



VORWISSENSCHAFTLICHE ARBEIT

Grüne Architektur – Methoden zur nachhaltigen Stadtentwicklung anhand der Beispiele Singapur und Wien

verfasst von

Lisa Wagner

Klasse 8cn

betreut von

Mag. Sonja Adomeit

WRG Salzburg

Josef-Preis-Allee 5

5020 Salzburg

Salzburg, Februar 2023

Abstract

Schätzungen zufolge werden im Jahr 2050 drei Viertel der Weltbevölkerung in urbanen Regionen leben. Derzeit prägen versiegelte Betonflächen das durchschnittliche Stadtbild und verstärken den Hitzeinsel-Effekt, der zu immer höheren Temperaturen und Tropennächten führt. Aktuell sind jedoch die wenigsten Städte auf solch drastische Klimaveränderungen vorbereitet. Dazu kommt der enorme Energieverbrauch, der schon heute den Städten zuzuschreiben ist.¹

Die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden der grünen Architektur sind Lösungen zu den genannten Problemen. Mittels Begrünung, Flächenentsiegelung sowie energieeffizienten Bauweisen und Materialien können sowohl die Temperaturen als auch der CO₂-Ausstoß der Städte gesenkt werden. Auch zum sparsamen Umgang mit Wasser kann nachhaltige Gebäudeplanung einen entscheidenden Beitrag leisten. All diese Methoden machen Städte langfristig ökologischer und widerstandsfähiger für die Auswirkungen des Klimawandels. Umwelt und Ressourcen werden so geschont und das menschliche Wohlbefinden erhöht. Die Beispielprojekte aus Wien und Singapur zeigen die vielfältigen Möglichkeiten, welche sich bei ihrer Umsetzung und ihrem Design bieten. Dabei wird ersichtlich, dass Nachhaltigkeit nicht auf Kosten der Ästhetik gehen muss.

¹ vgl. Schauenberg, Tim: Heiße Zukunft für Städte. Ist Abkühlung möglich? 02.08.2019.
<https://www.dw.com/de/hei%C3%9Fe-zukunft-f%C3%BCr-st%C3%A4dte-ist-abk%C3%BChlung-m%C3%B6glich/a-49793654> [Zugriff: 13.01.2023, 14:50]

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Begriffsdefinitionen	5
2.1. Grüne Architektur	5
2.2. Green Buildings	5
2.3. Passivhaus	5
2.4. Life-Cycle-Engineering	6
2.5. Nachhaltige Stadtentwicklung – Ziele und Voraussetzungen	6
3. Methoden	7
3.1. Begrünung	7
3.1.1. Grünflächen	7
3.1.2. Innenhofbegrünung	8
3.1.3. Dachbepflanzung	8
3.1.4. Fassadenbegrünung	9
3.2. Energiehaushalt	10
3.2.1. Dämmung	12
3.2.2. Heizen & Kühlen	13
3.2.3. Lüftung & Strom	14
3.3. Wasserbewirtschaftung	15
3.3.1. Verminderung der Hochwassergefahr	15
3.3.2. Regenwassernutzung	15
3.3.3. Bewirtschaftung des Abwassers	16
3.4. Holz als Baumaterial	17
3.5. Bodenpolitik und Nachverdichtung	17
4. Aktuelle Beispielprojekte	19
4.1. Singapur	19
4.1.1. Parkroyal Collection Pickering	19
4.1.2. Jewel Changi Airport, Singapur	21
4.1.3. National Gallery, Singapur	23
4.2. Wien	25
4.2.1. Stadtquartier „Viertel Zwei Plus“	25
4.2.2. Seestadt Aspern	26
5. Auswirkungen	28
6. Fazit	29
7. Literaturverzeichnis	30
8. Abbildungsverzeichnis	32

1. Einleitung

Durchschnittlich verbringen Menschen im Globalen Norden 90% ihrer Zeit in Gebäuden. Diese Gebäude, die zum Wohnen, Arbeiten und für die Freizeitgestaltung genutzt werden, verbrauchen sowohl im Bau als auch im späteren Betrieb mitunter den Großteil des gesamten weltweiten Energieaufwandes. Der Gebäudesektor ist damit durchaus für mehr CO₂-Emissionen verantwortlich als die in der Klimadebatte stärker vertretenen Bereiche Verkehr oder Ernährung. Dazu kommt das Problem überhitzter Städte, was mit den herkömmlichen Bauweisen nur noch verstärkt wird. Doch muss das in Zukunft so bleiben? Welche Technologien und Methoden für eine nachhaltigere Stadtentwicklung liefert die Architektur? Was kann mit deren Einsatz tatsächlich erreicht werden? Mit diesen Fragestellungen zum Thema „Grüne Architektur“ beschäftigt sich die gegenständliche vorwissenschaftliche Arbeit.

Als Beispielstädte wurden Singapur und Wien gewählt; die ausgesuchten Projekte zeigen erfolgreiche Umsetzungen der erklärten Methoden ohne den geringsten Verzicht im Hinblick auf Nutzen, Design und Ästhetik. Ziel der Arbeit ist es, einen Überblick über und ein gewisses Bewusstsein für ein der breiten Masse noch recht unzugängliches Thema zu schaffen. Bei der dazu verwendeten Methode handelt es sich um eine reine Literaturrecherche. Neben Büchern werden auch einige Websites als Quellen herangezogen, darunter die offizielle Homepage des „WOHA“-Architekturteams, um für ausreichend aktuelle Informationen zu sorgen, vor allem zu den Projekten.

Der Hauptteil gliedert sich grob in vier Kapitel. Nach Definition und Erklärung der wichtigsten Begriffe folgen eine Auswahl der existierenden Methoden zur nachhaltigeren Architektur. Dabei werden die Bereiche Begrünung, Energiehaushalt, Wasserbewirtschaftung, Holz als Baumaterial sowie Bodenpolitik und Nachverdichtung beleuchtet. Danach werden fünf aktuelle Beispielprojekte vorgestellt, davon drei in Singapur und zwei in Wien. Das letzte Kapitel beschäftigt sich schließlich mit den Auswirkungen, die grüne Architektur tatsächlich auf das Klima haben kann.

2. Begriffsdefinitionen

Um Technologien und Ansätze, welche in dieser Arbeit erläutert werden, besser zu verstehen, sind ein paar grundlegende Ausdrücke essenziell. Die wichtigsten werden im Folgenden erklärt.

2.1. Grüne Architektur

Die Grüne Architektur setzt sich im Allgemeinen mit einer möglichst klima- und ressourcenschonenden Konstruktion von einzelnen Gebäuden oder auch ganzen Vierteln und Städten auseinander. Wichtig dabei sind sowohl die Materialien als auch Energieversorgung, Langlebigkeit und Design. Man spricht auch von einer nachhaltigen Bauweise, bei der aber praktische und ästhetische Aspekte nicht zu kurz kommen dürfen.²

2.2. Green Buildings

Als Green Buildings werden Gebäude bezeichnet, deren Bauweise natürliche Ressourcen bestmöglich schonen soll. Für Mensch und Natur unbedenkliche Materialien sind dabei ebenso wichtig wie komfortable Raumlösungen, reduzierter Energiebedarf und Nutzung von erneuerbaren Energien. Auch auf langlebige Konstruktion und wirtschaftlichen Betrieb mithilfe moderner Simulationswerkzeuge wird Wert gelegt.³

2.3. Passivhaus

Passivhäuser bieten, unabhängig von der Jahreszeit einen hohen Komfort bei minimalem Energieverbrauch. Meist kann in solchen Wohnhäusern sogar gänzlich auf ein Heizverteilersystem verzichtet werden. Dies gelingt über eine luft- und winddichte, sowie optimal wärmedämmte Gebäudehülle mit dreifachverglasten Fenstern, um den Wärmeverlust um bis zu 80-90% zu minimieren, jedoch die Sonnenenergie bestmöglich zu nutzen. Der restliche Heizwärmebedarf wird möglichst über die Lüftung gedeckt. Folgende Grenzwerte gelten für Passivhäuser:

Ein Jahresheizwärmebedarf von maximal 15 kWh/(m²a).

Die Primärenergiekennzahl für Restheizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsstrom muss unter 95 kWh/(m²a) liegen.

² vgl. Bauer; Möslle; Schwarz: Green Building. Konzepte für nachhaltige Architektur. München: Callwey 2007.

³ vgl. Bauer; Möslle; Schwarz: Green Building. Konzepte für nachhaltige Architektur. München: Callwey 2007. S.16

Ein Infiltrationsluftwechsel bei 50pa, kleiner als 0,6/h.⁴

2.4. Life-Cycle-Engineering

Dieser Ausdruck beschreibt ein „*ganzheitliches Planungs- und Beratungs-Know-how, mit dem Konzepte und Planungsentscheidungen stets mit ihren Auswirkungen auf den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes bewertet werden*“ (Bauer; Möhle; Schwarz; Green Building. S. 16). Anders gesagt werden bei dieser Art der Planung neben dem Bau an sich auch der fortlaufende Betrieb bis hin zur Verwertung der Materialien berücksichtigt. Durch die langfristige Perspektive wird eine optimale Ressourcenschonung erzielt.⁵

2.5. Nachhaltige Stadtentwicklung – Ziele und Voraussetzungen

Die allgemeinen Intentionen der grünen Architektur in Bezug auf einzelne Gebäude werden bei der Stadtentwicklung noch um Aspekte wie Luftqualität, Verkehr, Abfallwirtschaft, Bebauungsdichte, soziale und ökonomische Angelegenheiten ergänzt. Zu den Zielen gehören die Erhaltung von Land- und Forstwirtschaftsgebieten und Erholungsflächen, der Schutz des Bodens und der Ökosysteme, ein vielfältiges Angebot an Aktivitäten, genauso wie eine soziale Mischstruktur innerhalb der Viertel. Dazu kommen noch die Erhaltung des architektonischen Erbes und der Schutz vor natürlichen und technologischen Risiken. Einer der wichtigsten Punkte ist die Hitzereduktion im Sommer, die durch Begrünung und andere bauliche Maßnahmen erreicht werden können. Durch weltweite Zusammenarbeit sollen, mittels ökologischer Stadtplanung, auch die globalen CO₂-Emissionen reduziert werden. Es ist also ein ganzheitliches Konzept, basierend auf den drei Säulen der Nachhaltigkeit: Ökologie, Ökonomie und Soziologie. In dieser Arbeit sind mit dem Begriff „nachhaltige Stadtentwicklung“ aber ausschließlich Ansätze und Maßnahmen im Bereich der Ökologie gemeint, die Betrachtung der anderen Bereiche würde den Rahmen sprengen.⁶

Für das Gelingen einer klimafreundlichen Entwicklung braucht es die Tatkraft und Überzeugung von Stadträten, Gemeindeverwaltung, Unternehmen, Organisationen, Schulen, Universitäten und deren Bereitschaft, zusammenzuarbeiten. Des Weiteren ist eine aktive Bürgerbeteiligung notwendig. Um geplante Vorhaben schließlich zu realisieren, müssen

⁴ vgl. Carsten Grobe Passivhaus: Der Passivhausstandard. <https://www.passivhaus.de/passivhaus/> [Zugriff: 08.11.2022, 20:52]

⁵ vgl. Bauer; Möhle; Schwarz: Green Building. Konzepte für nachhaltige Architektur. München: Callwey 2007. S.16

⁶ vgl. Gauzin-Müller: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Basel: Birkhäuser 2002. S. 34, 35, 39

Fachleute im Bereich Technik, Architektur, Stadtplanung, Ingenieurwesen und Landschaftsplanung mobilisiert und die Projekte möglichst rentabel finanziert werden.⁷

3. Methoden

Um ein Gebäude, eine Anlage oder eine ganze Stadt klimafreundlicher zu gestalten, gibt es verschiedene Herangehensweisen, die erst in Kombination miteinander ihre beste Wirkung entfalten können.

