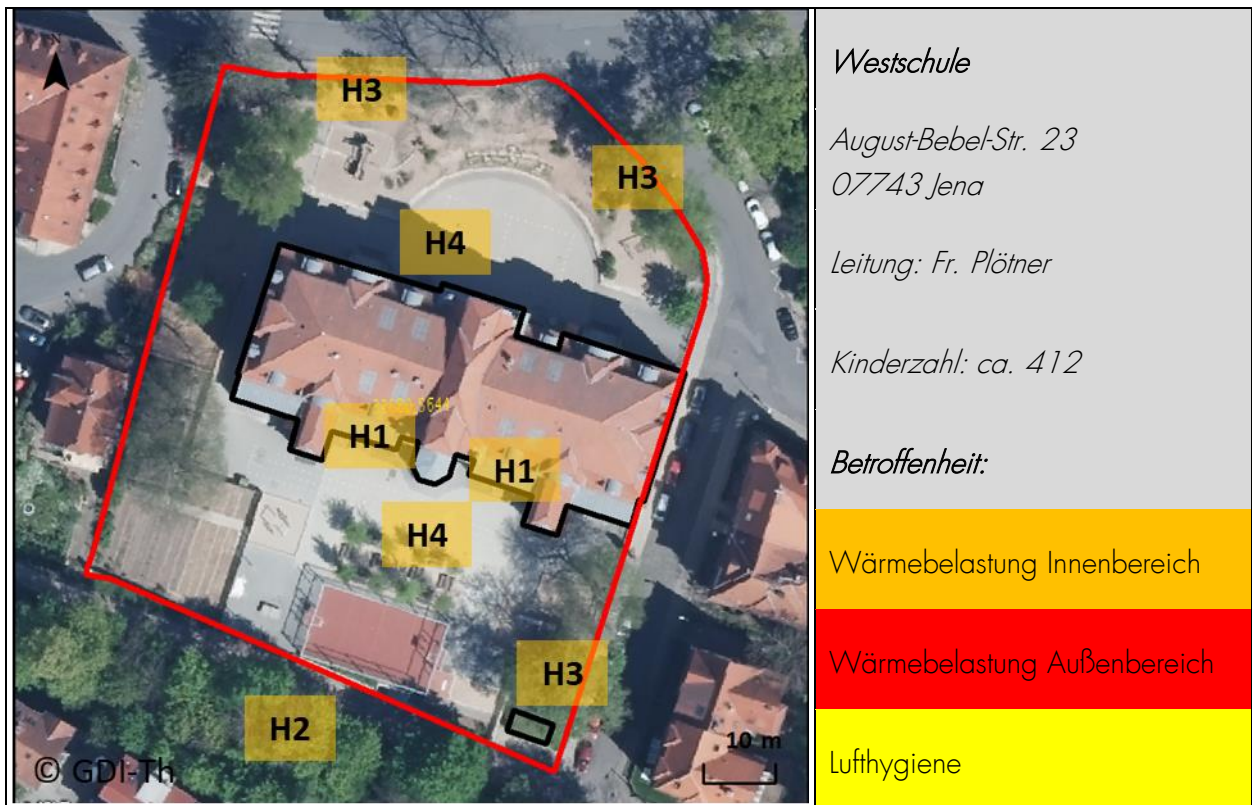
Im Innenbereich kann, sofern sich keine erheblichen Änderungen der Beschattungsverhältnisse von außen (v. a. Bäume im Osten und Süden bzw. auf dem Schulhof) ergeben, der Fokus auf die Räumlichkeiten im Dachgeschoss gelegt werden. Hier sollten die nach Osten und Süden ausgerichteten Dachfenster (Bild 3) mit einem wirksamen Sonnenschutz versehen werden (H1).

Als primäre Maßnahme für den Außenbereich ist der Erhalt des Grün- bzw. Baumbestands, insbesondere der auf dem Schulhof befindlichen Baumstandorte, zu nennen (H2).

Im Bereich des Eingangs zur Sporthalle (in der Nähe der davor befindlichen Laterne, Bild 6) empfiehlt sich die Installation eines zusätzlichen Baumstandorts (H3) mit mittelkronigen und halbdurchlässigen Baumarten (z. B. Herzblättrige Erle, Südlicher Zürgelbaum oder Schneeballblättriger Ahorn). Bei einer zukünftigen Sanierung/Modernisierung des Außenbereichs sollten die Beläge des Bolz- und des Spielplatzes (Bild 5) durch solche mit einem höheren Rückstrahlungsvermögen ersetzt werden (H4).

Der östliche Abschnitt der Südfassade (Bild 1, links) empfiehlt sich in besonderem Maße zur Installation einer Fassadenbegrünung (H5) mit klimmenden oder haftenden Pflanzen, wie Trompetenblume, Kletterhortensie oder Spindelstrauch.

4.19 Westschule



Die Westschule wurde 1904 erbaut und ist damit das älteste aller betrachteten Objekte. Die Schule ist sehr zentral im dicht bebauten Ortsteil Jena-West gelegen und weist eine entsprechend hohe Anzahl Heißer Tage (Abb. 52 im Anh.) bzw. ein besonders hohes Überwärmungspotenzial aufgrund der umgebenden Siedlungsstrukturen auf (URBAHT-Wert).

