



Diplomarbeit

Integrierte Multiobjektive Optimierung : Ein Workflow-Ansatz zur Bewältigung
komplexer Probleme in der Stadtplanung am Beispiel des
Masterplans Nordbahnhof ,Freie Mitte

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom - Ingenieurs
unter der Leitung

Univ. Prof. Dr. Michael U. Hensel
E 259/1

Institut für Architekturwissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von
Simon Fuchs
12128290

Wien, am

Auszug

In der heutigen Arbeitswelt sehen sich Architekt*innen und Planer*innen häufig mit immer vielschichtigen Problemstellungen konfrontiert, jedoch sinkt die Toleranz für mögliche Fehler in der Planung stetig (Roggema, 2012). Durch den technischen Fortschritt der letzten Jahrzehnte entstehen laufend neue Möglichkeiten, diesem Trend entgegenzuwirken.

Die vorliegende Arbeit präsentiert einen alternativen Ansatz zur Gestaltung und Entwicklung von städtebaulichen Masterplänen. Es wird dargelegt, dass durch das Zusammenwirken von parametrischem Modellieren und Entwerfen mit der Möglichkeit der multiobjektiven Optimierung durch Tools wie Octopus für Grasshopper gleichzeitig mehrere grundlegende Entwurfsparameter gegeneinander abgewogen werden können, wodurch trotz komplexer Problemstellungen ein Ansatz für die Lösung der aktuellen städtischen Herausforderungen bereitgestellt wird. Im Folgenden soll die zuvor dargelegte Methode anhand eines bestehenden Masterplans für das Gelände des ehemaligen Nordbahnhofes in Wien beschrieben werden.

Der jüngste Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verdeutlicht die besorgniserregende Realität des Klimawandels, der sich mit einer höheren Geschwindigkeit vollzieht als erwartet und bereits spürbare Auswirkungen auf unsere Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft zeigt. Die Hauptursache dafür liegt in der Verbrennung fossiler Brennstoffe, insbesondere durch menschliche Aktivitäten. Um die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, was entscheidend ist, um katastrophale Folgen zu vermeiden, sind drastische Reduzierungen der globalen Treibhausgasemissionen um 45 % bis 2030 bzw. um 100 % bis 2050 erforderlich (IPCC, 2023). Der Klimawandel betrifft nicht nur entfernte Gebiete, sondern auch Städte in gemäßigten Klimazonen wie Wien. Studien belegen, dass das Klima in Wien bis zum Jahr 2050 dem heutigen Skopje ähnlich sein könnte (Bastin et al., 2019). Die Auswirkungen des Klimawandels werden signifikante Temperaturanstiege und längere Hitzeperioden mit sich bringen, was erhebliche Auswirkungen auf die

Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung sowie auf das städtische Leben haben wird (ÖKS15, 2016). Der Klimawandel wird in der Literatur häufig als „wicked problem“ beschrieben (Sun & Yang, 2016), ein komplexes soziales Problem, das aufgrund verschiedener, oft widersprüchlicher Faktoren schwer zu bestimmen und zu lösen ist (Rittel and Webber, 1973). Ein ganzheitlicher, koordinierter und langfristiger Ansatz ist erforderlich, da eine Vielzahl von Faktoren wie menschliche Aktivitäten, politische Entscheidungen, wirtschaftliche Interessen und natürliche Prozesse den Klimawandel beeinflussen. Design Thinking hat sich als effektiver Ansatz zur Bewältigung komplexer Probleme erwiesen. Es betont lösungsorientiertes Denken und bezieht sowohl Problemparameter als auch potenzielle Lösungen in die Überlegungen mit ein. Des Weiteren kann dieser Ansatz dazu beitragen, die Herausforderungen des Klimawandels anzugehen, indem es kreative und ganzheitliche Lösungsstrategien fördert (Brown, 2009). Die Herangehensweise in architektonischen Entwurfsprozessen unterscheidet sich erheblich von der in Ingenieur- und Naturwissenschaften. Der architektonische Entwurf ist ein Prozess, der sich aus Synthese, Konzeptentwicklung und Verbesserung zusammensetzt, während Ingenieuraufgaben oft analysiert und in kleinere Teile aufgeteilt werden (Vierlinger, 2013). Daher ist für die Optimierung architektonischer Entwürfe eine flexiblere und benutzerinteraktivere Herangehensweise erforderlich, wobei der/die Architekt*in die Kontrolle behält und die endgültigen Entscheidungen trifft.

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Problematik der „wicked Problems“ im Kontext der Nachhaltigkeit und entwickelt einen Workflow, der die Problematik der multifaktoriellen Probleme des Klimawandels mit den Möglichkeiten der multiobjektiven Optimierung adressiert. Für die vorliegende Arbeit wird auf die Planungssoftware Rhinoceros sowie diverse Plug-ins zurückgegriffen. Zur Integration der Multiobjektiven Optimierung in einen Workflow wird hier auf das Tool Octopus, ein Plugin für das in Rhino integrierte Grasshopper, zurückgegriffen. Die Entscheidung für Rhino/Grasshopper basiert auf der intuitiven parametrischen Designoberfläche sowie der großen Variabilität von Open-Source-3D-Plug-ins. Die Entscheidung für Octopus fiel aufgrund der einfachen Handhabung sowie der guten Dokumentation des ihres Schaffers. Im Folgenden wird eine

Arbeitsweise beschrieben und bewertet, wobei als Fallstudie der bestehende Masterplan am ehemaligen Wiener Nordbahnhof „Freie Mitte“ dient. Die Wahl dieses Gebiets wurde aus mehreren Gründen getroffen. Einerseits ist das Gebiet aus früheren Projekten bekannt und verfügt über eine gute Datenlage. Andererseits weist das Gebiet eine interessante Größe auf, sodass auch klimatische Auswirkungen in die Betrachtung miteinbezogen werden können. Der bezeichnete Masterplan fungiert als Referenz für den Arbeitsprozess und definiert gewisse Rahmenbedingungen für die Optimierung. Des Weiteren werden sowohl die definierten Baufelder als auch deren Dichte übernommen, um eine gewisse Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Als Grundlage der Optimierung dient ein Grasshopperskript, welches darauf abzielt, parametrisch eine Vielzahl von potenziellen Alternativen für den bestehenden Masterplan zu liefern. Das Volumen der erzeugten Gebäude orientiert sich am Bestand, wobei die Platzierung, Anzahl und Maße der Gebäude sowie deren Maße variabel gehalten werden, um eine größere Varianz zu gewährleisten. Ebenso wichtig für die Optimierung sind die Key Indikatoren, die einerseits zur Bewertung des bestehenden Masterplans, andererseits aber auch als Zielindikatoren für die Optimierung verwendet werden. Bei der Auswahl der Indikatoren waren zwei Punkte ausschlaggebend: die Rechenzeit pro Analysedurchlauf und die Relevanz für eine nachhaltige Stadtplanung. Die Indikatoren sind Grünflächenanteil, Versiegelungsgrad, Kosten, UHI-Effekt und Windgeschwindigkeit. Dabei wurde auf eine gute Verteilung der Indikatoren auf die drei großen Säulen der Nachhaltigkeit, Ökologie, Ökonomie und soziale Relevanz, geachtet. Zusätzlich zur Bewertung des Bestandes wird nun durch die Optimierung mit nur einem Indikator ein globales Optimum definiert, das als zweiter Benchmark für die Qualität der Optimierung dienen soll. Nach der Optimierung mit drei Indikatoren (Sichtbarkeit, Versiegelungsgrad und Kosten) werden nun Schritte zur Auswahl der “besten” Lösung vorgeschlagen. Durch die Bestimmung der objektiv besten Lösung durch Messung des Abstands der Lösungen auf der Pareto-Front zum Ursprung wird die Anzahl der auszugebenden Lösungen auf 5 reduziert. In einem nächsten Schritt werden die Lösungen manuell weiter bewertet, durch Analyse des UHI-Effektes (Kühlungspotential) und Messung der Windgeschwindigkeiten und erneutem Vergleich mit dem Bestand kann eine “beste Lö-

sung“ gefunden werden. Es wird darauf hingewiesen, dass die Auswahl und Reihenfolge der verwendeten Indikatoren beispielhaft ist und im Einzelfall angepasst werden kann. Sie dienen der Veranschaulichung des zweistufigen Workflows. Natürlich ist ein direkter Vergleich mit dem Bestandsleitbild nur eingeschränkt möglich, da bei dessen Erstellung wesentlich mehr Einflussfaktoren relevant waren. Obwohl einige Faktoren sicherlich in ein detaillierteres Geometrieskript einfließen könnten, müsste nun eine weitere kritische Auseinandersetzung mit der entstandenen Geometrie stattfinden. Die vorgestellte Lösung ist daher als eine Art Volumenstudie zu betrachten, die auf der Grundlage der angenommenen Indikatoren und des zugrundeliegenden Geometrieskripts erstellt wurde. Sie kann als eine Brainstorming-Methode angesehen werden, die in den frühen Entwurfsphasen Anwendung finden kann. Sicherlich ist dieser Workflow nicht perfekt, wie auch die ausgegebenen Lösungen, es gibt viele Optimierungen der Skripte, der angenommenen Daten und auch die Einfachheit des Geometrieskripts sind in Frage zu stellen. Dennoch zeigt sich deutlich, welches Potential in der einfachen Handhabung der parametrischen Oberfläche von Grasshopper in Kombination mit dem leistungsfähigen Optimierungsalgorithmus und dessen hervorragender Integration in Octopus für einen Workflow für komplexe Aufgabenstellungen im Städtebau der Zukunft steckt.

Abstract

In today's working world, architects and planners are often confronted with increasingly complex problems, but the tolerance for possible errors in planning is constantly decreasing (Roggema, 2012). The technical progress of recent decades is constantly creating new opportunities to counteract this trend.

This paper presents an alternative approach to the design and development of urban masterplans. It is shown that through the interaction of parametric modelling and design with the possibility of multi-objective optimisation using tools such as Octopus for Grasshopper, several basic design parameters can be weighed against each other simultaneously, providing an approach for solving current urban challenges despite complex problems. In the following, the method described above will be exemplified using an existing masterplan for the site of the former Nordbahnhof railway station in Vienna.

The latest report from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) highlights the worrying reality of climate change, which is occurring at a faster rate than expected and is already having a noticeable impact on our environment, society and economy. The main cause of this is the burning of fossil fuels, particularly by human activity. To limit global warming to 1.5 °C, which is crucial to avoid catastrophic consequences, drastic reductions in global greenhouse gas emissions of 45 % by 2030 and 100 % by 2050 are required (IPCC, 2023). Climate change not only affects remote areas, but also cities in temperate climate zones such as Vienna. Studies show that the climate in Vienna could be similar to today's Skopje by 2050 (Bastin et al., 2019). The effects of climate change will bring significant increases in temperature and longer periods of heat, which will have a considerable impact on the health and well-being of the population and on urban life (ÖKS15, 2016). Climate change is often described in the literature as a „wicked problem“ (Sun & Yang, 2016), a complex social problem that is difficult to determine and solve due to various, often contradictory factors (Rittel and Webber, 1973). A holistic, coordi-

nated and long-term approach is required as a variety of factors such as human activities, political decisions, economic interests and natural processes influence climate change. Design thinking has proven to be an effective approach to tackling complex problems. It emphasises solution-oriented thinking and includes both problem parameters and potential solutions in the considerations. Furthermore, this approach can help address the challenges of climate change by encouraging creative and holistic solution strategies (Brown, 2009). The approach in architectural design processes differs significantly from that in engineering and natural sciences. Architectural design is a systematic process consisting of synthesis, concept development and improvement, whereas engineering tasks are often analysed and broken down into smaller parts (Vierlinger, 2013). Therefore, a more flexible and user-interactive approach is required to optimise architectural designs, with the designer retaining control and making the final decisions.