3.1. Begrünung

Der wohl geläufigste Weg zur Grünen Stadt ist die Bepflanzung verschiedener, ansonsten asphaltierter oder betonierter Flächen. Diese Methode ist von allen meist nach außen am besten sichtbar und hat den größten Einfluss auf Design und Optik eines Gebäudes.

3.1.1. Grünflächen

Die Erhaltung von größeren Grünflächen rund um sowie in Städten und die Renaturierung der Flussufer (darunter versteht man etwa den Abbau künstlicher Begradigungen) sind wichtige Beiträge zur ökologischen urbanen Entwicklung und schützen Artenvielfalt und natürliche Vegetation. Das Stadtklima und die Luftqualität werden dadurch ebenfalls verbessert. Die Bäume binden Kohlenstoff, Feinstaub und schädliche Gase wie zum Beispiel CO₂ und setzen wiederum Sauerstoff frei. Dabei kann 1ha Wald über das Jahr durchschnittlich 50t Staub absorbieren. Das über die Wurzeln aufgenommene Wasser wird über die Blätter wieder abgegeben, was die Stadtluft befeuchtet und im Sommer eine Kühlung von 1°C bis 4°C bewirken kann. Durch die natürliche Vegetation wird das Wasser dazu veranlasst, langsam zu versickern, es wird gereinigt und kann teilweise ins Grundwasser gelangen, was bei versiegelten Flächen wie Asphalt nicht der Fall ist. Geräuschminimierung und Schutz vor Erosion sowie das Wohlbefinden der BewohnerInnen sind andere positive Effekte von städtischen Grünflächen. Aus den genannten Gründen ist es wichtig, die Bodenversiegelung einzubremsen und stattdessen auf Verdichtungsmaßnahmen (siehe Kapitel 3.5.) zu setzen. Zusätzlich gilt es, durch landschaftsarchitektonische Projekte neue Grünflächen zu schaffen und in den urbanen Raum zu integrieren. Wie „grün“ eine Stadt ist, wird mittels der bepflanzten Fläche im Verhältnis zur

⁷ vgl. Gauzin-Müller: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Basel: Birkhäuser 2002. S. 39

Einwohnerzahl bestimmt. Entscheidend sind aber auch Parameter wie die Nutzung, Lage und das Verhältnis zur bebauten Fläche, ebenso wie die Art der Pflanzen, wobei Laubbäume am effizientesten die Luft verbessern und heimischen Arten der Vorrang gegeben werden sollte. Im Folgenden werden verschiedene Wege und Technologien beschrieben, um Vegetation in eine Stadt zu integrieren.⁸

3.1.2. Innenhofbegrünung

Die grüne Neugestaltung der Innenhöfe ist ein wirksamer Weg, das Mikroklima in dicht bebauten Stadtgebieten zu verbessern. Die beste Option ist eine Entsiegelung des Bodens mit anschließender Bepflanzung. Je nach Platz und gewünschter Nutzung können Bäume, Sträucher, (Gemüse-)Beete und Wiesenflächen geschaffen werden, wobei natürliche Gräser und Blumen dem klassischen Rasen vorzuziehen sind. Ist eine Entsiegelung nicht oder nur teilweise möglich, können Pflanzgefäße oder Hochbeete eine gute Lösung sein. Vertikale Bepflanzung, zum Beispiel an Fassaden, mittels einer Laube oder begrünten Pergola vereint die positiven Aspekte der Vegetation auf geringstem Raum.⁹

3.1.3. Dachbepflanzung

Neben allen bereits genannten positiven Einflüssen von Grünflächen auf das Mikroklima können Pflanzen auf dem Dach zur Dämmung des Gebäudes beitragen und so Energie und Treibhausgase eingespart werden. Zudem wird das Regenwasser zurückgehalten, es fließt langsamer ab und entlastet so Kanalisation, Bäche und Flüsse.¹⁰

Über die Eignung eines Daches für Begrünung entscheiden Tragfähigkeit und Neigung. Grundsätzlich wird zwischen intensiver und extensiver Dachbegrünung unterschieden. Die intensive Variante bietet zahlreiche weitere Designmöglichkeiten, bei der Pflanzenauswahl sind kaum Grenzen gesetzt und auch Wasserinstallationen sind möglich. Die benötigte Aufbauhöhe beträgt mindestens 20cm. Weitaus pflegeleichter gestaltet sich jedoch die extensive Bepflanzung mit widerstandsfähigen Sorten, die im Durchschnitt nur etwa ein- bis zweimal pro Jahr gepflegt werden muss. Sie beginnt bei acht cm Aufbauhöhe und hat dementsprechend auch deutlich weniger Gewicht. Zur Bewässerung reicht hier in der Regel (und je nach Klimazone)

⁸ vgl. Gauzin-Müller: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Basel: Birkhäuser 2002. S. 54

⁹ vgl. Die Umweltberatung: Innenhofbegrünung. Vorteile für Mensch und Umwelt.

<https://www.umweltberatung.at/innenhofbegrueung> [Zugriff: 7.8.2022, 17:17]

¹⁰ vgl. Gauzin-Müller, Dominique: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Konzepte, Technologien, Beispiele. Basel: Birkhäuser 2002. S. 53

das Regenwasser. Zudem ist diese Methode auch auf nur bedingt geeigneten Dächern umsetzbar.¹¹

Vor der Bepflanzung ist ein korrekter Schichtenaufbau essenziell, dabei ist darauf zu achten, dass die Wurzeln keinesfalls direkt mit dem Dach in Berührung kommen. Bewährt hat sich eine unterste Schicht aus Vlies, darüber ein Durchwurzelungsschutz aus Kunststoff, darauf je nach geplantem Vorhaben erneut eine Vliesschicht oder Beton. Danach folgt eine Dränschicht aus Dränmatten oder Kies- bzw. Vulkansplit zur korrekten Wasserableitung, die durch eine durchwurzelbare Textilschicht ergänzt wird. Erst jetzt kann die gewünschte Erde aufgetragen werden, die jedoch nicht zu viel Wasser speichern darf.¹²

Bei intensiver Begrünung kann zusätzlich noch ein Bewässerungssystem nötig sein, das bei großen Projekten mitunter in den Schichtenaufbau integriert ist. Ansonsten wird es in Form von Schläuchen oder Sprinkleranlagen angebracht, es sei denn, die Pflanzen können von Hand gegossen werden.¹³

Die Art der Pflanzen beschränkt sich bei extensiver Begrünung meist auf winterharte Sukkulenten und Kräuter. Bei der intensiven Herangehensweise können so gut wie alle, auch nicht winterharten Gewächse zum Einsatz kommen, die für die gegebene Aufbauhöhe nicht zu tief wurzeln.¹⁴

3.1.4. Fassadenbegrünung

Die Fassade eines Hauses kann auf unterschiedliche Art und Weise begrünt werden. Gesprochen wird hier von boden-, trog-, oder wandgebundener Bepflanzung.

Bodengebunden sind Selbstklimmer sowie Kletterpflanzen, die entweder frei an der Mauer entlangwachsen oder durch Gerüste und Kletterhilfen geleitet werden. Zu den Selbstklimmern gehören beispielsweise Efeugewächse oder Wilder Wein, zu den Gerüstkletterpflanzen zählen etwa die Waldrebe, Kletterrosen, Blauregen und die Weinrebe. Verpflanzt werden die

¹¹ vgl: Rosina, Eva: Mit 8 Schritten zum grünen Dach. <https://www.stadt-wien.at/immobilien-wohnen/garten/dachbegruenung.html> [Zugriff: 7.8.2022, 18:05]; Grün statt Grau: Urban Greening. Technik. <https://gruenstattgrau.at/urban-greening/technik/> [Zugriff: 7.8.2022, 18:24]

¹² vgl: Rosina, Eva: Mit 8 Schritten zum grünen Dach. ; Grün statt Grau: Urban Greening. Technik.

¹³ vgl: Rosina, Eva: Mit 8 Schritten zum grünen Dach. ; Grün statt Grau: Urban Greening. Technik.

¹⁴ vgl: Rosina, Eva: Mit 8 Schritten zum grünen Dach. ; Grün statt Grau: Urban Greening. Technik.

Gewächse bei dieser Methode in den Boden entlang der Fassade. Von hier aus können manche Arten bis zu 30m hoch werden.¹⁵

Die troggebundene Variante besteht aus aneinander gereihten oder einzeln angebrachten Trögen, die, ähnlich der Dachbegrünung, im Inneren schichtweise aufgebaut sind. Gepflanzt werden hier ebenfalls Kletterpflanzen, die an der Mauer entlang nach oben ranken können.