Das denkmalgeschützte Gebäude weist ein bis zu 65 cm mächtiges Mauerwerk auf. Dach- und Kellergeschoss verfügen über eine Klima-/Lüftungsanlage. Die Fläche sonnenexponierter Fenster ist relativ gering (Abb. 51 im Anh.) und die Außenfassade hat eine optimale Farbe bzw. Beschaffenheit bzgl. der Albedo (Bild 1). Die Mehrzahl der Klassenräume befindet sich auf der stark sonnenexponierten Südseite des Gebäudes (Bild 1), wobei alle Fenster ausschließlich, aus Gründen des Denkmalschutzes, mit Innenjalousien versehen sind. Besonders auf der Südseite ist an heißen Tagen, nach Aussage der Schulleitung, ab dem fortgeschrittenen Vormittag „konzentriertes Arbeiten nur noch schwer möglich“. An Tagen, an denen „Hitzefrei“ gegeben wird, stellen die Klassenräume zugleich die Horträume dar, da keine sonstigen (kühleren) Ausweichmöglichkeiten existieren.



Die Westschule ist unter den im Rahmen dieser Studie untersuchten Grundschulen diejenige mit der höchsten Kinderzahl und zugleich kleinsten Außenfläche. Daraus resultieren ein sehr begrenzter Aufenthaltsbereich bzw. nur begrenzt nutzbare Schattenflächen für die Kinder und gleichzeitig ein sehr großer Nutzungsdruck auf den Außenbereich (Abb. 50 im Anh.). In der Konsequenz ergibt sich dadurch für die Westschule einerseits ein sehr hoher Versiegelungsgrad (Abb. 54 im Anh.), da die Kinder sich witterungsunabhängig im Außenbereich bewegen sollen, was nur auf überwiegend versiegelten Flächen gewährleistet werden kann. Andererseits weist der übrige (unversiegelte) Außenbereich kaum vitale Grünflächen auf (Abb. 53 im Anh.), da diese aufgrund des hohen Nutzungsdrucks stark in Mitleidenschaft gezogen werden und entsprechend wenig funktional (in Bezug auf Verdunstungskühlung) sind (Bild 2). Auch der relativ kleine Schulgartenbereich (Bild 3) kann aufgrund des hohen Nutzungsdrucks nicht als Aufenthaltsbereich genutzt werden. Der nördliche sowie der südliche Schulhof sind in den Sommermonaten stark sonnenexponiert. Von besonderer Bedeutung sind diesbezüglich die stattlichen Baumreihen entlang der Grundstücksgrenzen zur August-Bebel- bzw. Loderstraße zu nennen (Bild 4), welche aufgrund ihrer Größe und ihres Kronenvolumens eine Teilbeschattung beider Hofflächen generieren. Eine Vielzahl der dort befindlichen Bäume, v. a. Berg-Ahorne und Linden, lässt jedoch eine teils deutlich herabgesetzte Vitalität (Abb. 55 im Anh.) erkennen (Bild 5). Als positiver Ansatz für den Außenbereich ist die kleine Sitzgruppe mit Hainbuchen im südlichen Schulhof (Bild 6) mit wassergebundener Decke und schattigen Sitzgelegenheiten zu sehen. Eine Prädisposition bzgl. zu erwartender Beeinträchtigungen durch bodennahes Ozon besteht im Wesentlichen durch das hohe Überwärmungspotenzial am Standort (Abb. 52 im Anh.). Anthropogene und biogene Emissionsquellen für Ozonvorläufersubstanzen sind hingegen nur wenig ausgeprägt (Abb. 56 und Abb. 57 im Anh.).



Bild 3



Bild 4

Handlungsempfehlungen:

Zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität im Innenbereich sollten zumindest die Klassen- und Funktionsräume auf der Südseite des Gebäudes (Bild 1) mit effektiven Außenjalousien versehen werden (H1). Dazu müsste eine Kompromissfindung mit den Belangen des Denkmalschutzes angestrebt werden.

Die wirkungsvollste Maßnahme zur Vorsorge gegenüber einer klimawandelbedingten Zunahme von Wärmebelastung im Außenbereich wäre eine Erweiterung des Geländes und damit eine Reduzierung des Nutzungsdrucks auf die bestehenden Freiflächen. Diesbezüglich sollte geprüft werden,

inwiefern der angrenzende Grünzug „Lommerweg“ (im Hintergrund von Bild 6) als Aufenthaltsbereich in den Schulalltag („Grünes Klassenzimmer“) integriert werden könnte (H2).

Das Großgrün entlang der Grundstücksgrenzen erfüllt eine wichtige Kühlungsfunktion für Teile des Außenbereichs und sollte daher erhalten und nach Möglichkeit erweitert bzw. verdichtet werden (H3). Bei künftigen Ersatzpflanzungen sollte die Dimension der Bäume (Höhe, Kronenvolumen) beibehalten werden und sukzessive auf trocken- und strahlungstolerantere Baumarten, wie Weiß-Esche,



Bild 5

Robinie, Pyramiden-Pappel (in enger Reihung), Stiel- oder Zerr-Eiche, umgestellt werden.

Da sich der Außenbereich durch ein hohes Überwärmungspotenzial und zugleich wenig Schattenmöglichkeiten für eine vergleichsweise große Zahl an Kindern auszeichnet, sollten für die Sommermonate zumindest Wasserelemente (z. B. Außenduschen) zur Minderung der Belastungssituation auf beiden Hofseiten vorgesehen werden (H4).