This thesis is dedicated to the problem of „wicked problems“ in the context of sustainability and develops a workflow that addresses the multifactorial problems of climate change with the possibilities of multi-objective optimisation. The Rhinoceros planning software and various plug-ins are used for this work. To integrate multi-objective optimisation into a workflow, the Octopus tool, a plug-in for Grasshopper, which is integrated into Rhino, is used. The decision in favour of Rhino/Grasshopper was based on the intuitive parametric design interface and the great variability of open source 3D plug-ins. The decision in favour of Octopus was made due to its ease of use and the good documentation provided by its creator. In the following, a working method is described and evaluated, using the existing masterplan at the former Vienna North Station „Freie Mitte“ as a case study. This area was chosen for several reasons. On the one hand, the area is known from previous projects and has a good data situation. On the other hand, the area is of an interesting size so that climatic effects can also be included in the analysis. The designated master plan serves as a reference for the work process and defines certain framework conditions for optimisation. Furthermore, both the defined building plots and their density are adopted in order to ensure a certain degree of comparability. A Grasshopper script serves as the basis

for the optimisation, which aims to provide a large number of potential parametric alternatives for the existing master plan. The volume of the generated buildings is based on the existing buildings, whereby the placement, number and dimensions of the buildings and their dimensions are kept variable in order to ensure greater variance. Equally important for optimisation are the key indicators, which are used both to evaluate the existing master plan and as target indicators for optimisation. Two points were decisive in the selection of the indicators: the calculation time per analysis run and the relevance for sustainable urban planning. The indicators are proportion of green space, degree of sealing, costs, UHI effect and wind speed. Care was taken to ensure a good distribution of the indicators across the three main pillars of sustainability: ecology, economy and social relevance. In addition to evaluating the portfolio, a global optimum is now defined by optimising with just one indicator, which is intended to serve as a second benchmark for the quality of the optimisation. Following optimisation with three indicators (visibility, degree of sealing and costs), steps are now proposed for selecting the „best“ solution. By determining the objectively best solution by measuring the distance of the solutions on the Pareto front to the origin, the number of solutions to be output is reduced to 5. In a next step, the solutions are further evaluated manually and a „best solution“ can be found by analysing the UHI effect (cooling potential) and measuring the wind speeds and comparing them again with the inventory. It should be noted that the selection and order of the indicators used is exemplary and can be adapted in individual cases. They serve to illustrate the two-stage workflow. Of course, a direct comparison with the inventory model is only possible to a limited extent, as many more influencing factors were relevant when it was created. Although some factors could certainly be incorporated into a more detailed geometry script, a further critical examination of the resulting geometry would now have to take place. The solution presented should therefore be seen as a kind of volume study that was created on the basis of the assumed indicators and the underlying geometry script. It can be seen as a brainstorming method applied in the early design phases. Certainly this workflow is not perfect, as are the output solutions, there are many optimisations of the scripts of the assumed data and the simplicity of the geometry script are questionable. Nevertheless,

for me it clearly shows the potential of the simple handling of the parametric interface of Grasshopper in combination with the powerful optimisation algorithm and its excellent integration in Octopus for a workflow for complex tasks in urban planning of the future.

Inhalt

Klimawandel ein Status Quo	14
Nachhaltigkeit und Resilienz	18
Die ideale Stadt als Utopie	21
Komplexe Problemstellungen	23
Algorithmische Optimierung in der Architektur	29
Fallstudie Nordbahnhof Wien	39
Workflow Optimierung	
Geometrie	45
Indikator: Versiegelung des Bodens durch Gebäude	48
Indikator: Geschätzte Gesamtkosten	52
Indikator: Sichtbarkeit der Grünflächen	56
Indikator: Abkühlungsfaktor	60
Indikator: Windgeschwindigkeiten	72
Auswahl und Abwägungen	79
Conclusio	90
Weiter Schritte	95
Epilog	99
Anhang	

Einleitung

Klimawandel Current State

Der aktuelle IPCC-Bericht verdeutlicht eine beunruhigende Realität: Der Klimawandel schreitet in einer höheren Geschwindigkeit voran, als erwartet und zeigt bereits spürbare Auswirkungen auf unsere ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Systeme. Das versteifte beharren auf der Notwendigkeit fossiler Brennstoffe stellt die Hauptursache für dieses Phänomen dar. Um eine Begrenzung der steigenden Temperaturen global auf 1,5 Grad Celsius (WMO, 2023) anzustreben, ist eine drastische Reduzierung notwendig. Hier schlägt der Bericht einen Aktionsplan vor, der die weltweiten Treibhausgasemissionen um 45 % bis zum Jahr 2030 bzw. bis 2050 eine Reduzierung des Ausstoßes von CO₂ um 100 % erfolgen vorsieht. Jedoch wäre eine Vorgabe zu Sub Zero, dass heißt nicht nur die Begrenzung, sondern ein Plan der schrittweisen Rückkehr zu vorindustrieller Zeit wünschenswert. Jedoch tritt selbst der Anstieg der Erwärmung um 1,5 Grad Celsius mit Sicherheit deutlich früher ein, als prognostiziert. Vielleicht sogar schon in den nächsten fünf Jahren eintreten (Helmholz, 2022). Um diesen dramatischen Entwicklungen entgegenzuwirken ist ein Umdenken in allen ebene unseres heutigen Zusammenlebens notwendig und sollte auch ein Anlass sein, unsere Herangehensweise an die gebaute Umwelt zu überdenken.

Der Bericht hebt weiter hervor, dass wir uns der Tatsache bewusst zu sein müssen, dass die Auswirkungen des Klimawandels nicht gleichmäßig global verteilt sind. Sondern insbesondere die ärmsten gleichzeitig auch die gefährdetsten Bevölkerungsgruppen sind. Diese fragilen Teile der globalen Gesellschaft müssen schon heute mit den gravierenden Folgen der Auswirkungen des Klimawandels auskommen. Zusätzlich zu einer detaillierten Analyse verschiedener Bereiche, darunter Energie, die des zu Verfügung stehenden Landes, urbaner Entwicklungen und Infrastruktur, um nur einige hervorzuheben, sowie Berichte zu unterschiedlichen Regionen weltweit. Diese genauen Informationen bieten eine Grundlage, die politischer Entscheidungsträger benötigen, um gezielte Maßnahmen

zu entwickeln und gezielte Planung Anpassung zu erzielen. Jedoch wird auch darauf hingewiesen, dass notwendige Transformation unserer Wirtschaft und Gesellschaft auch vom Handeln des Individuums abhängt. Diese Maßnahmen bieten, wenn richtig implementiert, die Möglichkeit den Klimawandel zu begrenzen. Und wird im Weitern sogar Chancen eröffnen, um eine nachhaltige und lebenswerte Zukunft für alle zu gestalten. (IPCC, 2023)

Auch führt der Bericht an, dass Städten eine zentrale Rolle bei der Erzielung der oben genannten Ziele haben. Dies gilt insbesondere für die Anwendung eines Planungsansatzes in den sowohl physische, natürliche als auch soziale Infrastruktur integriert wird. Das beschriebene Vorgehen, der durch eine innovative Stadtplanung, einen geringeren Energieverbrauch und effiziente Infrastrukturverbesserungen wird der Schlüssel zu den notwendigen Emissionssenkungen werden, so der Bericht. Das Potenzial von Städten, Netto-Null-Emissionen zu erreichen ist jedoch nicht nur Aufgabe oder Verantwortung, der Stadt selbst, sondern auch die des Umlandes. Es zeigt sich, dass durch immer stärker Vernetzung mit dem Umland Städte vor allem in Sektoren wie Verkehr aber auch Transport über die eigentlichen Grenzen der Stadtverwaltung hinauswachsen. Hier ist auf einen Gemeinsamen Planung Ansatz zu setzten der inklusiv die Bedürfnisse aller beteiligter berücksichtigt. Auch wird das Augenmerk auf resiliente Planung von Stadtstrukturen und Gebäuden gelegt, auf das im zweiten Abschnitt dieser Einleitung eingegangen werden soll. Als weitere Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels, werden genannt, die Planung von Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus hinweg, emissionsarme Technologien im Verkehrsbereich, Integration von grüner Infrastruktur in neue und bestehende Urbane Systeme und die gleichmäßige Verteilung von Chancen im Bildungs und Wirtschaftssektor, um Armut und Segregation vorzugreifen. Schließlich nennt der Bericht direkte Folgen, die durch den Klimawandel entstehen, und auf die vor allem Städte vorbereite sein müssen. Ereignisse wie den Meeresspiegelanstieg, Desertifizierung und Überflutungen durch eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Extremwetter Ereignissen. Durch diese Ausgelöst, wird es eine Umsiedelung aus betroffenen Gebieten geben, die den Druck auf den Wohnungsmarkt und die Verfügbarkeit von Infrastruktur erhöht. Der Bericht appelliert an

eine umfangreiche Auseinandersetzung mit den Beschriebenen Themen um auch in Zukunft ein nachhaltiges Leben in Städten zu ermöglichen. (IPCC, 2023)

Wie schon im obigen Abschnitt gezeigt, treffen die Auswirkungen des Klimawandels insbesondere die ärmsten Regionen der Erde, so auch in Lagos, Nigeria. Im Folgenden soll kurz auf die prekäre Lage eingegangen werden. Durch die Lage Lagos unmittelbar vor der Küste Nigerias, die von Brackwasserflächen geprägt ist, ergeben sich viele Problem. Durch den Anstieg des Meeresspiegels und wiederkehrenden Sturmfluten in den letzten Jahren wurden viele Teile, vor allem Informelle Siedlungen überschwemmt und zerstört. Dennoch ziehen aus ruralen Teilen des Landes weiter Menschen in die Umliegenden Gebiete Lagos, was zu einem hohen Anteil an Informellen Siedlungen führt. Auch Studien belegen die düstere Realität für Lagos. Wie etwa in den Jahren 2010 und 2011, in welchen die meisten Teile von Kuramo, Ikoyi/Victoria Island, Lekki und Apapa auf den Barriereinseln sowie über 1.500 Haushalte und 10 Gemeinden in Teilen von Ikorodu und Ajegunle auf dem Festland stark betroffen waren (Elias & Omojola, 2015). Eine weitere Studie über die Auswirkungen von Überschwemmungen auf die Fischproduktion in Lagos ergab, dass Veränderungen bei den Niederschlagsmustern, der Temperatur und dem Wind mehr als 81 % der Fischzüchter in diesem Bundesstaat beeinträchtigen könnten (Adeoti et al., 2010). Es besteht Handlungsbedarf, um weitgreifenden Herausforderungen des Klimawandels anzugehen und die Resilien der Stadt zu stärken. Eine integrative Planung sowie gut durchdachte Strategien sind notwendig, um die fatalen Auswirkungen abzumildern und das Wohlergehen der Bevölkerung von Lagos zu gewährleisten.