Bei der wandgebundenen Bepflanzung kommen Kräuter, Gräser und Stauden zum Einsatz, die direkt in die Wand eingesetzt werden. Man spricht hierbei auch von „Living Walls“, die entweder über voll- oder nur teilflächige Vegetationsträger verfügen. Diese werden hinterlüftet an der Fassade angebracht, dämmen so das Gebäude und benötigen keinerlei Bodenkontakt. Fast immer ist dieses System mit automatischer Bewässerung und Nährstoffversorgung ausgestattet, die wiederum über Sensoren und moderne Steuerung funktioniert.¹⁶

3.2. Energiehaushalt

Öffentliche und private Gebäude, besonders deren Heizung, machen einen wesentlichen Teil des europäischen und globalen Energiebedarfs aus. Um den Verbrauch, bis hin zum Passivhaus, zu reduzieren und klimaschonender zu gestalten, sind für jedes Objekt individuelle Randbedingungen zu beachten. Je nach Klimazone werden andere Anforderungen gestellt. Außentemperatur, Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeiten und Niederschlag sind wichtige Faktoren und beeinflussen beispielsweise die ideale Dachform. Auch das Verhältnis zwischen Tag und Nacht und den Jahreszeiten muss berücksichtigt werden. Über Jahrhunderte haben sich in jeder Region angepasste Bauweisen entwickelt. So sind etwa Häuser im Schwarzwald für die markanten Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter mit stark isolierten Fassaden ausgestattet. Die Fenster sind einfachverglast, jedoch als Kastenfenster mit relativ geringer Fläche und Fensterläden vorhanden. So wird der Wärmeverlust im Winter und die Sonneneinstrahlung im Sommer minimiert. Die Dächer der Schwarzwaldhäuser sind steile Satteldächer, um größeren Schneelasten standzuhalten. Eine typische Konstruktion aus dem arabischen Raum sind Windtürme, auch „Badgir“. Sie sind nach der Windrichtung ausgerichtet und lassen kühle Luft ins Innere strömen, während warme Winde über das Gebäude geleitet werden. Die durchschnittlich sieben Meter hohen Türme sind über den eigentlich genutzten Räumlichkeiten angebracht und regulieren das Klima über

¹⁵ vgl. Grün statt Grau: Urban Greening. Technik. <https://gruenstattgrau.at/urban-greening/technik/> [Zugriff: 19.8.2022, 20:34]

¹⁶ Grün statt Grau: Urban Greening. Technik. vgl. <https://gruenstattgrau.at/urban-greening/technik/> [Zugriff: 19.8.2022, 20:34]

Öffnungen im oberen Bereich. Auch bei niedrigen Windgeschwindigkeiten trägt der Turm zur Ventilation bei, indem warme Luft wie durch einen Kamin nach oben abzieht.¹⁷

Auch innerhalb einer Klimazone müssen Bauprojekte dem Standort, besonders der dortigen Infrastruktur, angepasst werden. Verkehrsanbindung und Schadstoffbelastung sind wichtige Faktoren. Ökologisch vorteilhaft sind Grundstücke mit Zugang zu öffentlichen Verkehrsmitteln bzw. Straßen, um zusätzlichen Landschaftsverbrauch durch Zufahrten zu vermeiden. Auch Grundstücksgrößen sind energietechnisch relevant. Über die Geschossflächenzahl kann die vorhandene Fläche für verschiedene energieerzeugende Systeme angegeben werden. Sie beschreibt das Verhältnis von Geschossflächen und Grundstücksfläche, beträgt also bei einem fünfstöckigen Haus ohne umliegende unbebaute Fläche 5,0. Zur Erzeugung von Solarenergie könnte hier etwa nur die Dachfläche genutzt werden.¹⁸

$$\text{Geschossflächenzahl} = \frac{\text{Geschossgesamtfläche}}{\text{Grundstücksfläche}} \quad \text{z.B: } \frac{500\text{m}^2}{100\text{m}^2} = 5,0 \quad ^{19}$$

Einen weiteren Einfluss auf den Energiebedarf eines Bauobjektes hat dessen ideale Ausrichtung. Diese ist wiederum je nach Nutzungsart unterschiedlich. Fensterflächen und deren Sonneneinstrahlung können in Bürogebäuden weniger für passive Wärmegegewinnung genutzt werden, da ein ausreichender Blendschutz für Bildschirmarbeitsplätze nötig ist. Die durchschnittliche Raumtemperatur ist in Wohngebäuden zudem tendenziell um ein bis zwei Grad Celsius höher, was an anderer Kleidung und anderen ausgeführten Tätigkeiten als in Bürogebäuden liegt. Wohnräume benötigen je nach Nutzung eine andere Menge an Tageslicht und können dementsprechend ausgerichtet werden. In Arbeitsräumen ist dagegen überall ein möglichst hoher Tageslichtanteil vorteilhaft. Zur Platzierung der Fensterflächen muss auch die Lüftung des Gebäudes beachtet werden. In größeren öffentlichen Gebäuden mit hohem Personenaufkommen ist eine mechanische Lüftung sowieso notwendig, daher muss auf den Schadstoffgehalt der Umgebungsluft weniger Rücksicht genommen werden. Ein solches Bauvorhaben kann etwa an einer dicht befahrenen Straße realisiert werden. Bei blockartigen Konstruktionen ist ein geschlossener Baukörper mit Innenhof die energetisch ineffizienteste Option. Die großteils verschattete Fassade schränkt passive solare Gewinne ein und erhöht so den Strombedarf für künstliche Beleuchtung und Heizung. Der Luftaustausch im Innenhof ist zudem weit geringer, so muss unter Umständen mehr künstlich belüftet werden. Einseitige

¹⁷ vgl. Bauer; Mösle; Schwarz: Green Building. Konzepte für nachhaltige Architektur. München: Callwey 2007. S. 63f.

¹⁸ vgl. Bauer; Mösle; Schwarz. 2007. S.64ff

¹⁹ vgl. Bauer; Mösle; Schwarz. 2007. S.64ff

Fassadenöffnungen (Gebäude in U-Form) nach Süden machen passive solare Gewinne optimal nutzbar. Insgesamt können alleine durch die Anordnung und Ausrichtung der Baukörper Energieeinsparungen bei der Raumkonditionierung von zehn bis 20% erzielt werden. Bis zu einem gewissen Grad entscheidet auch die Gebäudeform über seine Energieeffizienz. Grundsätzlich orientiert man sich an der minimalen Wärmeverlustfläche im Verhältnis zum Raumvolumen. Demnach wäre die ideale Form ein Würfel. Dieser Ansatz berücksichtigt allerdings ausschließlich die Heizenergie. Green Buildings haben den Anspruch an eine nochmals verstärkte Wärmedämmung, um unabhängiger vom Maß der Außenfläche zu werden. Möglichst kompakte Bauweisen hochwärmedämmter Gebäude sind, Energiebedarf für Kühlung, Lüftung und Beleuchtung betreffend, meist nicht die ideale Option. Dieses Kapitel der Energieeffizienz fokussiert sich auf Temperaturregulierung, Lüftung und Stromerzeugung. Die Behandlung von Sonnenschutz, Akustik und Beleuchtung würde den Rahmen der Arbeit sprengen.²⁰

3.2.1. Dämmung

Im Gegensatz zu Mindestdämmstärken der 1980er Jahre, die zur Vermeidung von Feuchteschäden durch Kondensat dienten, orientieren sich die heute üblichen Dämmstärken an anderen Zielen. Der Heizenergiebedarf soll bei bestmöglicher Behaglichkeit durch hohe Innenoberflächen-Temperaturen gesenkt werden. Dies gilt bei niedrigen Außentemperaturen, andernfalls vermindert die Dämmung den Kühlenergiebedarf. Für Regionen mit hohen Temperaturschwankungen ist der variable Wärmeschutz von besonderer Effizienz. Beispielsweise ermöglichen dies doppelschalige Fassaden mit teilweise beweglichen Modulen. Geschlossen bewirken diese einen „Wintergarten-Effekt“, verhindern also Wärmeverluste. Um Überhitzungen zu vermeiden, können die Elemente geöffnet werden. Eine weitere Möglichkeit bilden Membranen an der Innenseite der Decke, deren Abstand veränderbar ist und die so unterschiedlich große Wärmepufferzonen bilden. Bei hochwärmedämmten Fassaden gilt es, Wärmebrücken zu vermeiden. Diese können durch geometrische Gegebenheiten (z.B. Gebäudeecken), Anschlussstellen zwischen Bauteilen oder Innenbauteilen, die nach außen ragen, entstehen. Idealerweise dreifachverglaste Fenster müssen daher auch einen optimal gedämmten Rahmen aufweisen. Anschlussstellen und Konstruktionen wie Balkonplatten oder Stahlträger müssen thermisch entkoppelt sein. Die besten Methoden können durch eine dreidimensionale Wärmebrückenberechnung ermittelt werden. Ein optimaler Wärmeschutz

²⁰ vgl. Bauer; Mösle; Schwarz. 2007. S.67f.

kann je nach Nutzungsart aber auch negativ ausfallen, etwa bei öffentlichen Gebäuden mit relativ viel Volumen bei wenig Hüllfläche. Aufgrund der internen Wärmequellen muss hier nahezu ständig gekühlt werden, wenn die Wärmeverluste nach außen zu gering sind.²¹

3.2.2. Heizen & Kühlen

Voraussetzung für nachhaltige Heiz- und Kühlsysteme ist grundsätzlich die ausreichende Dämmung. Werden elektrische Systeme zur Temperaturregulierung, etwa Elektroheizungen oder elektrische Klimaanlage verwendet, ist die Erzeugungsart des genutzten Stromes ausschlaggebend für die ökologische und finanzielle Effizienz (siehe 3.2.3. Strom). Es existieren aber auch andere Wege zur umweltfreundlichen Wärme- und Kältezufuhr. Solarenergie zur Wärmeerzeugung kann unter Voraussetzungen einen Großteil der Trinkwassererwärmung abdecken. Die Anzahl der Geschosse soll dabei zehn bis 20 nicht übersteigen. Zu beachten ist auch, dass Fassadenflächen nur 70% des idealen Ertrages liefern können, daher müssen zunächst genügend Dachflächen zur Installation der Sonnenkollektoren verfügbar sein.²²

Um den Heizenergieaufwand, also die Menge an Energie, die zur Deckung des Bedarfs von Heizsystemen bereitgestellt wird, gering zu halten, sollten interne Wärmequellen und Sonneneinstrahlung optimal genutzt werden. Systeme müssen daher flexibel und schnell je nach Bedarf reguliert werden können. Der Betrieb soll außerdem bei möglichst geringer Temperatur laufen, um Wärmeverluste über Rohre zu reduzieren.²³

Die Kühlung kann entweder über Oberflächen oder gekühlte Luft erfolgen, wobei Luft einen höheren Energieaufwand bedeutet. Kühlflächen werden idealerweise entweder im Deckenbereich angebracht, um überschüssige Wärmestrahlung aufzunehmen, oder am Boden nahe der Fassade. Die Wärme der Sonneneinstrahlung wird so absorbiert, bevor sie in den Raum reflektiert werden kann. Fällt die Temperatur nachts unter 18°C, kann ein Tag-Nacht-Speicher zur Kühlung genutzt werden. Thermisch aktive Bauteile (TABs), also Kühlleitungen in Boden und Decke lagern die Nachtkühle ein, um sie tagsüber wieder abzugeben.²⁴

²¹ vgl. Bauer; Mösle; Schwarz. 2007. S.70-74

²² vgl. Bauer; Mösle; Schwarz. 2007. S.66

²³ vgl. Bauer; Mösle; Schwarz. 2007. S.108ff.