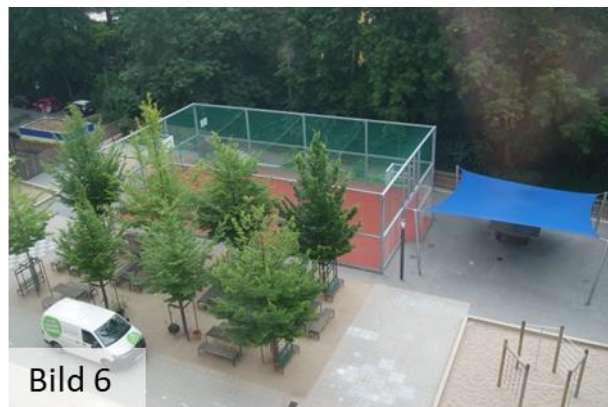


Bild 6

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Wärmebelastung für die Bevölkerung wird sich im Zuge der projizierten klimatischen Veränderungen verstärkt zu einem gesamtgesellschaftlichen Problem insbesondere im urbanen Kontext entwickeln. In verschiedenen Handlungsfeldern (u. a. Gesundheitswesen, Wasserwirtschaft, Bauwesen) müssen daher präventive Strategien und Maßnahmen erarbeitet werden. Die Stadt Jena und deren Eigenbetrieb Kommunale Immobilien Jena (KIJ) sowie das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (THINK GmbH) unternehmen mit der vorliegenden Pilotstudie einen innovativen Vorstoß, die Betroffenheit durch Wärmebelastung zu identifizieren und zu bewerten und legen dabei den Fokus auf eine Bevölkerungsgruppe, die aus verschiedenen Gründen (vgl. Kap. 1.2) als besonders vulnerabel gegenüber Hitze gilt. Zugleich wurden räumlich konkrete Maßnahmenempfehlungen erarbeitet, deren Berücksichtigung bei zukünftigen Sanierungsvorhaben zu einer Verbesserung der Aufenthaltsqualität führen sollte. Die Studie und deren Ergebnisse zeigen auf, dass einerseits eine Vielzahl unterschiedlicher Faktoren zur Verstärkung bzw. Abschwächung von Wärmebelastung beitragen. Andererseits bestehen teils deutliche Unterschiede bzgl. der Ausstattung von Kitas und Grundschulen hinsichtlich bestehender Präventionsmaßnahmen gegenüber Wärmebelastung.

In der Pilotstudie wurden erste Ideen und vielversprechende methodische Ansätze zur Quantifizierung von Wärmebelastung an konkreten Lokalitäten zu einem Bewertungsschema kumuliert und angewendet. Die Resultate erlauben somit eine Lokalisierung und Bewertung von Betroffenheiten sowie eine Priorisierung konkreter Maßnahmenvorschläge für den künftigen kommunalen Planungsprozess. Will man diesen wichtigen und vielversprechenden Ansatz jedoch standardisieren und damit räumlich wie thematisch übertragbar machen, ist eine vertiefende Betrachtung bzw. Erweiterung der Einflussfaktoren auf Wärmebelastung zwingend nötig. Angesichts der aktuell eher gedämpften Erfolge im Klimaschutz empfiehlt es sich allerdings, diesen Prozess fortzuführen und um weitere Aspekte (z. B. Sensibilisierung der Öffentlichkeit, Erstellung eines Hitze-Risikomanagements) zu erweitern.

Literatur

- Brasseur, G. P.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (2016): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (2013): Abschätzung der Verwundbarkeit von Bevölkerung und Kritischen Infrastrukturen gegenüber Hitzewellen und Starkregen. Praxis im Bevölkerungsschutz, Band 11, Auflage 09/2013, Bonn.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)/ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.) (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Wirkfolgen des Klimawandels. BBSR-Online-Publikation 23/2009. urn:nbn:de:0093-ON2309R153.
- Dörfer, S. (2004): Stadtklimatische Untersuchungen im Raum Jena. Diplomarbeit, unveröffentlicht. Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2017): Wetterlexikon: Wärmebelastung. (www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102936&lv3=103032; letzter Zugriff: 16.11.2017).
- D'Ippoliti, D.; Michelozzi, P.; Marino, C.; de Donato, F.; Menne, B.; Katsouyanni, K.; Kirchmayer, U.; Analitis, A.; Medina-Ramón, M.; Paldy, A.; Atkinson, R.; Kovats, S.; Bisanti, L.; Schneider, A.; Lefranc, A.; Iniguez, C.; Perucci, C.A. (2010): The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environmental Health* 9: 37.
- Fiore, A.M.; Naik, V.; Spracklen, D.V.; Steiner, A.; Unger, N.; Prather, M.; Bergmann, D.; Cameron-Smith, P.J.; Cionni, I.; Collins, W.J.; Dalsøren, S.; Eyring, V.; Folberth, G.A.; Ginoux, P.; Horowitz, L.W.; Josse, B.; Lamarque, J.-F.; MacKenzie, I.A.; Nagashima, T.; O'Connor, F.M.; Righi, M.; Rumbold, S.T.; Shindell, D.T.; Skeie, R.B.; Sudo, K.; Szopa, S.; Takemura, T.; Zeng, G. (2012): Global air quality and climate. *Chem. Soc. Rev.*, 41: 6663-6683.
- Gebhardt, O.; Meyer, V. (2015): BASE – Bottom-Up Climate Adaption Strategies Towards a Sustainable Europe, Subgroup: Cities & Infrastructure, case study: Mainstreaming climate change adaption into urban planning in (Jena, Germany). (http://base-adaptation.eu/sites/default/files/case_studies/11_Jena_CS1D.pdf; letzter Zugriff: 08.09.2017).
- Hewitt, C.N.; Street, R.A. (1992): A qualitative assessment of the emission of non-methane hydrocarbon compounds from the biosphere to the atmosphere in the U.K.: Present knowledge and uncertainties. *Atmospheric Environment*, 26: 3069-3077.
- Hofmann, K.; Bivour, W.; Früh, B.; Koßmann, M.; Voß, P.-H. (Hrsg.: Deutscher Wetterdienst) (2014): Klimauntersuchungen in Jena für die Anpassung an den Klimawandel und seine erwarteten Folgen: Ein Ergebnisbericht. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band 243. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013): Summary for policymakers. In: Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (Hrsg.): *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Jacob, D. J.; Winner, D. A. (2009): Effect of Climate Change on Air Quality. *Atmospheric Environment* 43: 51-63.
- Jenaer Klima-Anpassungs-Strategie (JenKAS) (2017): JenKAS – Die Jenaer Klima-Anpassungs-Strategie: Aktuelles. (www.jenkas.de; letzter Zugriff: 01.09.2017).
- Kuttler, W. (2004): Stadtklima, Teil 2: Phänomene und Wirkungen. In: Möller, D. (2004): Beitragsreihe: Klimaänderung und Klimaschutz. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox*, 16: 263-274.
- Pacifico, F.; Harrison, S.P.; Jones, C.D.; Sitch, S. (2009): Isoprene emissions and climate. *Atmospheric Environment*, 43: 6121-6135.
- Phelan, P.E.; Kaloush, K.; Miner, M.; Golden, J.; Phelan, B.; Silva, H.; Taylor, R.A. (2015): Urban Heat Island: Mechanisms, Implications, and Possible Remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 40: 285-307.
- Roloff, A. (2001): Baumkronen – Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Scherber, K.; Endlicher, W.; Langner, M. (2013): Spatial analysis of hospital admissions for respiratory diseases during summer months in Berlin taking bioclimatic and socio-economic aspects into account. *Die Erde* 144: 217-237.
- Scherer, D.; Fehrenbach, U.; Lakes, T.; Lauf, S.; Meier, F.; Schuster, C. (2014): Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. *Die Erde*: 144: 238-259.
- Stadt Jena (Hrsg.) (2012): Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena, ExWoSt-Modellprojekt Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS. Schriften zur Stadtentwicklung Nr. 3. Jena.
- Stadt Jena (Hrsg.) (2016): Bäume in Jena – Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel; Stadtbaumkonzept Jena. Schriften zur Stadtentwicklung Nr. 7. Jena.
- TMLNU - Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (Hrsg.) (2001): Luftreinhalteplan Jena und südliches Umland. Erfurt.
- Wagner, T. (1915): Das Klima von Jena. Jena.
- Wagner, P. (2014): Analyse von biogenem und anthropogenem Isopren und seiner Bedeutung als Ozonvorläufersubstanz in der Stadtatmosphäre. In: Essener Ökologische Schriften, Band 34, Westarp-Wissenschaften.
- Xu, Z.; Sheffield, P.; Su, H.; Wang, X.; Bi, Y.; Tong, S. (2014): The impact of heat waves on children's health: a systematic review. *International Journal of Biometeorology*, 58, 239-247.