Der Bericht zeigt jedoch auch auf, dass auch Städte in den gemäßigten Klimazonen wie Wien von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind. Eine Studie der ETH Zürich zeigt, dass sich das Klima in Wien bis zum Jahr 2050 an das Klima des heutigen Skopje annähern könnte. Die höchste Temperatur des wärmsten Monats wird dann voraussichtlich um 7,6 °C steigen. Dies würde unweigerlich zu einer mittleren jährlichen Temperaturänderung von 2,3 °C führt (Bastin et al., 2019). Gemäß dem Klima-Fact-Sheet

für Klimaszenarien für das Bundesland Wien ist bis zum Jahr 2100 bei einer business-as-usual-Haltung mit einer Erhöhung der Hitzeperioden im Jahresmittel um 23 Tage zu rechnen. Auch bei einem Szenario mit wirksamen Klimaschutzmaßnahmen steigt der Wert um weitere 10 Tage an (ÖSK15., 2016). Die klimatischen Änderungen werden tiefgreifende Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden Der Bewohner*Innen haben. Noch dazu legt die Studie nahe, dass kein messbarer Anstieg der Niederschlagsmengen im Wien zu verzeichnen sein wird. Dies lässt den Schluss zu, dass sich die Planung von neuer aber auch die Pflege der bestehenden Grünen Infrastruktur in Wien Grundlegend ändern muss. Aber auch andere Infrastrukturen, wie Verkehrsmittel oder Freiflächen sind von diesen Veränderungen betroffen und verlangen einer sorgfältigen Planung in den kommenden Jahren.

Es kann also zusammenfassend gesagt werde, dass der IPCC-Bericht grundlegend zu eine Integrativen Planung aufruft, die Sowohl die Städtischen Entscheidungsträger als auch jener der umliegenden Gemeinden weltweit inkludiert. Hier ist diese Integration sicherlich nicht als Hindernis, sondern als Chance zu sehen. Diese Planung soll allen Sektoren aus Umwelt, Sozial und Wirtschaft zugutekommen und dabei auf eine gerechte und faire Verteilung der zur Verfügung stehenden Ressourcen auf alle achten. Jedoch ist nicht nur der Mensch in den Vordergrund zu rücken, sondern auch in gleichen Teilen auf die Tier- und Pflanzenwelt zu achten und naturnahe Lebensräume zu schaffen. Im folgende Abschnitt sollen nun die Im IPCC-Bericht oft genannten Konzepte der Nachhaltigkeit und der Resilienz erörtert werden.

Nachhaltigkeit und Resilienz

Da nun einige der wichtigsten Grundlagen des Klimawandels in der Planung besprochen wurden sollen nun in folgendem Teil die Begriffe der Nachhaltigkeit und der Resilienz tiefer betrachtet werden. Diese Begriffe werden oft simultan genannt, Obwohl ihre Unterschiede in ihren Definitionen klar ersichtlich sind. Von entscheidender Bedeutung sind die korrekte Verwendung dieser Begrifflichkeiten. Der Begriff der Nachhaltigkeit beschreibt die langfristige haushalten von Ressourcen und das Verteilen und gleichmäßige priorisieren von ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Interessen. Auf der anderen Seite, fokussiert sich Resilienz auf die Anpassungsfähigkeit und Widerstandskraft eines Systems zum Beispiel einer Stadt, aber auch eines Unternehmens oder einer Gesellschaft. Diese Widerstandsfähigkeit richtet sich gegen Störungen und Krisen, jedoch ist zu beachten, dass diese kurzfristig destabilisierend wirken können. Das Einbeziehen von Nachhaltigkeitsprinzipien und die Förderung von Resilienzmaßnahmen können in der Planung von entscheidender Bedeutung sein, um die Widerstandsfähigkeit, Effizienz und Lebensqualität angesichts der immer drastischeren Auswirkungen des Klimawandels und akuter Krisen zu verbessern. (Fathi, 2019)

Resilienz

In der Literatur wird das Konzept der Resilienz ausgiebig beschrieben und spezifiziert. So definiert Pickett Resilienz wie folgt. “the ability of a system to adjust in the face of changing conditions” (vgl. Pickett et al. 2004). Jedoch bietet auch das Paper „Defining urban resilience: A review” von Meerow et al. eine umfangreichere Definition von Resilienz, die auf die Fähigkeit eines Systems abzielt, sich an Veränderungen anzupassen, von Störungen zu erholen und sich weiterzuentwickeln. Diese Definition wird allgemein für unterschiedliche Systeme, unter anderem städtischer, aber auch sozialer oder ökologischer, betrachtet. Es wird hervorgehoben, dass die Resilienz durch verschiedene Prozesse, wie Dauerhaftigkeit, Übergang und Transformation, gekennzeichnet ist. Auch wird die Wichtigkeit des zeitlichen Rahmens hervorgehoben und eine generelle Fähigkeit an Anpassung kleinerer Spezifischer Anpassungen bevorzugt. Des Weiteren wird das Konzept

der Resilienz als ein Zustand definiert, den es final zu erreichen gilt. Dieser kann durch empirische Umsetzung in den einzelnen Systemen erreicht werden. Die Autoren beschreiben das urbane System als komplex, aber auch adaptiv, es besteht aus sozio-ökologischen und sozio-technischen, in sich geschlossenen Netzwerken. Diese Netzwerke sind in unterschiedlichen räumlichen Maßstäben vorhanden. Es wird verstärkt darauf hingewiesen, dass das Konzept der Resilienz als Werkzeug dienen kann, um die erforderliche Zusammenarbeit in der Planung zu fördern und Resilienz in Bezug auf verschiedene Aspekte in urbanen Systemen zu integrieren. (Meerow et al. 2016)

Im Weiteren geben sie auch eine eigene Definition wie Resilienz im Urbanen Kontext definiert werden kann:

Urban resilience refers to the ability of an urban system-and all its constituent socio-ecological and socio-technical networks across temporal and spatial scales-to maintain or rapidly return to desired functions in the face of a disturbance, to adapt to change, and to quickly transform systems that limit current or future adaptive capacity. (Meerow et al., 2016)

Diese Definition hebt vor allem den Aspekt hervor, dass Städte im Hinblick auf die zunehmende Urbanisierung und die Verstärkung des Klimawandel immer häufiger bestrebt sein sollten, ihre Resilienz zu verbessern. Die Autoren gehen sogar so weit, die bestehenden Definitionen von urbaner Resilienz zu kritisieren. Sie beschreiben diese Definitionen als inkonsistent und unzureichend. Die oben genannte Definition soll diesen Defiziten entgegenwirken und außerdem eine notwendige Flexibilität beibehalten. Zusätzlich zu diesem wesentlichen Aspekt wird die Fähigkeit einer Stadt, sich an gegebenen Veränderungen anzupassen, von plötzlich auftretenden Störungen zu erholen und sich auf Grund dieser weiterzuentwickeln, noch einmal hervorgehoben. Es wird auch die Bedeutung von Flexibilität, Anpassungsfähigkeit und die Zeit bis eine Reaktion auf auftretende Ereignis

nisse zu erwarten ist und Schließlich die Erholungszeit, die eine Stadt nach einer Störung benötigt, um den Zustand vor dem Ereignis wiederherzustellen. Zusätzlich wird auch betont, dass Resilienz auch die Evolution beinhaltet, um das bestehende System nach einer Störung weiterzuentwickeln, um in Zukunft auf ähnliche Ereignisse vorbereitet zu sein. (Meerow et al., 2016)

Nachhaltigkeit

Im Brundtland-Bericht, der 1987 veröffentlicht wurde, wird der Begriff und das Konzept der nachhaltigen Entwicklung zum ersten Mal einheitlich, beschrieben und definiert. Diese Definition nach wird nachhaltige Entwicklung als ein Abwiegen zwischen den akuten Bedürfnissen der Gesellschaft und den zukünftigen Möglichkeiten der kommenden Generationen beschreiben. Es werden hier zwar keine absoluten Grenzen definiert, jedoch Einschränkungen, die durch den aktuell andauernden Fortschritt der Technologie und sozialen Systemen, die in Relation zum Umgang mit Umweltressourcen und die dadurch fragile Belastbarkeit der Biosphäre bestimmt werden. Generell kann gesagt werden, dass der Bericht darauf abzielt, dass das Voranschreiten der technischen Entwicklung und der Neuorganisation von Sozialen Systemen als Möglichkeit gesehen wird ökologische Problemstellungen zu Lösen. Die globale Armut wird als das größte Problem für eine nachhaltige Entwicklung gesehen. Da sich ihre Auswirkung nicht nur auf soziale Aspekte beschränkt, sondern auch die Resilienz urbaner Systeme vor ökologischen Katastrophen reduziert. Die Integration von nachhaltiger Entwicklung sieht nicht nur ein wirtschaftliches Wachstum für den globalen Süden, sondern generell eine gerechte Verteilung von Ressourcen weltweit vor, um ein faires und gleichmäßiges Wachstum zu ermöglichen. Es wird vorgeschlagen, dass dieses gerechte Wachstum auch durch eine partizipative und stärkere demokratische Integration von Individuen in politischen Systemen auf der nationalen Ebene erreicht werden kann. Auch wird an eine Anpassung des Aktuellen Lebensstiles der wohlhabenden Bevölkerungsgruppen des globalen Nordens appelliert. Die Notwendigkeit eines ausgewogenes Bevölkerungswachstum ist essenziell, um den Druck auf die Umwelt und die natürlichen Ressourcen zu reduzieren und die Lebensqualität

möglichst vieler Menschen zu erhalten. Nachhaltige Entwicklung ist demnach als ein fortlaufender Prozess zu verstehen, der die Anpassung der Ressourcennutzung, Investitionen, Technologie und Institutionen nicht nur an aktuelle Bedürfnisse, sondern auch zukünftige fordert. Letztlich basiert nachhaltige Entwicklung auf politischem Willen diese zu integrieren und auch umzusetzen. (Development, W. C. O. E. A., 1987)

In seinem Buch „The Sustainable City“ definiert Steven Cohen rund 50 Jahre später die nachhaltige Stadt als eine Idee zeitgenössische, menschliche Siedlungen zu entwickeln, die sich als umweltverträglich bezeichnen lassen. Diese Städte sollen jedoch ohne negative Einwirkung auf die natürlichen Ressourcen und Systeme sein, da diese für das Wohlergehen der Menschheit von zentralem Interesse sind. Laut Cohen soll eine nachhaltige Stadt, die Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen zu reduzieren. Gleichzeitig soll der Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen zu auf ein Minimum gesenkt werden. Die Abwässer einer solchen Stadt sollen nach einer Behandlung mit maximaler Schadstoffentfernung in natürliche oder naturnahe Wasserläufe rückgeführt werden. Zwar wird Wasser, mehr als Energie, als wertvolles Gut angesehen werden, dennoch sollen beide gleichermaßen effizient genutzt werden. Auch Abfall soll reduziert werden durch die Erhöhung von der Produktion von recycelbaren Stoffen, wird dessen Auswirkungen minimiert. Weiter schildert Cohnen, dass es keine umfassende, allgemein anerkannte Definition einer nachhaltigen Stadt gibt. Jedoch lassen sich in der Literatur sich diverse Ansätze zur Definition nachhaltiger Städte finden. Die meisten Definitionen bewerten nachhaltig Städte an einem oder mehreren der folgenden Kategorien: Umwelt-, Wirtschafts-, Sozial-, politische, demografische, institutionelle und kulturelle Ziele. Auch wird auf die Wichtigkeit hingewiesen, dass nachhaltige Städte Orte sein sollen, die nicht nur ökologischen Faktoren entsprechen, sondern auch Orte, die Menschen anzieht und an denen Handel und Kultur entstehen kann. Da diese Orte Möglichkeiten für menschliche Interaktion und Entwicklung bieten, sie bieten den nötigen Raum für verschiedene Formen von Kultur zum Beispiel Unterhaltung und sozialer Interaktion. In Cohens Konzept eine nachhaltige Stadt zu planen und zu entwickeln, wird nicht nur die Vermeidung von Schäden

am natürlichen Umfeld integriert, sondern auch an Orte gedacht von denen Lebensqualität sowie Attraktivität für Menschen als auch Kultur und Wirtschaft profitieren. Somit kann der Gegenentwurf der nicht nachhaltigen Stadt als eine beschrieben werden, die wirtschaftlichen Aspekte priorisiert, und diese auf Kosten von ökologischen Systemen und Kultur in den Vordergrund stellt und somit die Lebensqualität der Menschen herabsetzt. Interessant ist, dass der Autor diese Überlegungen anhand seiner eigenen Erfahrung in New York City illustriert. Er beschreibt im Weiteren die Transformation der Stadt von der industriellen Produktion zu einer heutigen postindustriellen Metropole. Auch werden die Ideen und Konzepte der Stadt New York zur nachhaltigen Planung und deren Umsetzung diskutiert. (Cohen, 2017)

Die ideale Stadt als Utopie

Sicherlich steht die Planung bei der Gestaltung von nachhaltigen Städten und Gebäuden von einer außerordentlich komplexen Aufgabe. Die Planung einer solchen Stadt, liegt im Aufgabenbereich von vielen verschiedenen Fachbereichen und Kompetenzen, die sorgsam gegeneinander abgewogen werden wollen. Das Ziel muss sein einem imaginären Idealbild nahe zu kommen. Diese zukunftsorientierte Art des denkens und der Planung, kann anfangs wie eine Utopie aufgefasst werden. Jedoch ist wichtig zu bedenken, was uns der technische Fortschritt des letzten Jahrhunderts gelehrt hat. Was heute noch als Utopie erscheint, könnte in einigen Jahren oder Jahrzehnten zum Alltag für alle Bewohner*innen. Hier soll jedoch an alle diese Bewohner*Innen gedacht werden, seien sie menschlich, tierisch oder pflanzlich.