²⁴ vgl. Bauer; Mösle; Schwarz. 2007. S.108ff.

3.2.3. Lüftung & Strom

Ein erster Schritt zu einer energieeffizienten Lüftung ist die volle Ausschöpfung natürlicher Lüftungspotenziale. Die dafür genutzten Systeme müssen sich allerdings den witterungsbedingten Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen anpassen. Das gelingt etwa mittels motorischer oder manueller Steuerung der Lüftungselemente, sprich deren Öffnungsweite. In Mitteleuropa könnte so 70% des Jahres auf eine maschinelle Lüftung verzichtet werden.²⁵ Eine solche Lüftungsanlage dient dem Austausch der Raumluft durch Außenluft und deren Temperaturbehandlung, Be- oder Entfeuchtung sowie Filterung beziehungsweise Reinigung. Schadstoffe, CO₂ und Gerüche sollen mit der Raumluft entweichen. Bei extremen Temperaturdifferenzen zwischen Außen- und Raumluft kann eine maschinelle Belüftung energietechnisch aufgrund der Wärmerückgewinnung vorteilhaft sein. Das ist der Fall, wenn der Stromaufwand für die Anlage geringer ist als der Energieverlust durch natürliches Lüften, etwa durch Fenster. Das sogenannte „hybride Lüftungskonzept“ vereint natürliche Belüftung in Übergangszeiten mit maschinellen Systemen für Sommer und Winter.²⁶

Neben einem sparsamen Verbrauch ist auch die Herkunft der elektrischen Energie von großer Wichtigkeit für die Effizienz eines Gebäudes. Während das öffentliche Stromnetz nur teilweise von erneuerbaren Quellen gespeist wird, gibt es Wege, am Gebäude oder Grundstück selbst Energie zu erzeugen. Dies spart nicht nur Ressourcen und CO₂, sondern auch Betriebskosten. Mithilfe der Geschossflächenzahl (siehe 3.2. Energiehaushalt) können Faustregeln in Bezug auf energiebereitstellende Anlagen aufgestellt werden.²⁷

Oberflächennahe geothermische Anlagen bis zu einer Tiefe von 200 Metern sind nur bei einer Geschossflächenzahl von drei bis maximal fünf (im Wohnungsbau) effektiv. Bei Bürogebäuden sollte der Wert zwischen drei und sechs liegen. Nur so ist ausreichend Grundstücksfläche zur Installation verschiedener Erdwärmetauscher gegeben. Durch solche Systeme kann in Mitteleuropa ein Großteil der Heiz- und Kühlenergie über das Erdreich gedeckt werden, sofern das Gebäude auch sonst effizient konstruiert und gedämmt ist.²⁸

Solarenergie erfordert im Wohnungsbau eine Geschossflächenzahl von drei bis fünf, für Bürogebäude zwei bis vier. Diese Richtwerte sind für Bauvorhaben in Mittel-, Nord- und Südeuropa gültig, wenn auf dem unbebauten Teil des Grundstücks keine Photovoltaik-Anlagen

²⁵ vgl. Bauer; Möhle; Schwarz. 2007. S.98

²⁶ vgl. Bauer; Möhle; Schwarz. 2007. S.110f.

²⁷ vgl. Bauer; Möhle; Schwarz. 2007. S.66

²⁸ vgl. Bauer; Möhle; Schwarz. 2007. S.66

errichtet werden können. In Südeuropa ist zwar die Sonneneinstrahlung höher, allerdings auch der Energiebedarf zur Kühlung, was den gleichen Richtwert erklärt.²⁹

3.3. Wasserbewirtschaftung

Der ökologische Umgang mit der natürlichen Ressource Wasser umfasst mehrere Bereiche. Auf einen möglichst sparsamen Trinkwasserverbrauch ist genauso zu achten wie auf den Schutz des Grund- und Oberflächenwassers, die Reduktion und umweltgerechte Behandlung von Abwasser und das Einschränken von Bodenversiegelung.³⁰

3.3.1. Verminderung der Hochwassergefahr

Aufgrund der künstlichen Regulierung von Flussläufen, der enormen Fläche versiegelter Böden und nicht zuletzt häufiger werdender Wetterextreme durch den Klimawandel sind viele Städte immer öfter von Überflutungen betroffen oder zumindest gefährdet. Zu deren Vorbeugung ist es zunächst essenziell, die weitere Verbauung der Flussufer zu stoppen beziehungsweise durch Renaturierungen rückgängig zu machen. Neben ausreichend vorhandenen Ausdehnungsgebieten für überdurchschnittliche Wassermengen ist ein natürlicher Bewuchs der Böschungen mit Bäumen und Hecken ausschlaggebend, „um das Rieselwasser zurückzuhalten“ (Gauzin-Müller, S. 50). Stehen nicht mehr ausreichend natürliche Retentionsbecken zur Verfügung, kann im Falle eines Hochwassers beispielsweise auf Parkplätze, Höfe oder Stadien als Rückhaltebecken zurückgegriffen werden, um Schäden an privaten und öffentlichen Gebäuden zu minimieren.³¹

3.3.2. Regenwassernutzung

Regenwassergewinnung zeigt sich sowohl im privaten und öffentlichen als auch im Industriesektor als sinnvoll. Richtig aufgefangen und gespeichert kann Regenwasser beispielsweise für Toilettenspülungen, Reinigungszwecke, Pflanzenbewässerung oder industrielle Herstellungsprozesse genutzt werden und zum Einsparen von Trinkwasser beitragen. Im privaten Bereich könnte eine Ersparnis von ca. 30% erzielt werden, wenn Regenwasser für alle Bereiche außer der Ernährung und Körperpflege genutzt würde. Die

²⁹ vgl. Bauer; Möhle; Schwarz. 2007. S.66

³⁰ vgl. Gauzin-Müller, Dominique: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Konzepte, Technologien, Beispiele. Basel: Birkhäuser 2002. S. 50

³¹ vgl. Gauzin-Müller, Dominique: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Konzepte, Technologien, Beispiele. Basel: Birkhäuser 2002. S. 50

Qualität sei dabei laut mehreren Untersuchungen, unter anderem in Deutschland von Otto Wack durchgeführt, mit jener von destilliertem Wasser zu vergleichen. Der niedrige Kalkgehalt birgt einen weiteren Vorteil der Regenwassernutzung: Die Funktionsdauer von Waschmaschinen wird verlängert, Waschmittel und Weichspüler können eingespart werden. Eine Möglichkeit zur Speicherung des aufgefangenen Wassers ist der Gebrauch von Zisternen, also unterirdischen Tanks, die biologisch und mechanisch gereinigt werden können. Sie sind integriert in ein ganzheitliches System, welches das Regenwasser von den Dächern auffängt, es mithilfe selbstreinigender Filter aufbereitet, in der Zisterne wiederum zweimal reinigt und kühl und dunkel lagert. Zur Verteilung des Wassers dienen möglichst energiesparende Pumpen, am gesamten Leitungsnetz muss dabei der Hinweis „kein Trinkwasser“ angebracht sein. Auf diesem Prinzip beruhende Systeme, wie jene der Firma „Wisy“, verbreiteten sich bereits in den 90er Jahren in Deutschland und wurden exportiert.³²

3.3.3. Bewirtschaftung des Abwassers

Die Abwässer eines Gebäudes können auf zweierlei Art sinnvoll genutzt werden, bevor sie in die Kanalisation fließen. Grauwasser kann, wie auch Regenwasser (siehe 3.3.2. Regenwassernutzung), aufbereitet und für den Betrieb von Toilettenspülungen, zur Pflanzenbewässerung usw. eingesetzt werden, besitzt aber keine Trinkwasserqualität. Dabei handelt es sich um leicht verschmutztes, nicht mit Fäkalien versetztes Wasser, etwa von Dusche, Waschmaschine oder Waschtisch.³³

Weiters kann dem durchschnittlich 10-22°C warmem Abwasser seine Restwärme entzogen und zu Heizzwecken genutzt werden. Dafür ist eine komplexe Anlage, bestehend aus Abwasser-Wärmepumpe und Wärmetauscher, vonnöten. Ein flüssiges Kältemittel verdampft bei der Aufnahme der Wärmeenergie im Abwasser. Über elektrische Verdichter wird das Temperaturniveau erhöht, indem das gasförmige Kältemittel komprimiert und der Druck vergrößert wird. Im „Verflüssiger“ wird die Wärmeenergie dem Heizkreislauf zugeführt. Besonders effektiv ist diese Methode bei Wohn- oder Gewerbeanlagen mit hohem Wasserbedarf.³⁴

³² vgl. Gauzin-Müller, Dominique: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Konzepte, Technologien, Beispiele. Basel: Birkhäuser 2002. S. 51, 52, 105

³³ vgl. Bauer; Möhle; Schwarz. 2007. S.59

³⁴ vgl. Kunde, Jeannette: Abwasser-Wärmepumpe – Wärme aus Abwasser gewinnen. 10.04.2020.