Anhang

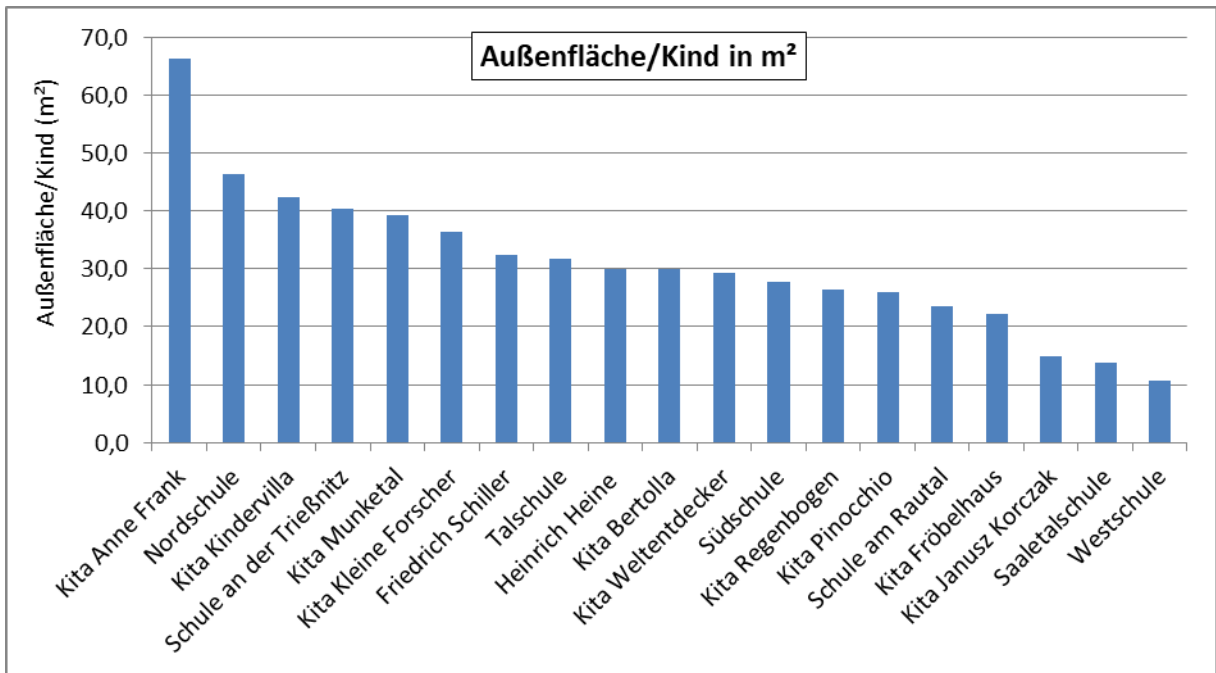


Abb. 50: Rechnerisch zur Verfügung stehende Außenfläche je Kind in den betrachteten Einrichtungen in m².