Das Konzept der idealen Stadt, wie es im Buch „The Ideal City – exploring urban futures“ von gestalten dargestellt wird, ist äußerst vielschichtig und schwer greifbar. Die Autoren von SPACE10 unterteilen die ideale Stadt in fünf Hauptkategorien: die nachhaltige Stadt, die sichere Stadt, die geteilte Stadt, die zugängliche Stadt und die lebenswerte Stadt. Die einzelnen Säulen umfassen jeweils einen spezifischen Aspekt der Stadtentwicklung. Dabei ist zu beachten, dass keines der Elemente als wichtiger oder weniger wichtig eingestuft werden kann. Vielmehr ist eine ausgewogene Berücksichtigung aller

Aspekte erforderlich, um ein umfassendes Verständnis der Stadtentwicklung zu erlangen. In diesem Werk wird die ideale Stadt als eine Art Utopie verstanden, wie auch Bjarke Ingels in diesem Buch wie folgt aufgreift. In seiner Utopie beschreibt er einen Ort, der in der Realität nicht existieren kann, der jedoch das Ziel sein sollte (Klanten et al., 2021). Die von Klanten et al. getätigten Aussagen verdeutlichen die Relevanz, bei der Planung eines Gebäudes oder urbanen Raumes Schritt für Schritt einen Beitrag zur Verbesserung der gebauten Umwelt zu leisten. Der Begriff „Utopia“ hat seinen Ursprung im Griechischen und bedeutet so viel wie „Nicht-Ort“ oder „Nirgendwo“. Erstmals wurde er von Thomas Morus in seinem gleichnamigen Werk beschrieben (Kroh, 2012). Die Auseinandersetzung mit dem Gedanken, dass das, was gegenwärtig als utopisch betrachtet wird, zukünftig zum Alltag werden könnte, ist ein wiederkehrendes Motiv in der Literatur und im Denken. Ihre Werke demonstrieren, dass die utopischen Visionen vergangener Tage häufig zu realen Innovationen und Fortschritten geführt haben. Ideen, die einst als unmöglich galten, wurden zu wichtigen Bestandteilen unseres Lebens. Die Werke „Fahrenheit 451“ (Bradbury, 2012), „Schöne neue Welt“ (Huxley, 1958) und „1984“ (Orwell, 2013) zeichnen sich durch eine jeweils eigene Art der Utopie oder Dystopie aus, die sich in der Regel mit den gesellschaftlichen Verhältnissen in der Zukunft auseinandersetzt. Die Texte lassen jedoch erkennen, dass der Autor die Realisierung der beschriebenen Umstände für möglich hält und somit ein potenzielles Morgen skizziert. Der Gedanke der Utopie, als eine Leitlinie für die Gestaltung unserer Umgebung, bildet die Grundlage für das Konzept „The Ideal City“. Ein Ansatz, der, obwohl utopisch, dazu ermutigt, die eigenen Visionen in die Realität umzusetzen, um eine lebenswertere Zukunft zu gestalten.

Komplexe Problemstellungen

Die vorherigen Abschnitte haben gezeigt, dass Planung nicht nur im architektonischen, sondern viel mehr im allgemeinen Sinne, mit aller Anstrengung aller beteiligten nachhaltig und resilient sein muss, um ein zukünftiges Leben auf diesem Planeten zu ermöglichen.

Um nachhaltiger und resilienter Planung ein Gerüst zu bieten, an dem sich Planer*innen bei der Schaffung neuer städtischer Umgebungen orientieren können, erließ die Generalversammlung der Vereinten Nationen 2015 die Agenda 2030. In dieser soll durch Definition von 17 SDGs oder auch Sustainable Development Goals die nachhaltige Entwicklung aller Staaten verstärkt werden (UN, 2023). Hensel reiht die wichtigsten SDGs wie folgt auf. SDG 11: „Sustainable cities and communities“, da dieses Im direkten Zusammenhang mit der wachsenden Rolle von Städten in der Unterbringung der wachsenden Zahl an Menschen steht. Weiter folgen, SDG 1: „No poverty“, SDG 6: „Clean water and sanitation“, SDG 7: „Affordable and clean energy“, SDG 8: „Decent work and economic growth“, SDG 9: „Industry, innovation and infrastructure“, SDG 12: „Responsible consumption and production“ und final SDG 13: „Climate actions“. Weiter schreibt er, dass alle diese Ziele eng miteinander in Verbindung stehen und einander bedingen. (Chokhachian et al., 2022)

Nun gibt die EU jährlich einen Bericht zum Vorschrift der Entwicklung für die einzelnen Goals heraus, so auch 2023. Hieraus lässt sich ablesen, dass für 2023 in den sozialen und wirtschaftlichen Zielen starke Fortschritte zu verzeichnen sind. Vor allem SDG 8: “Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum”, SDG 1: “Armut reduzieren” und SDG: 5 “Geschlechtergleichstellung“ sind hervorzuheben. Jedoch sind nicht bei allen Zielen die gleichen Verbesserungen zu verzeichnen. SDG 13: “Klimaschutz” und SDG 15: “Leben an Land” sind sogar als rückläufig zu verzeichnen. Somit könnte man schlussfolgern, dass in den letzten Jahren dem wirtschaftlichen Wachstum eine gewisse Priorität eingeräumt wurde. Dieses Wachstum jedoch zwingt andere Ziele wie, des Klimaschutzes und des SDG: 15 Schritte in der Entwicklung zurückzumachen. Manche Ziele haben gleiche oder ähnliche Interessen, hier sind Synergien möglich. Jedoch andere haben gegengleiche, so spinnt sich ein äußerst komplexes Netz von Abhängigkeiten auf, die es in Zukunft besser zu verstehen gilt, um potenzielle von Synergien zu erkennen und da informierte Trade-Offs machen zu können, wo sich Interessenkonflikte zeigen. (Eurostat, 2023):

Bei weiterer Betrachtung, dieses Umstandes der Vernetzung und der Komplexität der Zusammenhänge fällt auf, dass es noch viele weitere Problemstellungen dieser Art gibt. Auch kann sicherlich der Klimawandel und dessen Auswirkungen als solches Problem definieren könnte, da man zwar annehmen könnte, dass die reine Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen zu einer kontinuierlichen Reduktion der Auswirkungen des Klimawandels führen müssten. Jedoch ist das Problem und vor allem dessen Auswirkungen auf nicht nur ökologische, sondern auch soziale und ökonomische Phänomene auszuweiten. Deshalb wird auch der Klimawandel in der Literatur häufig als „wicked problem“ beschrieben. (Sun & Yang, 2016)

Wicked Problems sind oft komplexe Problemstellungen, deren Faktoren so miteinander verbunden sind, dass sie sich gegenseitig bedingen. Meist sind diese Probleme so gekennzeichnet, dass nicht immer direkt klar ist, welche Lösung für ein vorliegendes Problem anzunehmen ist. Auch sind wicked problems nicht leicht zu greifen, da Eingriffe oder Lösungsversuche eines Teilproblems unerwartete Auswirkungen auf einen anderen Teilbereich des Problems auslösen kann. Diese einzelnen Teilbereiche stehen häufig miteinander im Kontrast und bilden kaum Synergien, oftmals gibt es keine richtige oder beste Lösung. Da sich die Problemstellungen sich auch während der Problemfindung ändern oder anpassen ist es auch möglich, dass keine endgültige Lösung gefunden werden kann. (Rittel and Webber, 1973)

Auch beschäftigt sich die Architektur und die Planung und auch Design mit wicked Problems. (Pietrzyk, 2022). Da auch Problemstellung in der Architektur und die zuvor Genannten Kriterien wie abwägen von einzelnen Entwurfskriterien, wie Kosten oder Design Entscheidungen. Es entstehen Situationen, in denen in die beste Lösung für alle Teilbereiche gefunden werden kann. Architektur ist auch wenn sie gebaut ist, nicht fertig, sondern muss adaptiv sein, um zukünftigen Ereignissen resilient entgegenzutreten zu können.

Auch der Ansatz des Design Thinking von Tim Brown, hat sich als effektiver Ansatz zur Bewältigung komplexer Probleme erwiesen. Er schildert einen Workflow des lösungsorientierten Denkens betont. Er definiert fünf Paradigmen, er bezieht sowohl Problemparameter als auch potenzielle Lösungen in die Überlegungen mit ein. Durch Empathie sollen die Bedürfnisse der Nutzer*innen verstanden werden. Darauf folgt eine genaue Definition der erlangten Erkenntnisse. Nun werden eine Vielzahl von Lösungen in einem in einer Ideenfindungsphase durch Brainstorming generiert. Diese Ideen werden nun durch Prototypen in Modelle umgewandelt. Durch eine Testphase versucht der Designer*innen nun Feedback zu erhalten um seinen Entwurf zu verbessern. Diese Herangehensweise zieht auf Wiederholung des gerade geschilderten Vorgangs ab, um in jedem durchlauf eine bessere Lösung für des Designproblem zu generieren. (Brown, 2009)

Dieser Workflow (vgl. Abb.: 01) des sich immer wiederholten Erstellen, Analysieren und Verfeinerns, kann sich mit Hilfe von immer effizienteren Rechenzeiten mit Hilfe von Computergestütztem Entwerfen und Algorithmische Optimierung replizieren lassen (Veringer, 2013). Im folgenden Abschnitt sollen die Grundlagen dieser Algorithmischen Optimierung erarbeitet werden.