<https://www.heizung.de/waermepumpe/wissen/abwasser-waermepumpe-waerme-aus-abwasser-gewinnen.html>
[Zugriff: 17.11.2022, 20:44]

3.4. Holz als Baumaterial

Eine verstärkte Nutzung des Baustoffs Holz ist ein wirksamer Weg zur Reduktion der CO₂ Konzentration in der Luft und somit des Treibhauseffektes. Bäume betreiben Assimilation und Photosynthese. Das heißt, sie absorbieren während ihrer Lebenszeit Kohlenstoffdioxid, um Zellulose, Lignin und Sauerstoff zu bilden. Das CO₂ wird erst bei Verbrennung oder sonstiger Zersetzung wieder frei. Wird das Holz zuvor zum Bauen genutzt, verschiebt sich dieser Zeitpunkt, es gelangt jedoch kein zusätzliches Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre, wie es etwa bei der energieaufwändigen Herstellung von Metall, Beton, Glas oder Kunststoffen der Fall wäre. Holz kann somit als CO₂-neutraler Rohstoff bezeichnet werden. In Zahlen entspricht die Verwendung von einer Tonne Holz im Bausektor laut CNDB³⁵ einer Reduktion von 1,6 Tonnen CO₂, im Vergleich zu anderen Materialien.³⁶

Voraussetzung für eine tatsächliche Nachhaltigkeit von Holz ist eine dementsprechende Bewirtschaftung der Wälder. In den meisten europäischen Ländern mit hohem Waldbestand gibt es dazu schon seit längerer Zeit Vorgaben, die von der Forstwirtschaft beachtet werden müssen. Der Holzertrag muss demnach unter der biologischen Produktion bleiben, der Wald muss in Zukunft wachstumsfähig bleiben und Aspekte der Artenvielfalt müssen bei der Verwertung respektiert werden. Die Nutzung von Tropenholz hingegen kann durchaus problematisch zum Klimawandel beitragen, wenn zu schnell und in zu hohem Maße gerodet wird. Zwar ist Nutzholz am Verschwinden der Regenwälder nur zu etwa 6% verantwortlich, trotzdem sollte ausschließlich Holz aus nachweislich korrekt bewirtschafteten Gebieten importiert werden. Zu diesem Zweck gibt es zahlreiche Öko-Zertifizierungen, beispielsweise das „Label Forest Stewardship Council“ (FSC) des WWF, das 1996 eingeführt wurde.³⁷

3.5. Bodenpolitik und Nachverdichtung

Der Städtebau der 1960er und 70er Jahre war durch zahlreiche Umwidmungen der angrenzenden Flächen zu Bauland gekennzeichnet. So dehnten sich die Städte rasant aus, um das Bedürfnis an neuer Wohnfläche zu befriedigen. Langfristige Auswirkungen auf die Natur wurden kaum beachtet. Im Sinne der Nachhaltigkeit wird heute empfohlen, nicht die Stadtfläche zu expandieren, sondern den bereits vorhandenen Bestand an Gebäuden

³⁵ CNDB = Nationales Zentrum zur Förderung der Holzwirtschaft, Frankreich

³⁶ vgl. Gauzin-Müller, Dominique: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Konzepte, Technologien, Beispiele. Basel: Birkhäuser 2002. S. 23

³⁷ vgl. Gauzin-Müller, Dominique: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Konzepte, Technologien, Beispiele. Basel: Birkhäuser 2002. S. 23f.

aufzuwerten. Das kann etwa durch die Sanierung von alten Stadtvierteln oder die Umstrukturierung von Industrie- Militär- und Hafenbrachen gelingen. Teilweise, besonders in Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte, muss auf einzelne Häuser mit großem Grundstück am Stadtrand verzichtet werden und der Trend in Richtung urbane Verdichtung gehen. Das bedeutet auch die Nähe von Wohnort, Arbeitsplatz, öffentlichen Einrichtungen und Dienstleistungen, welche eine optimale Raumnutzung und effiziente Verkehrsgestaltung positiv beeinflusst. Eine attraktive und grüne Gestaltung des urbanen Raumes ist essenziell, um Abwanderung in die umliegenden Regionen und somit eine erneute Stadtausdehnung zu vermeiden. Das geht oft mit dem Errichten von Synergiezentren einher, das sind Standorte, an denen sich sowohl Unternehmen als auch Forschungsinstitute und Hochschulen ansiedeln.³⁸

Eine höhere Dichte des Wohnraumes (gemessen in Wohneinheiten pro Fläche), etwa die Zusammenlegung mehrerer Einheiten in einen kompakten Raum, bringt nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile. Sowohl die Grundfläche als auch die Fläche der Gebäudehülle können so minimiert werden. Dadurch werden Materialien, Bau- und Energiekosten gespart.³⁹ Acht Wohneinheiten in einem Gebäude mit zwei Geschossen plus Kellergeschoß benötigen zum Beispiel nur 68% der Heizenergie von acht Einfamilienhäusern. Bei den Baukosten beträgt die Ersparnis etwa 42%.⁴⁰ Bei Neubauten ist deshalb darauf zu achten, möglichst viel übereinander zu bauen. Gleichzeitig müssen aber auch alte Stadtviertel nachverdichtet werden, wo immer es möglich ist. Aufstockungen gelingen am besten mit leichten Holzkonstruktionen. Sind Gebäude in U- Form oder mit großen Innenhöfen angelegt, können auch hier die Lücken geschlossen werden. Besonders zu beachten sind dabei der Bebauungsplan, möglicher Denkmalschutz und passendes Design, das sich gut in den Bestand einfügt.⁴¹

³⁸ vgl. Gauzin-Müller: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Basel: Birkhäuser 2002. S. 41f.

³⁹ vgl. Gauzin-Müller: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Basel: Birkhäuser 2002. S. 41

⁴⁰ vgl. Gauzin-Müller: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Basel: Birkhäuser 2002. S. 41, Abb aus: H.R. Preisig et al. Ökologische Baukompetenz. Zürich 1999. S. 109

⁴¹ vgl. Gauzin-Müller: Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Basel: Birkhäuser 2002. S. 41

4. Aktuelle Beispielprojekte

Die gewählten Projekte in diesem Kapitel dienen der Veranschaulichung nachhaltiger Bauweisen. Die genannten Städte haben architektonisch verschiedene Bedürfnisse. In der Tropenstadt Singapur herrschen kaum jemals Tagestemperaturen von unter 30°C, Wiens Gebäude sind dagegen auf mitteleuropäisches Klima abgestimmt. Allein die Gebäudeausrichtung funktioniert daher genau umgekehrt. In heißen Gebieten weisen die Konstruktionen nach Nord-Süd, um möglichst verschattet zu bauen, anderswo soll mit einer West-Ost-Ausrichtung möglichst viel Licht ins Gebäude gelangen. Vergleichbar sind die beiden Metropolen somit weniger anhand der konkret genutzten Technologien, sondern eher durch die verschiedenen Herangehensweisen an das Thema „nachhaltiges Bauen“.⁴²

4.1. Singapur

Der erste Premierminister von Singapur, Lee Kuan Yew, setzte den ersten Schritt auf dem Weg zur Vorreiterstadt des nachhaltigen Gebäudedesigns. Sein Ziel war es, auf dem Inselstaat möglichst schnell schattige Bereiche und Zugang zur Natur für alle BewohnerInnen zu schaffen. Mittlerweile ist Nachhaltigkeit in der Stadtplanung Singapurs fest verankert, was durch finanzielle Anreize und gesetzliche Vorgaben ermöglicht wird. „Biophilie“, also das Bestreben, menschliches Leben mit der Natur zu verbinden, prägt das Bild der „Stadt im Garten“.⁴³

4.1.1. Parkroyal Collection Pickering

Das Projekt in der Upper Pickering Street 3, gelegen im Zentrum Singapurs zwischen dem lokalen Geschäftsviertel und Chinatown, wurde vom Architekturbüro WOHA ab 2007 geplant und im Jänner 2013 fertiggestellt. Auftraggeber für das Gebäude, dessen Nutzfläche 29.811,54m² beträgt, war das Immobilienunternehmen UOL Group Limited. Genutzt wird der Komplex sowohl zu Büro- und Geschäftszwecken, hauptsächlich jedoch als 5-Sterne Hotel. Auf geschwungenen, von Reisplantagen und dem nebenan gelegenen Hong Lim Park inspirierten, Terrassen wurden etwa 15.000m² (das entspricht etwa der Fläche von zwei Fußballfeldern) Grün- und Gartenfläche ins Gebäude integriert und der Natur so

⁴² vgl. Manuela Tomic: Grüne Architektur. 08.05.2019. <https://www.forbes.at/artikel/gruene-architektur.html> [Zugriff: 18.10.2022, 19:56]

⁴³ vgl. Energieleben.at: Good News: Singapur in Asien führend in grüner Architektur & nachhaltigem Gebäudedesign. 16.08.2021. <https://www.energieleben.at/good-news-singapur-in-asien-fuehrend-in-gruener-architektur-nachhaltigem-gebaeudedesign/> [Zugriff: 18.10.2022, 19:45]

zurückgegeben. Das entspricht etwa dem doppelten der Fläche, die das Projekt in Anspruch nimmt. Die tropischen Pflanzen, die hier arrangiert wurden, bieten den 367 Hotelzimmern gleichzeitig einen angenehmen Ausblick. Besonders hervorzuheben ist außerdem das Wasser-Management des Gebäudes. Die Bewässerung ist größtenteils solarbetrieben und das Regenwasser wird gespeichert und genutzt. Naturbelüftete Gänge und optimaler Sonnenschutz machen das Bauwerk zusätzlich effizienter und sparsamer.⁴⁴ Die offizielle Webseite der WOHA bietet auch einen Überblick über andere Nachhaltigkeitsaspekte des Projekts. Unter „Green Plot Ratio“ wird die Menge an Grünflächen im Vergleich zur Fläche des ursprünglichen Baugrundes angegeben. Inkludiert sind sowohl vertikale und horizontale Bepflanzungen als auch Bäume, Urban Farms und Wasseranlagen. Bei diesem Projekt beträgt der Wert 240%, die zuvor vorhandene Grünfläche wurde durch das Gebäude also mehr als verdoppelt. Den größten Beitrag dazu leisten die gartenähnlich gestalteten Terrassen. Auskunft über den Beitrag eines Projekts zum städtischen Ökosystem gibt der „Ecosystem Contribution Index“. Er beschreibt das Angebot an Nahrung, Wasser und Lebensraum für Insekten und andere Tiere an, auf oder in einem Gebäude, ein umweltgerechtes Wasser-Management und das Vorhandensein heimischer Pflanzenarten im Vergleich zu der unbebauten Fläche. Das Parkroyal Hotel erreicht hier 80%. Der „Self Sufficiency Index“ gibt Auskunft über die Fähigkeit eines Gebäudes, seinen Bedarf an Energie, Wasser und Nahrung selbst zu decken. Er beträgt im Fall der Parkroyal Collection 65% im Bereich Wasser, 1% im Bereich der Energie und 0% im Sektor Nahrungsmittel. All diese Aspekte haben der WOHA-Gruppe für dieses Projekt zahlreiche Auszeichnungen geliefert, unter anderem die „Singapore Green Mark“, das höchste nationale Umweltzertifikat.⁴⁵