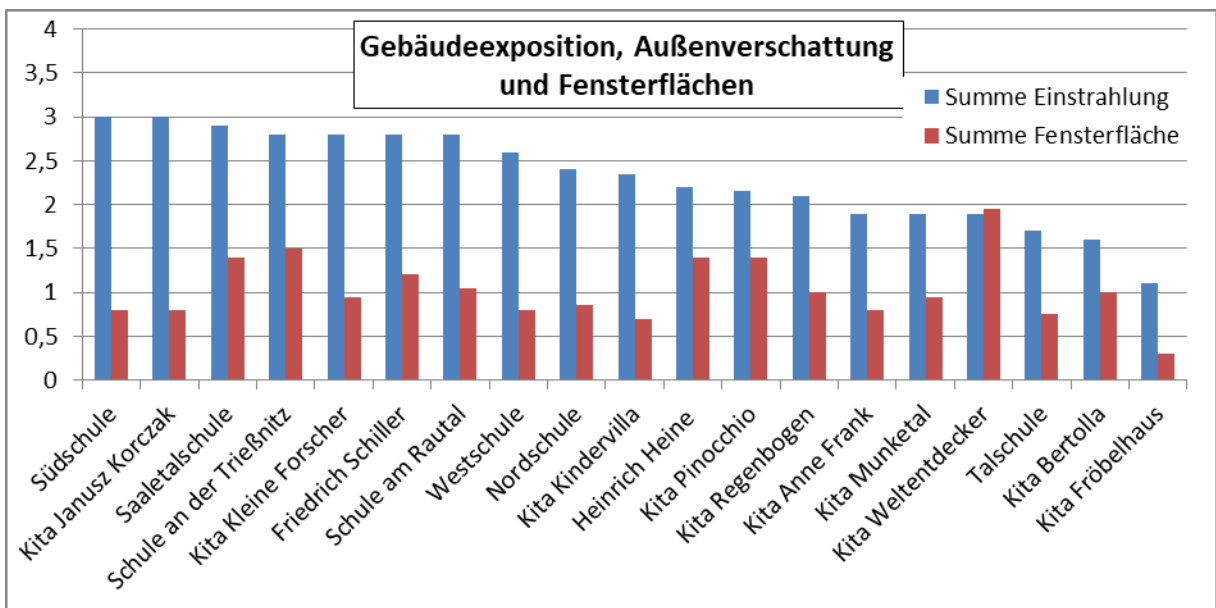


Abb. 51: Ergebnis der Betrachtung der Wirkfaktoren Gebäudeexposition und Außenverschattung sowie Fensterflächen nicht beschatteter Außenwände (vgl. Tab. 1) auf einer dimensionslosen Skala.

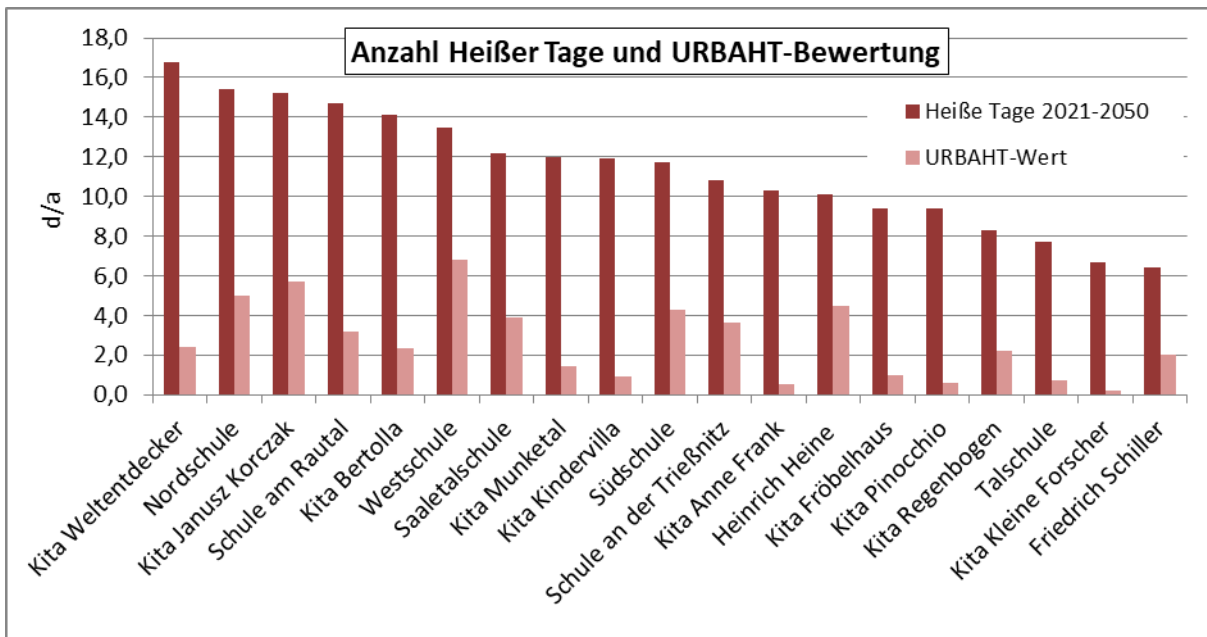


Abb. 52: Ergebnis der Betrachtung der Wirkfaktoren (vgl. Tab. 1) Mittlere Anzahl Heiße Tage pro Jahr im Zeitraum 2021-2050 (d/a) sowie URBAHT-Bewertung (dimensionslos).