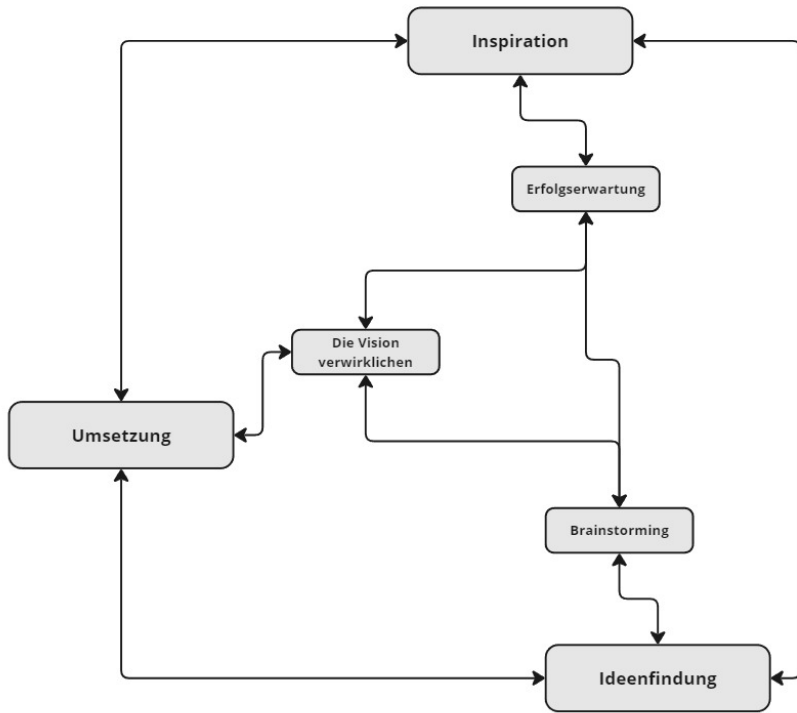


Abbildung 01: Konzept des Design Thinking nach Brown (2008)

Algorithmische Optimierung in der Architektur

Evolutionäre Algorithmen (EA) sind Optimierungsverfahren, die ihren Ursprung in der Biologie haben. Hier haben sich die Computer-Wissenschaften an der biologischen Evolution inspirieren lassen. Auch die Funktionsweise dieser Algorithmen in zweiter Ebene ähnelt dem Konzept der Evolution, denn auch hier wird eine Populationen von Individuen im Laufe des Verfahrens eine Anpassung und Optimierung an äußere Umstände erfahren. Bei dem Einsatz von Evolutionsalgorithmen werden, potenzielle Lösungen, hier Individuen genannt, ähnlich wie in der Natur Schritt für Schritt mit Hilfe einer Fitnessfunktion bewertet und weiterentwickelt. Durch genetische Werkzeuge wie Selektion, Rekombination und Mutation ist es möglich neue Lösungen erzeugt, durch diese sind notwendig um im optimalen Falle eine optimale Lösung für die Problemstellung zu finden. Diese Neuschaffung und generative Anpassung reflektiert den evolutionären Prozess, der es den Algorithmen ermöglicht, selbst für sehr komplexe Aufgabenstellungen eine optimale Lösung zu finden. In der Regel ist es das Ziel, einen bestimmten Wert zu maximieren oder zu minimieren. (Martí et al., 2017)

Der Aufbau evolutionärer Algorithmen basiert auf einer Population von Lösungen, deren Weiterentwicklung durch verschiedene genetische Operationen wie Selektion, Rekombination und Mutation erfolgt. Ziel ist es, eine Optimallösung anzustreben. Die Ausgangspopulation wird zufällig generiert und die potenziellen Lösungen werden anhand einer Fitnessfunktion bewertet, um ihre Eignung für das Problem zu beurteilen. Im Rahmen der Selektion erfolgt eine Präferenzierung vielversprechender Lösungen, während weniger geeignete Lösungen benachteiligt werden. Im Anschluss an die Selektion geeigneter Eltern erfolgt eine Bearbeitung mittels genetischer Operatoren, um neue Nachfolgeschromosomen zu erzeugen. Der Prozess resultiert in der Bildung einer neuen Population, welche den Zyklus erneut durchläuft. Um eine endlose Evolution zu vermeiden, werden Abbruchbedingungen definiert, die häufig eine maximale Anzahl von Generationen und eine zeitliche Begrenzung umfassen. Vor der Ausführung der Algorithmen ist die Definition geeigneter Kodierungen oder Datenstrukturen für die Individuen erforderlich. (Martí

et al., 2017)

Genetische Algorithmen stellen eine der am häufigsten verwendeten Arten von Evolutionsalgorithmen dar. Aufgrund ihrer Fähigkeit, Lösungen für eine Vielzahl von komplexen Problemen zu finden, erfreuen sich genetische Algorithmen großer Beliebtheit (Giebisch, 2021). Ein wesentliches Merkmal genetischer Algorithmen ist die Rekombination, die auch als Crossover bezeichnet wird. Es ist möglich, dass es Implementierungen gibt, bei denen automatisch eine festgelegte Anzahl von Chromosomen in die nächste Generation übernommen wird. Dies dient dazu, zu verhindern, dass sich die gefundene Bestlösung durch Rekombination und Mutation verschlechtert. Daher werden einige Chromosomen mit der höchsten Fitness direkt übernommen (Gerdes et al., 2013). Die Population, also die Anzahl an Lösungen in der ersten Generation, wird in der Regel zufällig erstellt. Dabei wird darauf geachtet, eine gleichmäßige Verteilung über den gesamten Wertebereich zu erzielen, um bestimmte Lösungen nicht von vornherein auszuschließen. Die Größe der Population kann individuell festgelegt werden, wobei übliche Größen im Bereich von Hunderten liegen (Martí et al., 2017). Im Anschluss an die Erzeugung einer Population erfolgt die Auswahl der Chromosomen für die Erzeugung der Nachkommen. Dabei besteht eine Präferenz für Chromosomen mit höherer Fitness. Die Selektion stellt somit einen entscheidenden Operator dar, der dazu beiträgt, dass sich die Lösungskandidaten der Optimalität annähern. Die beiden Operatoren des genetischen Algorithmus, Mutation und Crossover, sind für die Generierung neuer Chromosomen verantwortlich. Im Rahmen des genetischen Algorithmus nimmt das Crossover eine deutlich dominantere Rolle ein, während die Mutation deutlich seltener angewendet wird. Im Rahmen des Crossover-Verfahrens werden zwei oder mehrere Elternchromosomen miteinander kombiniert. Idealerweise sollten dabei die vorteilhaften Merkmale der Eltern zusammengeführt werden. Da durch die Rekombination von Chromosomen keine neuen Genbelegungen erzeugt werden können, da lediglich die Teilbereiche des Suchraums erreicht werden können, die bereits in der Ausgangspopulation vorhanden sind, ist ein weiterer genetischer Operator erforderlich, nämlich die Mutation (Weicker, 2015).

Die Multi-Objective Optimization ermöglicht die Bereitstellung von Informationen über ein Problem durch die Exploration des Suchraums. Dies impliziert die Generierung einer Vielzahl von extremen Lösungen, die alle auf ihre Weise als geeignet bezeichnet werden können. Daher kann die Präferenzäußerung einen wichtigen Bestandteil des Entscheidungsfindungsprozesses darstellen. Durch die Möglichkeit der detaillierteren Suche nach einer bestimmten Alternative kann weiter optimiert. Um diesen Prozess weiter zu analysieren, kann man folgende Unterscheidungen treffen: Alternativ kann die Entscheidungsfindung bereits vor der Suche durch die Festlegung eines einzigen Ziels und die Gewichtung der verschiedenen Ziele gesteuert werden. Alternativ kann die Entscheidungsfindung nach Abschluss der Suche durch die Identifizierung des Pareto-Sets geleitet werden, aus dem dann die Lösungen ausgewählt werden. Schließlich kann auch während der Suche die Entscheidungsfindung durch die manuelle Bewertung die Suche interaktiv lenken. In Bezug auf die genannten Optionen sind zudem Varianten und Kombinationen denkbar. (Vierlinger, 2013)

Um zu einer aussagekräftigen Lösung zu gelangen, kann das Pareto-Prinzip herangezogen werden. Die nach Vilfredo Pareto (1848–1923) benannte Pareto-Dominanz stellt eine Methode zur Bestimmung der Qualität einer multiobjektiven Lösung im Vergleich zu einer anderen dar. Die Pareto-Optimalität einer Lösung bezeichnet ein optimales Gleichgewicht zwischen zwei oder mehr widersprüchlichen Zielen, wobei eine Verbesserung des einen Ziels eine Verschlechterung des anderen zur Folge hat. Die Gesamtheit aller pareto-optimalen Lösungen wird als Pareto-Front bezeichnet, die je nach Anzahl der Zielwerte und damit der Dimensionalität des Zielraums als kontinuierliche Linie, Fläche oder Hyperebene betrachtet werden kann. Suchalgorithmen approximieren im Allgemeinen diesen optimalen Zustand, was in der Regel für die globale Optimierung und grundlegende Entscheidungen ausreichend ist. (Vierlinger, 2013)

Die Einsatzmöglichkeiten der generativen Optimierung in der Architektur sind vielfältig. Dabei ist zunächst das Anwendungsgebiet des MOEAs (Multi-Objective-Evolutionary-

Algorithms) von entscheidender Bedeutung. Grundsätzlich lassen sich in der Architektur zwei unterschiedliche Verwendungsgebiete unterscheiden. Ein weiteres Einsatzgebiet ist das „Creative Design“, bei dem der Algorithmus den Platz des/der Architekt*in einnimmt und eigenständig kreative Entwurfsarbeit leisten soll. Des Weiteren ist das quantitative Design zu nennen, welches den MOEA vor sehr viel spezifischere Probleme stellt, wie etwa in den Ingenieurwissenschaften und der Technik. Hier ist es meist gut möglich mit einer Optimierung ein globales Optimum zu generieren. Dies ist in der Architektur, vor allem in den frühen Phasen des Entwurfs selten möglich, da noch zu viele Parameter undefiniert oder noch gar nicht bekannt sind. Weiter ist es im Quantitativen Design üblich, durch genaue Analyse die Problemstellung auf kleinste Ebene herunterzubrechen, um diese dann Schritt für Schritt zu lösen. Auch sind häufig deutlich besser beschriebene Messparameter, Indikatoren, vorhanden um die Optimierung zu informieren, dies ist in der Architektur auch nur teilweise gegeben, da auch viele Indikatoren für gute Architektur subjektiv zu beurteilen sind. Die Stärken von parametrischer Optimierung im quantitativen Design können in späteren Phasen des Entwurfs eindrucksvoll gezeigt werden. Zum Beispiel zeigt das Paper von Pilechiha et al., dass eine Optimierung der Sichtqualität aus einem Bürogebäude mit der Energieleistung und der Tageslicht Versorgung sehr gut möglich ist (Pilechiha et al., 2020). Diese zum Teil widersprüchlichen Parameter können durch gut definierte Grundlagen und einen penibel geplanten Optimierungsworkflow in Einklang gebracht werden.