⁴⁴ vgl. WOHA: Parkroyal Collection Pickering. <https://woha.net/project/parkroyal-on-pickering/> [Zugriff: 27.8.2022, 19:26]

⁴⁵ vgl. WOHA: Parkroyal Collection Pickering. <https://woha.net/design-philosophy/> [Zugriff: 17.09.2022, 17:23]

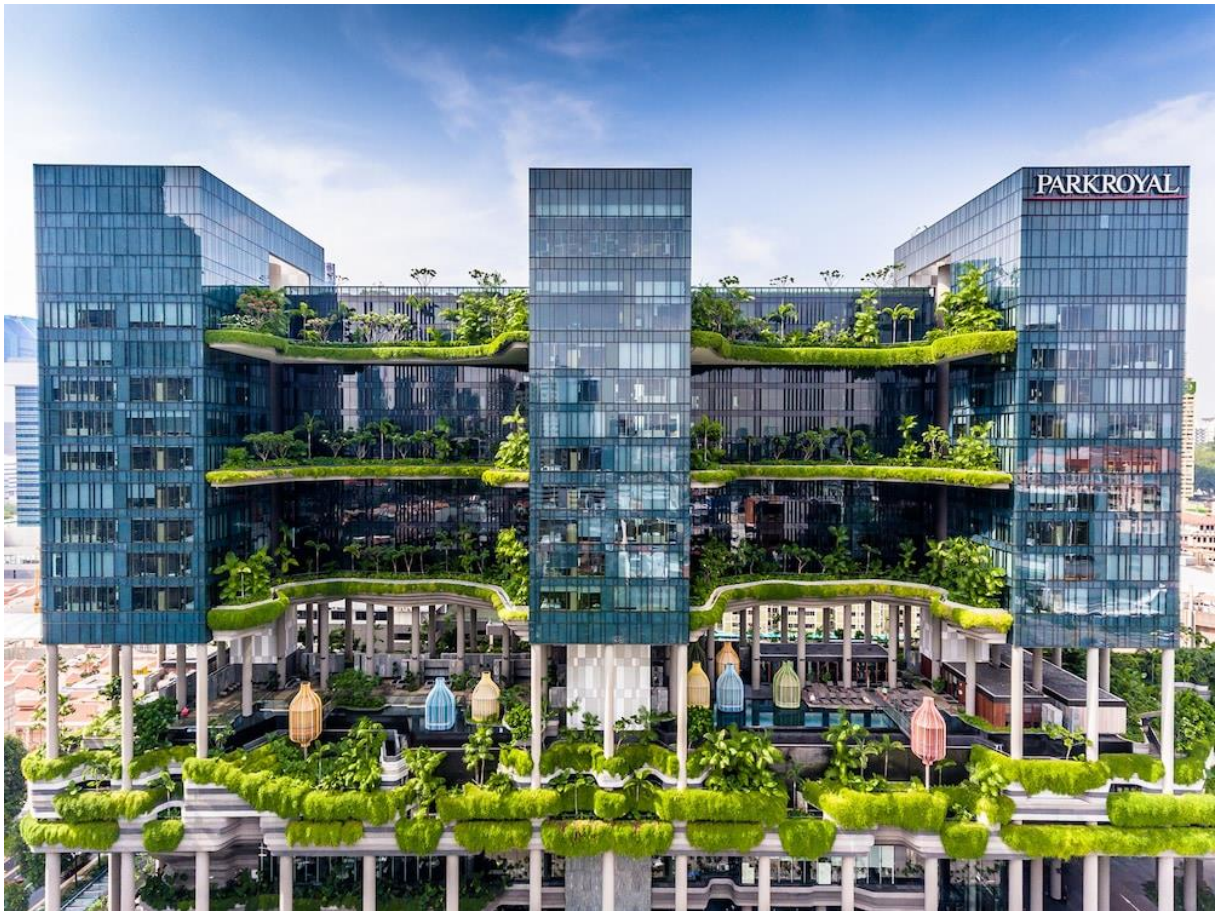


Abbildung 1: Parkroyal Collection Pickering, Singapur. https://images.trvl-media.com/hotels/6000000/5410000/5400400/5400381/a0cf1c97_z.jpg

4.1.2. Jewel Changi Airport, Singapur

Der Flughafen mit der Adresse Airport Blvd, Changi Airport Singapore (SIN), Singapore, ist ein Projekt des Architektur-Teams Safdie. Er hat eine Gesamtfläche von 135.700m² und wurde 2019 fertiggestellt. Für die Landschaftsarchitektur dieses Bauwerks sind die Firmen „PWP Landscape Architecture“ und „ICN Design International“ verantwortlich, das Interieur stammt von „Benoy Architects“. Für Beleuchtung und Mechanik/Elektronik wurden „Lighting Planners Associates“ beziehungsweise Mott MacDonald zu Rate gezogen. Die Ausstattung stammt von „Jonite“, „Vectorworks“, „Vitro®“, „Kuraray“, „Laufen“ und „Yildiz Glass“. Der zentrale Bereich „Jewel“ mit dem charakteristischen Wasserfall verbindet die drei Terminals miteinander und fungiert als Herzstück des Flughafens. Auf zehn Etagen verteilt befinden sich sowohl Einrichtungen für die Kontrolle des Flugbetriebs als auch Freizeiteinrichtungen, Verkaufsflächen, Gastronomiebetriebe und Hotels. Terrassenförmig und zur Mitte abfallend liegt der Indoor-Garten „Forest Valley“, der über 200 Pflanzen- und Baumarten beherbergt. Er bietet zudem Gehwege, Wasserkaskaden und ruhige Sitzbereiche. Im Zentrum liegt der

weltweit größte Indoor-Wasserfall „Rain Vortex“, der aus einem Rundfenster im kuppelförmigen Glasdach sieben Stockwerke in die Tiefe fällt und bis zu 45.000 Liter pro Minute transportiert. Er sorgt für ein natürlich gekühltes Klima im Innern des Gebäudes. Genutzt wird dafür auf dem gesamten Gelände gesammeltes Regenwasser, das anschließend verteilt und in verschiedenen Bereichen wiederverwendet werden kann. Die Terminals 1, 2 und 3 sind von Jewel aus über Fußgängerbrücken erreichbar. Zu den Ausgängen in jeder der vier Himmelsrichtungen weisen Gartenwege und bieten Orientierung. Die Einkaufs- und Freizeitflächen sind über vertikal angelegte Canyons mit dem zentralen Garten verbunden. Das runde Kuppeldach hat einen maximalen Durchmesser von 200 Meter und ist nur am Rand des Gartens gestützt, jedoch so mit der Fassadenkonstruktion verbunden, dass im Innern fast keine Säulen nötig sind. Durch die Glasflächen erhalten die Pflanzen angemessenes Sonnenlicht, das Klima soll einen positiven Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden haben. Nötig waren dafür ein spezielles Verglasungssystem, statische und bewegliche Beschattung sowie ein hocheffizientes Belüftungssystem.⁴⁶ Dieses sogenannte „Verdrängungs-Belüftungssystem“ saugt kühle Außenluft in den unteren Etagen an, die innen nach oben steigt, sich langsam erwärmt und über das Dach wieder entweichen kann. Die Temperatur erhöht sich dabei durch Faktoren wie Körperwärme, Abstrahlung von Computern, Lichtquellen, etc. Alle diese Methoden sparen Energie und sind dadurch nachhaltig. Aus diesem Grund und vor allem wegen der Sauerstoff produzierenden Wald- und Pflanzenfläche im Gebäude ist der Jewel Changi Airport für die Singapur Green Mark in Platin nominiert.⁴⁷

⁴⁶ vgl. ArchDaily: Jewel Changi Airport / Safdie Architects. <https://www.archdaily.com/915688/jewel-changi-airport-safdie-architects> [Zugriff: 17.09.2022, 18:32]

⁴⁷ vgl. Storee: Displacement Ventilation. <https://www.storee.com/displacement-ventilation/> [Zugriff: 15.10.2022, 13:04]



Abbildung 2: Jewel Changi Airport, Singapur, Safdie Architects. <https://pixabay.com/de/photos/juwel-singapore-singapur-airport-5213953/>



Abbildung 3: Querschnitt Jewel Changi Airport, Safdie Architects
https://images.adsttc.com/media/images/5cbf/6206/284d/d17f/4b00/0004/newsletter/Jewel_Changi_Airport_Section_through_retail_and_gardens.jpg?1556046333

4.1.3. National Gallery, Singapur

Die Nationalgalerie entstand aus der Verbindung des früheren Rathauses mit dem ehemaligen Höchstgericht Singapurs. Sie wurde ab 2008 vom französischen Architekturbüro *Studio Milou* in Zusammenarbeit mit *CPG Consultants* geplant, ab 2011 errichtet und 2015 schließlich eröffnet. Die beiden historischen Gebäude stammen aus der Kolonialzeit und wurden damals von den Briten geplant und errichtet. Sie bilden heute jeweils einen Flügel des Museums, verbunden durch ein Atrium und zwei Brücken. Das Bauwerk hat acht Stockwerke, 20 Ausstellungsräume im früheren Gericht und zehn im ehemaligen Rathaus. Auf insgesamt

64.000 m² befinden sich zehn Galerien, eine Singapur und eine ganz Südostasien betreffend, sowie acht temporäre Ausstellungen. Das architektonische Ziel war die Erhaltung der beiden monumentalen Bauwerke, deren Verbindung und Umstrukturierung, um Platz für ein historisches Museum zu schaffen.⁴⁸

Wandreliefs, korinthische und ionische Säulen wurden beispielsweise gänzlich restauriert und erhalten, auch der ehemalige Gerichtssaal wurde nur minimal verändert. Die historischen Teile wurden BetrachterInnen zugänglich gemacht, wie etwa die kleinere der beiden Kuppeln. Sie befindet sich im Innern des Atriums auf dem Dachgeschoss. Über zahlreiche Rolltreppen, breite Stufenaufgänge und gläserne Durchgänge gelangt man von A nach B. In einer unterirdischen Eingangshalle findet der Ticketverkauf statt, technische Anlagen sind hier verborgen. Die einstigen Höfe des Rathauses wurden als Atrien verglast. Darüber gelegene Reflexionsbecken reduzieren die Sonneneinstrahlung und dienen der Kühlung. Die zentralen Atrien sowie Brücken in zwei Stockwerken bilden die innere Verbindung der beiden Teile. Das ganze Gebäude ist umhüllt von einer filigranen Konstruktion aus über 20.000 Glas- und Aluminiumpaneelen zur Beschattung. Die goldfarbene, teilweise lichtdurchlässige Hülle kreiert ein Muster, das an den Schatten von Bäumen erinnert. Sie minimiert zudem den Bedarf einer energieverschlingenden Klimaanlage und verbindet äußerlich die beiden Gebäudeflügel. Gestützt wird die Konstruktion von drei verzweigten, baumähnlichen Elementen. Sie ist das charakteristische Element, das die beiden historischen Institutionen zu ihrer neuen Aufgabe vereint: Laut *Studio Milou* eine ergänzende Schicht, die zwei Gebäude verbindet, ohne zu viele Denkmäler zu zerstören.⁴⁹

⁴⁸vgl. Headout: All you need to know about the National Gallery Singapore. 07.02.2022.