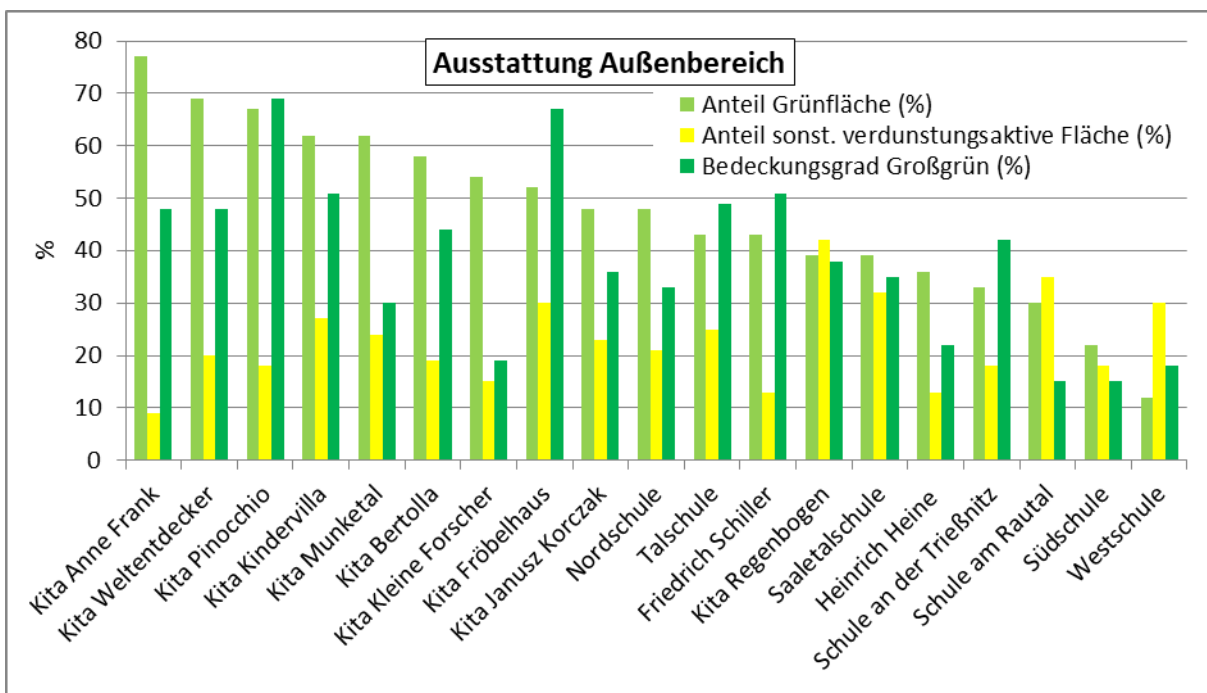


Abb. 53: Ergebnis der Betrachtung der Resilienzfaktoren Anteil Grünfläche an Außenfläche, Anteil sonstige verdunstungsaktive Fläche sowie Bedeckungsgrad Großgrün jeweils in % (vgl. Tab. 1).

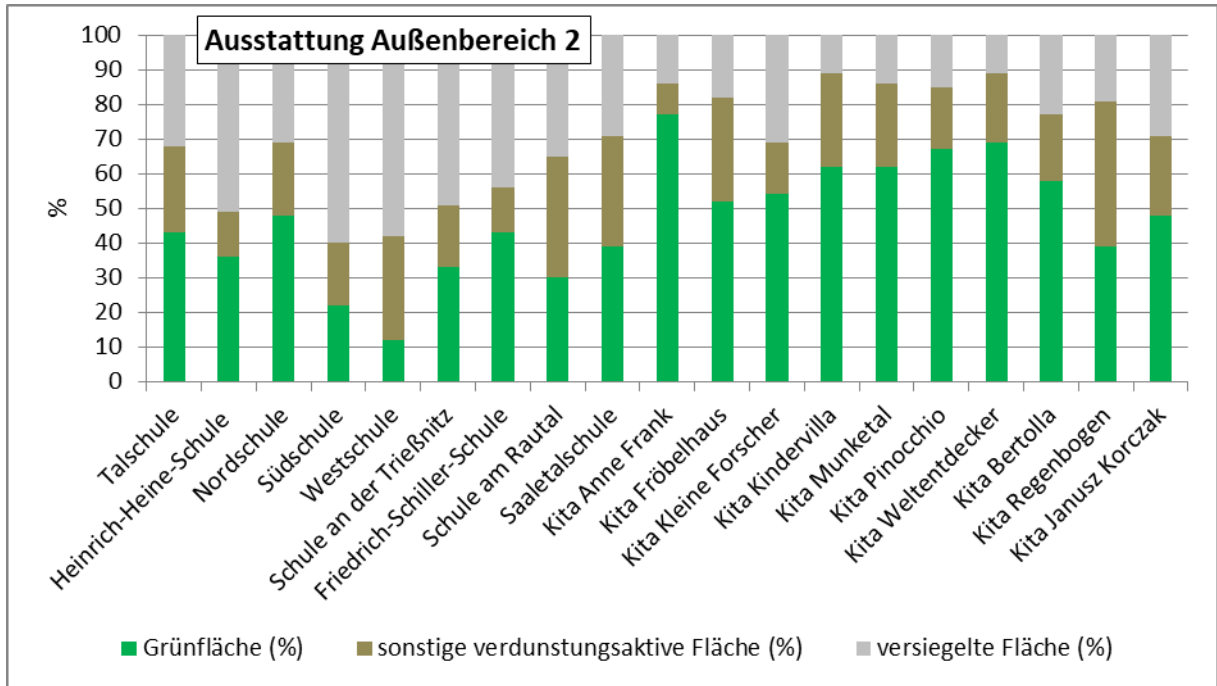


Abb. 54: Ergebnis der Betrachtung der Resilienzfaktoren Anteil Grünfläche und Anteil sonstiger verdunstungsaktiver Fläche sowie der resultierende Anteil versiegelter Fläche im Außenbereich in % (vgl. Tab. 1).