Sicherlich muss man sich die Frage stellen, ob das Kreative Design oder das Generative Design förderlich für die Arbeit von Architekt*innen ist, da hier teile oder ganze Arbeitsschritte von Algorithmen übernommen werden. Auch Daniel Davis nimmt sich in seinem Artikel „Generative Design is Doomed to Fail“ aus dem Jahr 2020 dieser Fragestellung an. Er stellt fest, dass die Anwendung generativen Designs in der entwerferischen Arbeit von Architekt*innen mit diversen Problemen verbunden ist. Weiter führt er aus, dass es recht simpel ist zu zeigen, dass das Verfahren des generativen Designs funktioniert, es jedoch deutlich schwieriger sei dessen Nützlichkeit zu beweisen. Die theoretische Aus-

einandersetzung mit der Machbarkeit ist laut Davis umfänglich beschrieben, es mangle jedoch an qualitativen Implementierungen an Hand echter Beispiele. Meist mangelt es dem architektonischen Entwurf an vordefinierten Lösungen, an denen sich orientiert werden kann. Auch kritisiert er den mangel an standardisierten Algorithmen und Modellen für die Architektur, welche in anderen Bereichen, in denen automatisierte Lösungen weit verbreitet sind, wie beispielsweise in der Softwareentwicklung. Die Komplexität des architektonischen Entwurfs stellt für ihn ein weiteres Problem da, jedes mal eine spezifische Anpassung der Lösungen notwendig ist, dies erschwert die praktische Anwendung von generativem Design. Generatives Design neigt dazu, eine Vielzahl von Optionen zu generieren, was die Designer*innen vor erhebliche Probleme stellen kann. Nicht alle der generierten Lösungen kommt für eine weiter Auswahl im Entwurfsprozess in Frage, deshalb müssen diese oft mühsam Ausgewählt und bewertet werden. Im Abschnitt dieser Arbeit, der sich mit dem Auswahlprozess der generierten Lösungen auseinandersetzt wird dieser Umstand näher erörtert. Jedoch kommt auch Davis zu der Erkenntnis dass dieser Auswahlprozess essenziell für das Gelingen der Integration des Generativen Designs ist. Auch ist für die Evaluierung von den generierten Designoptionen eine Expertise notwendig um die Wichtigkeit der Auswahl Entscheidungen zu gewichten. Auch verfügen nicht alle generativen Designwerkzeuge über die notwendigen grafischen Hilfestellungen, die notwendig wären um eine fundierte Auswahl zu treffen. Der generative Prozess stehe im Kontrast von dem der Architekt*innen. Diesen Designprozess beschreibt er als chaotisch und sprunghaft, was durchaus im Widerspruch zu dem des generativen Designs steht. Der Arbeitsprozess von Designer*innen, welcher mit einer immer wiederkehrenden Abfolge von Ideenfindung, Bewertung und Anpassung beschrieben werden kann, ist mit dem linearen Ansatz des generativen Designs nur schwer zu vereinbaren. Abschließend wird ein vergleich mit anderen Kreativen Berufsgruppen gezogen, speziell im Bereich der Software Entwicklung wird die Integration in die Arbeitsweise unterschiedlich gehandhabt. Es wird den Software Entwickler*innen keine neue Arbeitsweise dargeboten, in die er sich zu ergeben hat, sondern die Algorithmen werden in ein bestehendes Tool integriert, wodurch die bestehende Arbeitsweise effektiver wird. (Davis, 2023)

Galapagos

Die Grundlagen der Optimierung mit einem Parameter werden im Folgenden am Beispiel von Galapagos erläutert. Im Falle einer Optimierung auf Grundlage eines Wertes kann auf das integrierte Optimierungstool Galapagos im Standardumfang von Rhino/Grasshopper zurückgegriffen werden. Dies ist dadurch begründet, dass lediglich ein Wert zur Optimierung zur Verfügung steht. Das Tool stellt zwei Outputs, „Genome“ und „Fitness“ bereit. Der Output „Genome“ wird mit allen Slidern verbunden, über die die Verteilung und Veränderung der neuen Volumina im Masterplan gesteuert werden. In diesem Beispiel eines städtischen Masterplans könnten die zu optimierenden Parameter die Anzahl der Gebäude, deren Breite, Länge, Höhe und Rotation betreffen. Der Output „Fitness“ verbindet den maßgeblichen Indikator, dessen Optimierung erforderlich ist. Die Einstellungen für den Optimierungsvorgang können wie folgt vorgenommen werden: Im Bereich „Generic“ können grundlegende Einstellungen zum Optimierungsvorgang vorgenommen werden. Die Fitness wird auf zwei verschiedene Arten eingestellt: Entweder wird der kleinstmögliche Wert ermittelt, also minimiert, oder der größte mögliche Wert wird gesucht, also maximiert. Bei der Lösung komplexer Problemstellungen ist die Dauer, die ein Algorithmus für die Suche nach einer Lösung benötigt, nicht immer exakt bestimmbar. Daher wird in der Regel ein Limit definiert, das bestimmt, wann der Solver die Berechnung abbricht und keine weiteren Berechnungen durchführt. Es existieren zwei unterschiedliche Varianten, die zur Anwendung kommen können: Entweder wird ein Schwellenwert definiert, der angibt, wie nahe die berechneten Werte beieinander liegen müssen, um ein Optimum erzielt zu haben, oder es wird ein einfaches Zeitlimit gesetzt, nach dem der Rechenprozess abgebrochen wird. Allerdings kann nicht immer zweifelsfrei bestimmt werden, ob eine Lösung durch die Anwendung eines Thresholds ein lokales oder globales Optimum darstellt. Stattdessen lässt sich lediglich feststellen, dass die berechneten Werte nur noch eine minimale Veränderung erfahren. Für die durchgeführte Optimierung wird sowohl ein Zeitlimit von einer Stunde und 30 Minuten als auch ein Threshold von 0,01 angenommen. Als mögliche Arten von Solvern stehen der Evolutionary Solver und der Annealing Solver zur Verfügung. Für das Rechenbeispiel wurden die Standardwerte des

Evolutionary Solvers übernommen, um die Komplexität zu reduzieren. Die maximale Stagnation definiert einen weiteren Faktor, der ein mögliches Ende des Optimierungsvorgangs angibt. In diesem Zusammenhang wird eine Anzahl an Generationen definiert, in der sich die zu optimierenden Werte nicht mehr signifikant ändern, bevor der Vorgang abgebrochen wird. In diesem Kontext wird von 50 Generationen ausgegangen. Der Wert für die Größe der Lösungen in deiner Generation wird ebenfalls auf 50 festgesetzt. In der allerersten Generation erfolgt jedoch eine Verdopplung der Generationsgröße, um einen größeren Genpool mit einer höheren Diversität zu erreichen. Des Weiteren werden fünf Prozent der effektivsten Lösungen in die nächste Generation übernommen, um das Fortbestehen eines Lösungsansatzes zu gewährleisten. Der genannte Wert kann mit dem Elitism-Wert anderer Optimierungstools verglichen werden. Der Inbreeding-Faktor gibt an, anhand welcher Kriterien zwei Lösungen ausgewählt werden, um durch Crossing in der nächsten Generation zu erscheinen. Ein hoher positiver Wert präferiert Lösungen, die sich ähneln, während ein niedriger negativer Wert Lösungen bevorzugt, die sich deutlich unterscheiden. In einem Blog-Post aus dem Jahr 2010 äußerte sich der Programmierer von Galapagos dahingehend, dass weder ein hoher noch ein niedriger Wert für die Lösung eines Problems förderlich sei (Grasshopper3d, 2010). In der Folge wird ein Wert von 75 % angenommen. Galapagos ist das Resultat persönlicher Neugier und nicht beruflicher oder wissenschaftlicher Motive seitens David Rutten, dem Schöpfer von Grasshopper. Folglich existiert weder eine schriftliche Darstellung der Funktionsweise des Algorithmus noch wurden Tests bei wissenschaftlichen Optimierungsaufgaben durchgeführt (Vierlinger, Robert 2013).

Multiobjektiv Optimisation mit Octopus

Im Rahmen der vorliegenden Optimierung wird das MOO-Plugin Octopus eingesetzt, welches auf mehreren Indikatoren basiert. Dieses Tool wurde im Rahmen der Masterarbeit von Robert Vierlinger entwickelt, um eine übersichtliche Lösung mit einfacher Handhabung zur Optimierung von mehreren Parametern im Kontext von Rhino und Grasshopper zu ermöglichen (Vierlinger, Robert 2013). Das MOO-Problem wird mit Octopus durch

Anwendung des Pareto-Prinzips gelöst, wobei sich die Lösung auf den Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA-2) (ein genetischer Algorithmus) und den Hypervolume Estimation Algorithm (HypE) stützt. Des Weiteren findet der SPEA-2-Algorithmus, welcher die optimalen Kompromisse für die verschiedenen Ziele generiert, häufig Anwendung in der architektonischen Mehrzieloptimierung (Zhu et al., 2020). Aus diesem Grund findet der SPEA-2-Algorithmus Anwendung bei der Generierung bzw. Approximation der pareto-optimalen Lösungsmenge. Das Plugin beinhaltet eine Vielzahl von Tools zur Multi-Objekt-Optimierung, wobei an dieser Stelle lediglich auf den Solver von Octopus eingegangen wird. Der Solver präsentiert sich in einer visuell und in der Handhabung ähnlichen Form wie der Solver von Galapagos, wobei zwei Verbindungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen, um an andere Objekte in Grasshopper anzuschließen. Der linke mit „Genome/Parameter“ bezeichnete wird, wie bei Galapagos, mit den verstellbaren Werten der zu bewertenden Geometrien verbunden, während der rechte mit „Octopus“ beschrieben wird und mit den Werten, die die Key Indicators beschreiben, verbunden ist. Der wesentliche Unterschied zu Galapagos besteht darin, dass hier nun mehrere numerische Parameter angeschlossen werden können. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass Octopus bestrebt ist, den Zielwert möglichst gering zu halten. So kann das Maximalziel auf einen negativen Wert gesetzt und das Minimalziel unverändert eingespeist werden, wenn ein Maximal- und ein Minimalziel zu optimieren sind (Grasshopper3d, 2016). Sollten Parameter für die Optimierung angepasst werden müssen, da sie maximiert werden sollen, ist es empfehlenswert, sie mit einer Expression „x-1“ in einen negativen Wert umzuwandeln, um den Effekt einer Maximierung zu erhalten. Im Anschluss werden die Einstellungen für die evolutionäre Optimierung entsprechend der Vorgehensweise in Galapagos vorgenommen. Vierlinger beschreibt diese in seinem Handbuch wie folgt: Der Begriff „Elitismus“ bezeichnet den Anteil der neuen Lösungen, die nicht aus dem gesamten Pool, sondern aus der Elite hergestellt werden. Ein hoher Wert führt zu einer stärkeren Optimierung vor Ort. In diesem Zusammenhang wird ein Wert von 0,5 angenommen. Die Wahrscheinlichkeit einer Mutation eines jeden Parameters/Gens mit der „Mutationsrate“ wird als Mutationswahrscheinlichkeit bezeichnet. In diesem Zusammenhang wird ein