<https://www.headout.com/blog/national-gallery-singapore/#:~:text=The%20National%20Gallery%20Singapore%20is%20housed%20within%20two,by%20the%20Padang%20Atrium%20and%20two%20link%20bridges>. [Zugriff: 31.10.2022, 10:37]

⁴⁹ vgl. Wong, Susie: The Architecture of National Gallery Singapore. 25.08.2017.

<https://www.designandarchitecture.com/article/the-architecture-of-national-gallery-singapore.html> [Zugriff: 22.10.2022, 11:30]



Abbildung 2: Atrium, National Gallery Singapore, entworfen von Studio Milou & CPG Consultants.
<https://dplusa.s3-ap-southeast-1.amazonaws.com/uploads/d-a-design-and-architecture-national-gallery-singapore-ngs-8.jpg>

4.2. Wien

Die Stadt Wien setzt bei der modernen, nachhaltigen Stadtplanung vor allem auf die Verbindung aller Lebensbereiche – Arbeit – Wohnen – Freizeit – Konsum in ganzheitlichen, mit Grünflächen angereicherten Stadtvierteln. Der Stadtentwicklungsplan „Step 2025“ bietet dafür die Leitlinien.⁵⁰

4.2.1. Stadtquartier „Viertel Zwei Plus“

Bei diesem Projekt handelt es sich um die Erweiterung des Quartiers „Viertel Zwei“, das bereits zwischen 2007 und 2010 realisiert wurde. „Viertel Zwei Plus“ soll 2024 endgültig fertiggestellt sein. Die Fläche befindet sich im Bereich zwischen dem grünen Prater, dem Ernst-Happel-Stadion und der Donau im zweiten Wiener Gemeindebezirk, nahe der U-Bahn-Station Krieau. In der Mitte liegen die Trabrennbahn sowie die denkmalgeschützten Stallungen, welche bei Durchführung des Projekts erhalten bleiben sollen. Der Bereich „Westkurve“ wurde vom Architekturbüro *Chaix&Morel* und dem Grazer Atelier *Thomas Pucher* geplant und bereits 2018 vervollständigt. Er beinhaltet Büros, Studios, Studierenden-Apartments sowie Wohnungen, rund um einen urbanen Platz angeordnet und verbunden durch Grünflächen. Der

⁵⁰ vgl. Rosenberger, Michael [MitwirkendeR] ; Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 18, Stadtentwicklung und Stadtplanung [MitwirkendeR]. STEP 2025 : Stadtentwicklungsplan Wien ; Mut zur Stadt ; [beschlossen vom Wiener Gemeinderat am 25. Juni 2014]. Wien. Magistratsabteilung 18, 2014

Teil nördlich der Rennbahn wurde von Martin Kohlbauer entworfen und wird gerade umgesetzt. Hier entstehen Wohnflächen und ein multifunktionales Bauwerk. Bei der Fertigstellung der Erweiterung soll „Viertel Zwei“ insgesamt ca. 890 Wohnungen, 170.000 m² Büroflächen, 350 Apartments für Studierende, zudem Hotellerie- und Gewerbeflächen bieten. Das Herzstück soll ein „grüner Platz“ zwischen den Stallungen und den Hochhäusern bilden, ergänzt durch zwei Fußgängerpromenaden als Verbindungsachsen.⁵¹ Zusätzlich zu dem etwa 13.500 m² großen Areal aus „grünen Inseln“ macht ein 5.000 m² großer See das Quartier lebenswert.⁵²



Abbildung 3: Viertel Zwei Plus, Wien-Krieau. https://www.wes-la.de/var/wesla/storage/images/projekte/stadtentwicklung-viertel-zwei-plus-wien-at/12647-28-ger-DE/2018-04-viertel-zwei-plus-wien_project_stage.jpg?v17

4.2.2. Seestadt Aspern

Im 22. Wiener Gemeindebezirk entsteht bis in die 2030er Jahre ein neuer, nachhaltiger Stadtteil, der neben Wohnraum für über 25.000 Menschen auch mehr als 20.000 Ausbildungs- und Arbeitsplätze bereithält: die Seestadt Aspern. Mit einem Gesamtinvestitionsvolumen von fünf Milliarden Euro soll sie Lebensqualität mit einem ideal angebundenen Wirtschaftsstandort verbinden. Das alles geschieht jedoch ganz im Zeichen der Nachhaltigkeit. Hervorzuheben ist der, eigens für die Seestadt konzipierte, Gebäudestandard, „aspern klimafit“. Entwickelt wurde dieser von einem multidisziplinären ExpertInnen-Team unter Anleitung des *FH Technikum*

⁵¹ vgl. Stadt Wien: Viertel Zwei Plus - Neues Stadtquartier an der U2.

<https://www.wien.gv.at/stadtplanung/viertel-zwei-plus> [Zugriff: 06.12.2022, 19:03]

⁵² vgl. WES-LA: Stadtentwicklung VIERTTEL ZWEI Plus, Wien (AT). GRÜNE INSELN. <https://www.wes-la.de/de/projekte/stadtentwicklung-viertel-zwei-plus-wien-at> [Zugriff: 06.12.2022, 19:56]

Wien, dem *Institute of Building Research & Innovation ZT GmbH* und *Urban Innovation Vienna*. Die Ziele, basierend auf sechs Kernbereichen, sind auf ein CO₂-neutrales Leben bis 2040, dem 1,5°C-Ziel entsprechend, ausgerichtet und bewirken eine Ersparnis von bis zu 4,6 Tonnen Kohlenstoffdioxid. Neben Energieeffizienz und erneuerbarer Energieversorgung in allen Bereichen sind auch Netzflexibilität („Smart Readiness“) und Speicherungsmöglichkeiten berücksichtigt. Weiters wird der thermische Komfort, auch mit künftig steigenden Temperaturen, der CO₂-reduzierte Bau und Möglichkeiten zur umweltfreundlichen Mobilität angestrebt. Alle Qualitätsmerkmale sind mit einer jeweils transparenten Nachweisführung versehen. Erstmals in seiner kompletten Form realisiert, wird der Standard im Quartier „Seeterassen“, ein Bereich direkt am See mit Promenade, Freizeiteinrichtungen und Wohnungen mit Blick auf die Skyline Wiens.⁵³



Abbildung 4: Seestadt Aspern, Wien. <https://pixabay.com/de/photos/seestadt-aspern-wien-teich-stadt-4839948/>

⁵³ vgl. Wien 3420 aspern Development AG: Aspern. Die Seestadt Wiens. <https://www.aspern-seestadt.at/>
[Zugriff: 3.1.2023, 11:18]

5. Auswirkungen

Die Nutzung nachhaltiger Strategien im Bauwesen spart erwiesenermaßen Energie und verringert den CO₂-Ausstoß. Doch wie groß ist der tatsächliche Einfluss der erwähnten Methoden auf das Klima einer Stadt beziehungsweise den globalen CO₂ - Fußabdruck?

Eines der wichtigsten Ziele in den nächsten Jahren ist es, dem Urban-Heat-Island, also dem städtischen Hitzeinsel-Effekt entgegenzuwirken. Darunter versteht man die höheren bodennahen Temperaturen dicht besiedelter Gebiete im Vergleich zum Umland.⁵⁴ Stumpft man den bisherigen Trend nicht ab, könnten die weltweiten hitzebedingten Sterberaten älterer Menschen bereits 2050 zehn Mal so hoch wie im Jahr 1990 sein, so die Weltgesundheitsorganisation WHO. Besonders gefährlich sind Tropennächte, in denen die Temperatur nicht unter 20°C sinkt. Mit Asphalt- und Betonflächen, die eine hohe Wärmespeicherkapazität besitzen, sowie warmer Abluft von Verkehr und Klimaanlage wird der Effekt verstärkt. Begrünte Fassaden, Dächer und Straßen können hier Abhilfe schaffen, indem sie für Verdunstung und damit natürliche Kühlung sorgen. Auch die Farbe der Fassaden darf nicht außer Acht gelassen werden. Je heller eine Oberfläche, umso mehr Licht und damit Wärme wird reflektiert und abgestrahlt. Laut einem NASA-Bericht kann der Temperaturunterschied zwischen weißen und schwarzen Dächern 23°C ausmachen. In New York wurden bereits Dachflächen im sechs-stelligen Quadratmeter-Bereich hell gestrichen. Alleine durch diese Initiative spart die Stadt jährlich 2.282 Tonnen CO₂ bei der Gebäudekühlung. In Abbildung 7 wird am Beispiel Berlin ersichtlich, wie viel einzelne Maßnahmen tatsächlich zur Stadtkühlung beitragen.⁵⁵

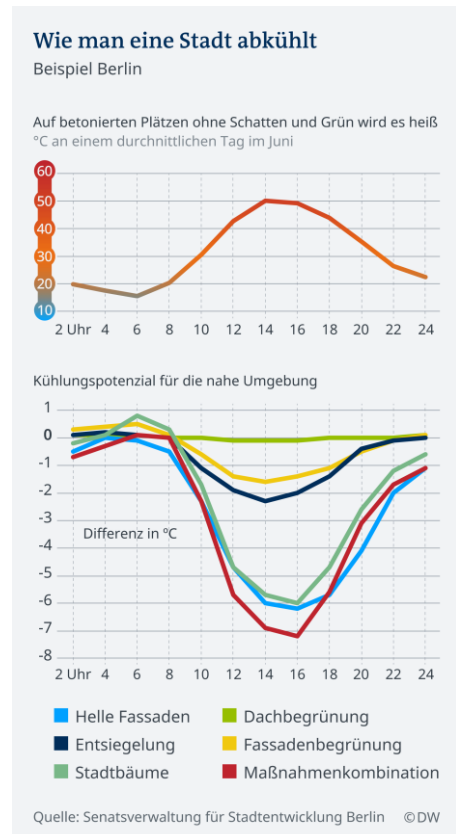


Abbildung 5: Kühlung von Städten am Beispiel Berlin.

https://static.dw.com/image/49648777_7.png

⁵⁴ vgl. Stadtklima Stuttgart: Der Wärmeinseleffekt. Stand 11.2.2023. www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_waermeinsel [Zugriff: 11.2.2023, 19:07]

⁵⁵ vgl. Schauenberg, Tim: Heiße Zukunft für Städte. Ist Abkühlung möglich? 02.08.2019.