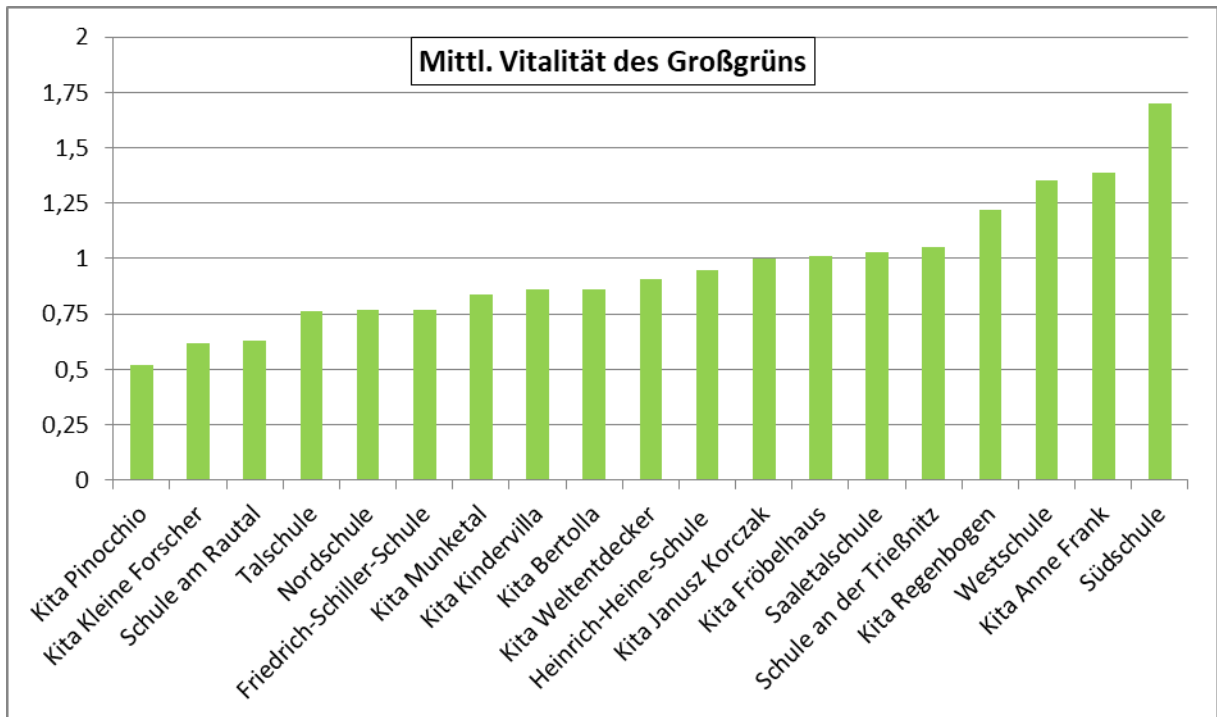


Abb. 55: Ergebnis der Betrachtung des Resilienzfaktors Mittlere Vitalität des Großgrüns (vgl. Tab. 1). Die Beurteilung der Vitalität von Bäumen erfolgt anhand einer Skala von 0 (gesund bis leicht geschädigt) bis 4 (absterbend bis tot) entsprechend Roloff (2001).

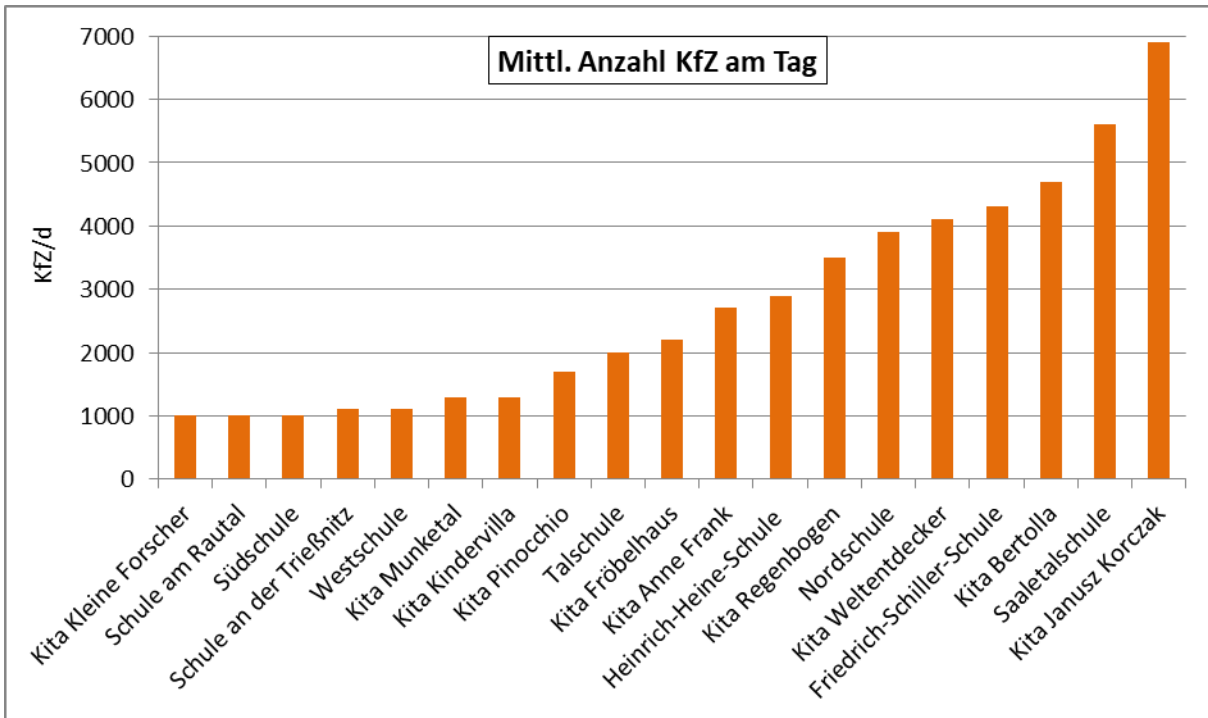


Abb. 56: Ergebnis der Betrachtung des Wirkfaktors Anzahl Kfz pro Tag (vgl. Tab. 1).