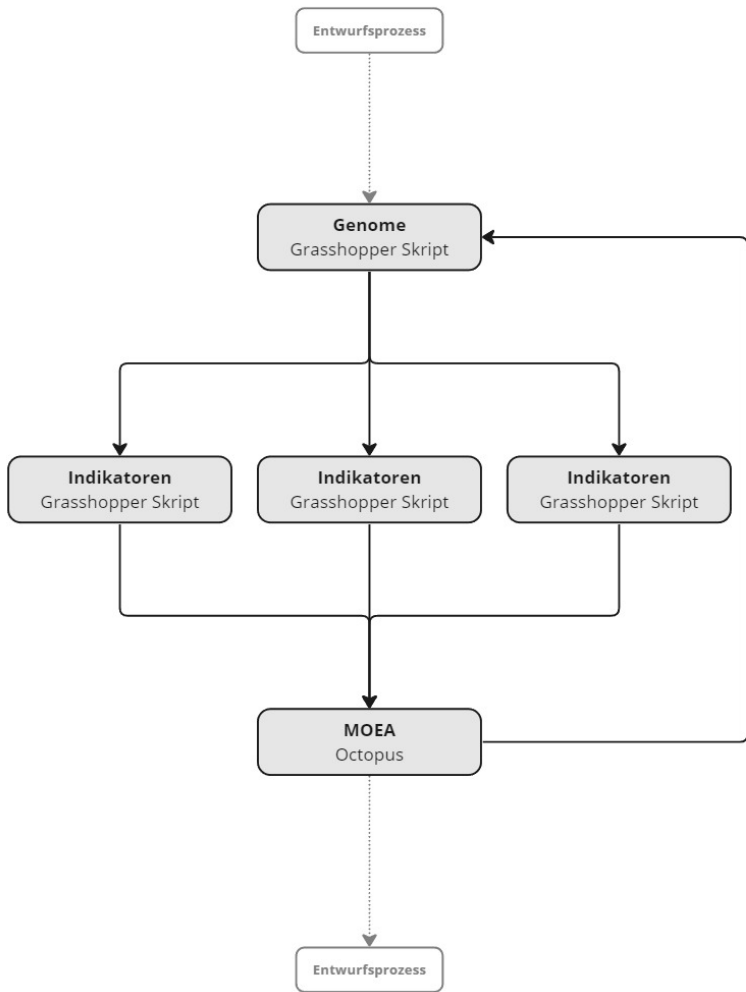


Abbildung 02: Workflow Konzept mit MOEA

Wert von 0,2 gewählt. Eine geringe Mutationsrate resultiert in geringen Veränderungen der Parameterwerte, während eine hohe Mutationsrate zu signifikanten Veränderungen führt. Für die Mutationsrate wird ein Wert von 0,9 angenommen. Dies kann durch Ausführung eines der im Menü „Operatoren – Test Mutation“ aufgeführten Befehle realisiert werden. Die „Crossover Rate“ bezeichnet die Wahrscheinlichkeit eines Austauschs der Parameterwerte durch zwei aufeinanderfolgende Lösungen. In diesem Fall wird ein Wert von 0,8 gewählt. Die Größe der Population gibt die Anzahl der Lösungen pro Generation an. Des Weiteren wird eine entsprechende Elitegröße festgelegt, sodass sich im Pool für jede Generation insgesamt zweimal so viele Lösungen wie die Bevölkerungsgröße befinden. Die Dimensionierung dieser Dimension sollte anhand der Komplexität des Problems erfolgen, da eine Vielzahl von Lösungen gleichzeitig eine Vielzahl verschiedener Alternativen aufrechterhalten kann. Als Wert wurde 50 angenommen. Die Voreinstellung für die maximale Anzahl an Generationen ist standardmäßig auf null gesetzt. Dies impliziert, dass die Suche nicht beendet werden kann. Andernfalls würde Octopus nach diesen Generationen aufhören zu existieren. Allerdings wird für diese Optimierung eine maximale Generationsfolge von 100 gewählt. Im Anschluss kann die Optimierung initiiert werden.

Fallstudie Nordbahnhof Wien

Um die Stärken eines optimierungsgestützten städtebaulichen Workflows zu evaluieren, ist die Definition eines Betrachtungsgebiets erforderlich. Nach eingehender Überlegung wurde das Baugebiet am ehemaligen Wiener Nordbahnhof, welches heute unter dem Namen „Nordbahnhof – Freie Mitte“ bekannt ist, als Untersuchungsgegenstand ausgewählt. Als wesentliche Kritikpunkte sind zunächst die interessante Lage im Stadtgefüge des zweiten Wiener Gemeindebezirks sowie die heterogene Bebauungsstruktur zu nennen. Die Lage an der Nordbahnstrecke zwischen Wien Praterstern und Wien Traisengasse verleiht dem Standort eine interessante Verortung im Stadtgefüge. Die Nähe zum Stadtzentrum durch eine gute Anbindung des ÖPNV sowie die kurzen Wege zu beliebten Erholungsgebieten und öffentlichen Grünflächen wie dem Augarten, dem Prater oder der Donauinsel machen das Gebiet zu einem der wichtigsten Entwicklungsgebiete der Stadt Wien. Des Weiteren verfügt das Gebiet über eine fundierte Dokumentation und Datengrundlage, die im Rahmen vorheriger Semesterprojekte erarbeitet und geprüft wurde. Des Weiteren befindet sich der Standort in einer heterogenen städtischen Umgebung, die durch eine bauliche Vielfalt gekennzeichnet ist. Die Grenzen im Norden und im Südwesten sind von gründerzeitlicher Blockrandbebauung geprägt, wobei sich im Osten Wohnbebauung aus unterschiedlichen Phasen der Wiener Stadtplanung anschließt, die bis hin zu zeitgenössischen Bauten reicht. In diesem Kontext sind insbesondere der Campus Christine Nöstlinger sowie der Austria Campus zu nennen. Die Berücksichtigung der genannten Faktoren hat die Wahl des Betrachtungsgebiets zusätzlich gestützt.

Im Folgenden wird ein Abriss der historischen Ereignisse und Entscheidungen präsentiert, welche zum aktuellen Stand der Planung geführt haben. Bis ins 19. Jahrhundert hinein war ein Seitenarm der Donau für die Prägung des Areals des späteren Bahnhofs sowie für die Gestaltung großer Teile des 2. und 20. Bezirks von entscheidender Bedeutung. In südlicher Richtung des zuvor erwähnten Seitenarms wurde im Jahr 1839 nach Plänen von Anton Jüngling der erste Nordbahnhof errichtet. Aufgrund des gestiegenen Passagieraufkommens wurde der Bahnhof zwischen 1859 und 1865 von Theodor Hoffmann

neu konzipiert. Ein städtebaulicher Entwicklungsschub erfolgte durch die erste Donau- regulierung (1869–1875), bei der ein 13 km langer Durchstich von Nußdorf bis Albern geschaffen wurde, Auwaldflächen gerodet und ehemalige Donauarme verfüllt wurden. Der Nordbahnhof fungierte bis zum Zweiten Weltkrieg als bedeutender Verkehrsknoten- punkt in Richtung Nordosten und zeichnete sich durch seine spätromantische Architek- tur aus, die ihn zum prunkvollsten Bahnhof Wiens machte (Stadt Wien – Stadtplanung, 2014). Während des Nationalsozialismus wurden von hier aus Deportationen jüdischer Wienerinnen und Wiener durchgeführt. Im Zweiten Weltkrieg wurde der Bahnhof schwer beschädigt und schließlich im Jahr 1965 gesprengt. Nach dem Krieg wurde der Nordbahn- hof lediglich als Frachtbahnhof unter dem Namen „Frachtenbahnhof Wien Nord“ weiter- betrieben. Im Jahr 1959 wurde am Praterstern eine neue Bahnstation für den Lokal- und Regionalverkehr eröffnet, welche 1962 durch den Schnellbahnverkehr zu einem Durch- gangsbahnhof umfunktioniert wurde. Im Jahr 1981 wurde die U-Bahn-Station Praterstern (U1) eröffnet, und seit 2008 ist der Verkehrsknoten auch an die verlängerte U-Bahn-Linie U2 angebunden. Aufgrund des Bedeutungsverlusts des Nordbahnhofs wurde Anfang der 1980er Jahre die schrittweise Umnutzung in einen neuen Stadtteil initiiert. Im Jahr 1979 wurde ein erster Streifen des Nordbahnhofareals entlang der Lassallestraße zur Bebauung freigegeben. Im Jahr 1994 wurde ein städtebauliches Leitbild für das Nordbahnhofareal beschlossen. Der Rudolf-Bednar-Park, ein 3,1 ha großer zentraler Park, wurde im Jahr 2008 eröffnet. Im Jahr 2010 folgte der Bildungscampus Gertrude-Fröhlich-Sandner. Die städtebauliche Entwicklung des Areals setzte sich fort, wobei entlang der Lassallestra- ße Bürogebäude errichtet wurden und sich rund um den Rudolf-Bednar-Park ein neues Wohnviertel bildete. Im Jahr 2012 wurde im Rahmen eines städtebaulichen Ideenwett- bewerbs das Projekt „Freie Mitte – Vielseitiger Rand“ entwickelt, welches eine naturnahe Grünfläche in der Mitte sowie eine vielseitig genutzte Bebauung am Rand vorsieht. Das Konzept wurde im städtebaulichen Leitbild 2014 weiterentwickelt und bildet nicht nur die Grundlage für zukünftige Planungen und Flächenwidmungen, sondern auch die Grund- lage dieser Case-Study. (Wien Geschichte Wiki, 2023), (Stadt Wien – Stadtplanung, 2014)

Die Erstellung des Leitbildes kann als Vorbild für einen interaktiven Planungsprozess beschrieben werden, wie aus dem Handbuch zum Leitbild ersichtlich ist. Im Rahmen eines einjährigen Prozesses (09.2013–09.2014) wurden zehn Veranstaltungen organisiert, an denen über tausend Bürger*innen teilnahmen. Ziel war es, die Gedanken und Wünsche der Nutzer*innen in den Planungsprozess einzubringen und einen wechselseitigen Dialog zwischen Nutzer*innen sowie Planer*innen zu initiieren. Dieser Ansatz stieß auf regen Zuspruch. Die Veranstaltungen wurden in drei Phasen gegliedert, die den Prozess der Konzeptentwicklung, des Dialogs und der Planungsreflexion widerspiegeln. Der Slogan „Nordbahnhof – ein Gräzel stellt die Weichen“ wurde als Leitmotiv gewählt. Das sogenannte Freiraumarchipel des Betrachtungsgebiets fungiert als Bezeichnung für einzelne Naturräume, die auf den brachliegenden Flächen der ehemaligen Bahntrasse des Nordbahnhofs entstanden sind. Infolge der Nutzung als historisch-industrielle Fläche sind Landschaften und Grünräume entstanden, die nun in die wachsende Stadt integriert werden sollen, ohne ihre Qualität zu verlieren. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass nicht nur die 10.000 neuen Bewohner*innen dieses Gebiets von der Qualität profitieren, sondern auch die Anwohner*innen der umliegenden Viertel diese schätzen lernen. Des Weiteren wird das Konzept dahingehend beschrieben, dass durch die Verlagerung einer flächigen Bebauung in Richtung des Randes des Betrachtungsgebiets eine Vielzahl der qualitativ hochwertigen Grünräume erhalten werden kann. Der „Vielseitige Rand“ steht in Bezug und im Dialog zur „Freien Mitte“. Zudem soll der Rand den umliegenden Bestand nicht ausschließen, sondern an der „Freien Mitte“ teilhaben lassen. Des Weiteren wird postuliert, dass durch die kompakte Bebauung am Rand Kosten für Infrastruktur wie Verkehr oder Erschließung eingespart werden können, die jedoch der Gestaltung des Grünraums zugutekommen sollen. Die „Freie Mitte“ soll möglichst naturnah gestaltet werden, um einerseits Kosten zu sparen und andererseits heimischen Tier- und Pflanzenarten die Möglichkeit zu geben, in der in den letzten Jahrzehnten entstandenen Landschaft ein Habitat zu finden. Des Weiteren ist vorgesehen, die umliegenden Grün- und Freiflächen durch den Masterplan zu vernetzen, um die Qualitäten einer begrüneten Stadt kontinuierlich durch den gesamten 2. Bezirk erlebbar zu machen.