<https://www.dw.com/de/hei%C3%9Fe-zukunft-f%C3%BCr-st%C3%A4dte-ist-abk%C3%BChlung-m%C3%B6glich/a-49793654> [Zugriff: 13.01.2023, 14:50]

Die Energieeinsparung in allen Bereichen einer Stadt könnte enorme Auswirkungen auf den globalen Emissionsausstoß haben. Urbane Regionen verbrauchen 80% der weltweit genutzten Energie. Wäre das Konzept der „Self-Sufficient-City“ der Architektengruppe WOHA in globalem Maße Realität, könnte dieser Wert auf null sinken, und damit auch die Treibhausgasemissionen für fossile Brennstoffe. Eine solche Stadt wäre in der Lage, alle Bedürfnisse ihrer BewohnerInnen – Nahrung, Wasser, Elektrizität – ohne von außen zugeführter Energie zu decken.⁵⁶

6. Fazit

Die grüne Architektur zeigt sich als essenzieller Begleiter auf dem Weg in eine nachhaltigere Zukunft. Die Ansätze und Methoden des ressourcenschonenden Gebäudedesigns sind vielschichtig und verschieden. Stadtbegrünung leistet einen wichtigen Beitrag zur Reduktion von Feinstaub und Kohlenstoffdioxid. Gemeinsam mit Flächenentsiegelung und Wasserelementen kann sie Kühlung schaffen und so dem städtischen Hitzeinsel-Effekt entgegenwirken. Eine genauso große Rolle spielen Energie- und Wassereffizienz sowie Baumaterialien und deren Ursprung. Mit Technologien zur Dämmung, Energieeinsparung und deren Gewinnung, beispielsweise mittels der intelligenten Nutzung des Abwassers, werden diese Bereiche des Bauens abgedeckt. Strategien der Nachverdichtung zur Reduktion verbauter Flächen werden das Bild des grünen Stadtbaus in Zukunft prägen.

Um ein Resümee zu ziehen: Die benötigten Technologien und Methoden für eine Architektur im Einklang mit der Umwelt müssen nicht mehr entdeckt werden. Wie die gewählten Beispielprojekte bestens zeigen, existieren sie bereits, bis hin zur Self-Sufficient-City, der sich selbst versorgenden Stadt. Jetzt ist es an der Zeit, diese Konzepte großflächig und global umzusetzen, damit auch „künftige Generationen ihre Bedürfnisse stillen können“, wie es in der UN-Definition der Nachhaltigkeit aus 1987 steht.

⁵⁶ vgl. Bingham-Hall, Patrick: Garden City Mega City. Rethinking Cities for the Age of Global Warming, Pesaro Publishing, 17.05.2016. S. 284f.

7. Literaturverzeichnis

Literaturquellen:

Bauer; Möhle; Schwarz: *Green Building. Konzepte für nachhaltige Architektur*. München: Callwey 2007.

Bingham-Hall, Patrick: *Garden City Mega City. Rethinking Cities for the Age of Global Warming*, Pesaro Publishing, 17.05.2016.

Gauzin-Müller, Dominique: *Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau. Konzepte, Technologien, Beispiele*. Basel: Birkhäuser 2002.

Rosenberger, Michael [MitwirkendeR]; Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 18, Stadtentwicklung und Stadtplanung [MitwirkendeR]. STEP 2025: Stadtentwicklungsplan Wien; Mut zur Stadt; [beschlossen vom Wiener Gemeinderat am 25. Juni 2014]. Wien. Magistratsabteilung 18, 2014.

Internetquellen:

ArchDaily: Jewel Changi Airport / Safdie Architects.
<https://www.archdaily.com/915688/jewel-changi-airport-safdie-architects> [Zugriff: 17.09.2022, 18:32]

Carsten Grobe Passivhaus: Der Passivhausstandard. <https://www.passivhaus.de/passivhaus/> [Zugriff: 08.11.2022, 20:52]

Die Umweltberatung: Innenhofbegrünung. Vorteile für Mensch und Umwelt.
<https://www.umweltberatung.at/innenhofbegruenung> [Zugriff: 7.8.2022, 17:17]

Energieleben.at: Good News: Singapur in Asien führend in grüner Architektur & nachhaltigem Gebäudedesign. 16.08.2021. <https://www.energieleben.at/good-news-singapur-in-asien-fuehrend-in-gruener-architektur-nachhaltigem-gebaeuedesign/> [Zugriff: 18.10.2022, 19:45]

Grün statt Grau: Urban Greening. Technik. <https://gruenstattgrau.at/urban-greening/technik/> [Zugriff: 7.8.2022, 18:24]

Headout: All you need to know about the National Gallery Singapore. 07.02.2022.
<https://www.headout.com/blog/national-gallery-singapore/#:~:text=The%20National%20Gallery%20Singapore%20is%20housed%20within%20two,by%20the%20Padang%20Atrium%20and%20two%20link%20bridges.> [Zugriff: 31.10.2022, 10:37]

Kunde, Jeannette: Abwasser-Wärmepumpe – Wärme aus Abwasser gewinnen. 10.04.2020.
<https://www.heizung.de/waermepumpe/wissen/abwasser-waermepumpe-waerme-aus-abwasser-gewinnen.html> [Zugriff: 17.11.2022, 20:44]

Rosina, Eva: Mit 8 Schritten zum grünen Dach. <https://www.stadt-wien.at/immobilien-wohnen/garten/dachbegruenung.html> [Zugriff: 07.08.2022, 18:05]

Schauenberg, Tim: Heiße Zukunft für Städte. Ist Abkühlung möglich? 02.08.2019. DW. <https://www.dw.com/de/hei%C3%9Fe-zukunft-f%C3%BCr-st%C3%A4dte-ist-abk%C3%BChlung-m%C3%B6glich/a-49793654> [Zugriff: 13.01.2023, 14:50]

Stadtklima Stuttgart: Der Wärmeinseleffekt. Stand 11.2.2023. https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_waermeinsel [Zugriff: 11.2.2023, 19:07]

Stadt Wien: Viertel Zwei Plus - Neues Stadtquartier an der U2. <https://www.wien.gv.at/stadtplanung/viertel-zwei-plus> [Zugriff: 06.12.2022, 19:03]

WES-LA: Stadtentwicklung VIERTEL ZWEI Plus, Wien (AT). GRÜNE INSELN. <https://www.wes-la.de/de/projekte/stadtentwicklung-viertel-zwei-plus-wien-at> [Zugriff: 06.12.2022, 19:56]

Wien 3420 aspern Development AG: Aspern. Die Seestadt Wiens. <https://www.aspern-seestadt.at/> [Zugriff: 3.1.2023, 11:18]

WOHA: Parkroyal Collection Pickering. <https://woha.net/project/parkroyal-on-pickering/> [Zugriff: 27.8.2022, 19:26]

Wong, Susie: The Architecture of National Gallery Singapore. 25.08.2017. <https://www.designandarchitecture.com/article/the-architecture-of-national-gallery-singapore.html> [Zugriff: 22.10.2022, 11:30]

8. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Parkroyal Collection Pickering, Singapur..... 21
Expedia: https://images.trvl-media.com/hotels/6000000/5410000/5400400/5400381/a0cf1c97_z.jpg [Zugriff 17.09.2022, 17:04]
- Abbildung 2: Jewel Changi Airport, Singapur, Safdie Architects 23
ArchDaily:
https://images.adsttc.com/media/images/5cbf/6206/284d/d17f/4b00/0004/newsletter/Jewel_Chang_i_Airport_Section_through_retail_and_gardens.jpg?1556046333 [Zugriff: 15.10.2022, 12:23]
- Abbildung 3: Querschnitt Jewel Changi Airport, Safdie Architects 23
Pixabay: <https://pixabay.com/de/photos/juwel-singapore-singapur-airport-5213953/> [Zugriff: 09.10.2022, 20:59]
- Abbildung 4: Atrium, National Gallery Singapore, entworfen von Studio Milou & CPG Consultants 25
Thio Lay Hoon. designandarchitecture.com: The Architecture of National Gallery Singapore. 25.08.2017. <https://dplusa.s3-ap-southeast-1.amazonaws.com/uploads/d-a-design-and-architecture-national-gallery-singapore-ngs-8.jpg> [Zugriff: 02.11.2022]
- Abbildung 5: Viertel Zwei Plus, Wien-Krieau..... 26
WES Landschaftsarchitektur. https://www.wes-la.de/var/wesla/storage/images/projekte/stadtentwicklung-viertel-zwei-plus-wien-at/12647-28-ger-DE/2018-04-viertel-zwei-plus-wien_project_stage.jpg?v17 [Zugriff: 06.12.2022, 19:24]
- Abbildung 6: Seestadt Aspern, Wien 27
Pixabay. <https://pixabay.com/de/photos/seestadt-aspern-wien-teich-stadt-4839948/> [Zugriff: 3.1.2023, 11:30]
- Abbildung 7: Kühlung von Städten am Beispiel Berlin..... 28
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. In: DW.
https://static.dw.com/image/49648777_7.png [Zugriff: 13.01.2023]