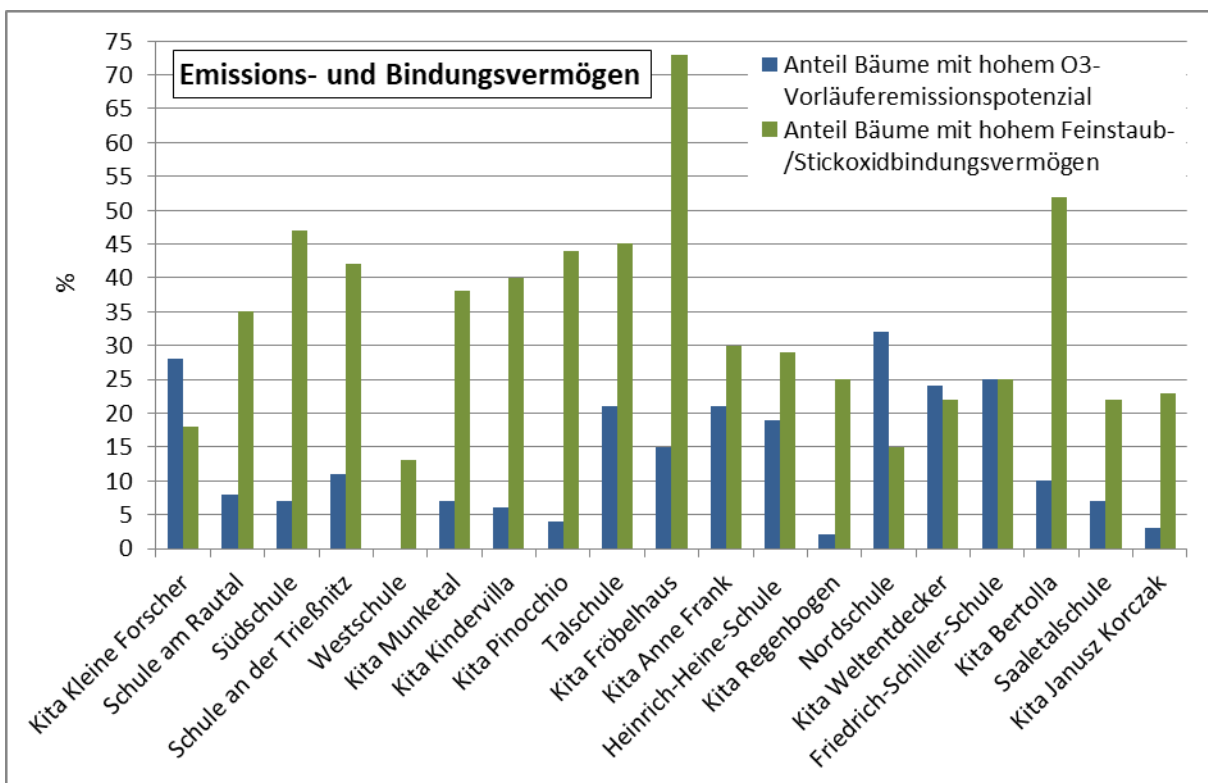


Abb. 57: Ergebnis der Betrachtung des Wirk- bzw. Resilienzfaktors Anteil Bäume mit hohem O₃-Vorläuferemissionspotenzial bzw. Anteil Bäume mit hohem Feinstaub-/Stickoxidbindungsvermögen in % (vgl. Tab. 1).

Tab. 3: Zusammenstellung wichtiger Baumarten mit hohem Feinstaub- bzw. Stickoxidbindungsvermögen auf der Grundlage des Jenaer Stadtbaumkonzeptes (Stadt Jena 2016).

Ausgewählte Baumarten mit hohem Feinstaubadsorptions- oder Stickoxidabsorptionsvermögen	
Acer platanoides, Spitz-Ahorn	Fraxinus angustifolia, Schmalbl. Esche
Acer pseudoplatanus, Berg-Ahorn	Fraxinus ornus, Blumen-Esche
Aesculus hippocastanum, Gem. Rosskastanie	Fraxinus pennsylvanica, Rot-Esche
Aesculus carnea, Rotbl. Rosskastanie	Ginkgo biloba, Ginkgo
Alnus cordata, Herzblättrige Erle	Gleditsia triacanthos, Gleditschie
Alnus glutinosa, Schwarz-Erle	Liriodendron tulipifera, Am. Tulpenbaum
Alnus incana, Grau-Erle	Liquidambar styraciflura, Amberbaum
Alnus spaethii, Spaeths-Erle	Populus alba, Silber-Pappel
Betula pendula, Sand-Birke	Pterocarya fraxinifolia, Kauk. Flügelnuss
Carpinus betulus, Gew. Hainbuche	Quercus robur, Stiel-Eiche
Corylus colurna, Baum-Hasel	Salix caprea, Sal-Weide
Crataegus lavalleyi, Lederbl. Weißdorn	