Die als schlüssig erachteten Analyse- und Konzeptideen werden als Grundlage für das Leitbild zu den Themen Kompaktheit, Porosität, Körnung, Höhenstaffelung sowie die Festlegung der Baufelder übernommen. Dies ermöglicht einen Vergleich. Die Baufelder werden in ihrer Gesamtheit beibehalten, jedoch erfolgt eine Aufteilung des Baufelds 6 in drei separate Baufelder. Dies lässt sich dadurch begründen, dass durch eine bessere Vernetzung mit dem angrenzenden Stadtteil zu erwarten ist, dass für alle Baufelder wird eine ähnliche Dichte angenommen, wobei die Zahl der Gebäude und die Erdgeschossfläche variieren können. Die Bruttogeschossfläche (BGF) auf der Fläche des Planungsgebiets von ca. 28 ha beträgt somit etwa 510.000 m². Die durchschnittliche Dichte auf den Baufeldern beträgt 3,6 bei einer Gesamtfläche von etwa 140.000 m². Auf Basis der zuvor dargelegten Daten und Konzepte kann im nachfolgenden Abschnitt das Grundlagentext für die Geometrie-Optimierung entwickelt werden.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Workflow Optimierung

Datengrundlage

Die vorliegende Case Study zur Veranschaulichung des Workflows basiert auf einer Vielzahl von Quellen. Die externen Quellen werden an verschiedenen Schnittstellen in den Workflow integriert. Die erste wesentliche externe Quelle stellt zweifelsohne das Handbuch zum Leitfaden für den Nordbahnhof Freie Mitte der Stadt Wien dar, auf dessen Grafiken und Abbildungen alle geometrischen Annahmen basieren. Dazu zählen das Betrachtungsgebiet, die Baufelder sowie die Abmessungen des Bestandsmasterplans. Des Weiteren beinhaltet das Handbuch eine Reihe nützlicher Berechnungen und Werte, wobei insbesondere die Dichten, Grundflächen und Geschossflächenzahlen hervorzuheben sind. Letztere sind für die weitere Bearbeitung von entscheidender Bedeutung. Auch können durch die ausführlichen Beschreibungen zu vielen Themen, die nicht explizit mit Werten definiert sind, mit der Zuhilfenahme anderer Vergleichswerte oft eine gute Annahme getroffen werden. Des Weiteren können externe Quellen wie Wetterdateien, beispielsweise das EPW-Format (EnergyPlus Weather File), direkt in Grasshopper eingespeist werden. Folglich kann konstatiert werden, dass die geometrischen Grundlagen in Rhino mithilfe des Handbuchs vorbereitet wurden. Die zur Berechnung der Key-Indikatoren erforderlichen Daten werden über Plugins für Grasshopper generiert oder aus externen Datenbanken in den Workflow integriert.

Grundlagen Geometrie

Die Eingangsdaten für die Erstellung des grundlegenden Geometrieskripts dieser Case Study umfassen die Baufeld-Linie sowie die Geometrie der Baukörper des Masterplans, welche jeweils einmal pro Baufeld aus Rhino eingespeist werden. Im nächsten Schritt wird die Linie des Baufelds verschoben, um einen gewissen Spielraum für die Modellierung der Volumina zu erhalten. Hierbei wird ein Wert von 10 Metern nach innen angenommen. Die resultierende Fläche dient der Verteilung der neuen Geometrien. Zur Verteilung der neuen Bauvolumen werden Punkte zufällig in der zuvor entstandenen Fläche generiert.

Auf diese Weise lässt sich die Anzahl der neu zu generierenden Gebäude einstellen. Die Anzahl dieser Punkte basiert auf einer vorherigen Abschätzung und manuellen Bewertung des Bebauungsfeldes. Die Größe sowie die Verträglichkeit des Baufeldes mit dem Bestandsmasterplan werden miteinander verglichen, um einen Richtwert für die Optimierung zu ermitteln. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Algorithmus die Anzahl der Gebäude nach Belieben um zwei erhöhen oder reduzieren kann, um eine größere Varianz zu gewährleisten. Die Ausgangswerte für die Baufelder 7 und 8 wurden reduziert, um der geringeren Größe dieser Baufelder Rechnung zu tragen. Die von Grasshopper generierten Punkte sind jedoch eher pseudo-random, da der Algorithmus eine gleichmäßige Verteilung der zufällig generierten Punkte präferiert. Dies kann jedoch für das vorliegende Anwendungsbeispiel hervorragend genutzt werden. Der Seed der zufälligen Verteilung stellt einen Anhaltspunkt für eine spätere Optimierung dar. Auf den generierten Punkten wird nun ein Rechteck platziert, dessen x- und y-Größe nun verändert werden kann. Hierbei wird erneut eine zufällige Seitenlänge gewählt, jedoch kann mit Hilfe einer Domain ein gewisser Spielraum definiert werden. Die angenommenen Werte für die Seitenlängen der entstehenden Rechtecke können zwischen 40 Metern und 14 Metern variieren, um möglichst unterschiedliche Geometrien zu erzeugen und gleichzeitig auf den städtebaulichen Kontext der Umgebung einzugehen. Auch hier können die Seed-Werte wieder für eine Optimierung genutzt werden. Die x- und y-Werte werden von unterschiedlichen Inputs gespeist, um nicht nur Quadrate, sondern auch längliche Volumen generieren zu können. Im Rahmen der Generierung der Rechtecke wird der Ursprungspunkt an einer der vier Ecken festgelegt. Für die weitere Bearbeitung soll der Ursprung jedoch im Zentrum der Geometrie liegen. Daher wird die jeweilige Entfernung zum neuen Punkt hinzugefügt. Um die Höhe der neuen Volumina bestimmen zu können, müssen zunächst Werte bestimmt werden, die insgesamt das Volumen der ursprünglichen Volumina des Masterplans entsprechen. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass bei einer gleichbleibenden Aufteilung der Baufelder die gleiche Dichte wie im Originalmasterplan entsteht. Die Gesamthöhe aller neuen Volumina lässt sich schließlich durch Teilung des Bestandsvolumens durch die Fläche der neu erstellten Rechtecke ermitteln. Um eine gewisse Variabilität in

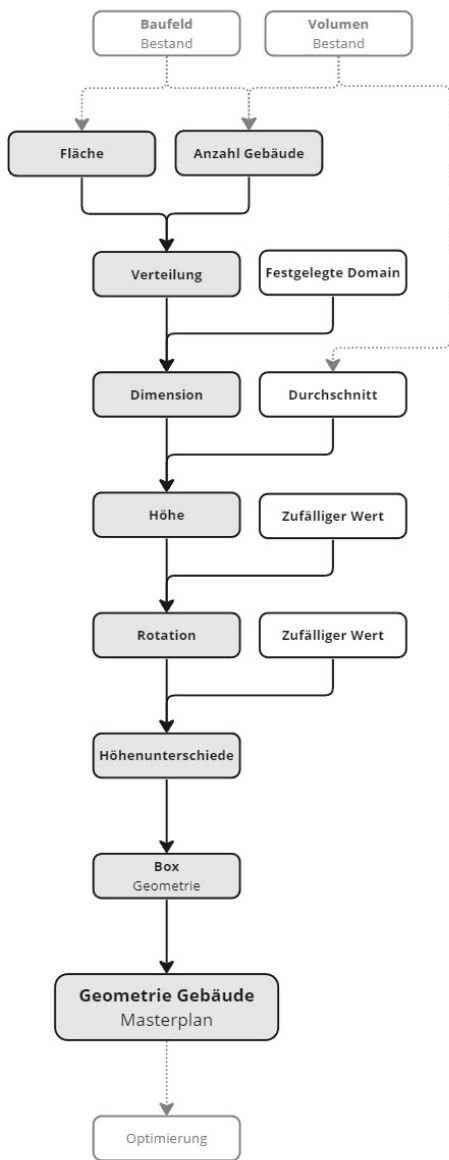


Abbildung 03: Pseudo-Skript Geometrie

der Höhe zu erreichen, die jedoch keine Abweichung vom Gesamtvolumen zulässt, wird eine beispielhafte senkrechte Linie erstellt, die der Gesamthöhe entspricht. Diese Linie wird nun in genauso viele Teile unterteilt, wie es Rechtecke im Baufeld gibt. Nun können diese Trennpunkte auf der Linie zufällig nach oben oder unten verschoben werden. Für die Verschiebung wurden Werte von 15 bis -15 angenommen. In der Konsequenz entstehen unterschiedlich lange Teilkurven, die jedoch gesamt genau der Höhe der eigentlichen Linie und somit dem Gesamtvolumen entsprechen. Auch hier kann der Seed-Wert wiederum für eine Optimierung herangezogen werden, um in verschiedenen Varianten unterschiedlich hohe Volumen zu erzeugen. In einem letzten Schritt können die Volumina zufällig um 360 Grad um die Z-Achse gedreht werden, um eine weitere Komplexität und Variabilität in der Simulation und der nachfolgenden Optimierung zu erreichen. Auch hier kann der Seed-Wert wieder herangezogen werden. Infolgedessen ist es möglich, pro Baufeld eine recht variable und komplexe Verteilung von neuen Geometrien zu erstellen. Dabei kann jedes einzelne Gebäude individuell in Höhe, Breite, Länge sowie in der Rotation um die eigene Z-Achse verändert werden.

Indikator: Versiegelung des Bodens durch Gebäude

Hintergrund: Die Bodenversiegelung in Österreich ist ein ernstzunehmendes Problem. Im Jahr 2021 belief sich der durchschnittliche Flächenverbrauch in Österreich auf 41 km², was der Größe von Eisenstadt entspricht. In den vergangenen drei Jahren wurden täglich 11,3 Hektar, einer Fläche von ungefähr 30 Fußballfeldern, neu genutzt (Pitha, 2021). Der Verlust biologisch produktiven Bodens durch Verbauung für Siedlungs- und Verkehrszwecke, intensive Erholungsnutzungen, Deponien, Abbauflächen, Betriebsanlagen und ähnliche Intensivnutzungen, die nicht mehr für land- und/oder forstwirtschaftliche Produktion oder als natürlicher Lebensraum zur Verfügung stehen, kann als Beispiel für Flächeninanspruchnahme angeführt werden (Umweltbundesamt, 2022). Die österreichische Regierung hat im Regierungsprogramm 2020–2024 die Absicht bekundet, die Flächenutzung möglichst gering zu halten. Es wird angestrebt, den jährlichen Anstieg auf 2,5 Hektar pro Tag bzw. 9 km² pro Jahr bis 2030 zu verringern (Umweltbundesamt, 2021).

Dies unterstreicht die Relevanz von Maßnahmen zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz des Bodens, um die Umwelt zu schützen und die Lebensqualität zu gewährleisten. In den Jahren 2018 bis 2022 belief sich die beeinträchtigte Flächennutzung in Wien auf etwa 1,7 Quadratkilometer. Diese Entwicklung veranschaulicht die Konsequenzen der Urbanisierung und des Bevölkerungswachstums in urbanen Gebieten und unterstreicht die Relevanz eines nachhaltigen Flächenmanagements sowie einer vorausschauenden Stadtplanung. Die Herausforderungen bei der Bewältigung der Flächennutzung in urbanen Gebieten erfordern innovative Herangehensweisen und politische Maßnahmen, um die Lebensqualität der Einwohner zu bewahren und die Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren. (Umweltbundesamt, 2021)

Bewertung Bestand: Die Informationen zur Bebauung des Bestandsmasterplans in dem folgenden Abschnitt basieren auf der Grundlage des Konzepts „Freie Mitte Vielseitiger Rand“. Da die Angaben zur Gestaltung der Grünräume in den einzelnen Baufeldern noch sehr vage sind und nur wenig Information vorhanden ist, wird im Weiteren, wenn es um den Versiegelungsfaktor geht, von der Grundfläche der einzelnen Baukörper gesprochen, da diese eindeutig zu bestimmen ist. Aufgrund der Tatsache, dass sowohl die Bebauung als auch die Gestaltung der Grünflächen in diesem Dokument nicht abschließend beschrieben und definiert werden, ist es schwierig, einen Vergleich oder eine Bewertung vorzunehmen. Dennoch wird wiederholt darauf hingewiesen, dass die Versiegelung der Böden auf ein Minimum zu beschränken ist. Da keine weiteren Parameter zur Verfügung stehen, wird im Folgenden mit der Grundfläche der einzelnen Bauvolumen gearbeitet, die als sicher versiegelte Fläche angenommen wird. Des Weiteren werden die BGF mit insgesamt 510 m² sowie die totale Dichte mit 3,6 schlüssig aufgeführt. Allerdings ist die Datenlage für die Grundfläche nicht gänzlich eindeutig dargestellt. Die verschiedenen Erdgeschossnutzungen werden mit der vorgesehenen Fläche pro Baufeld aufgeschlüsselt, wobei unklar bleibt, ob bestehende Gebäude in die Berechnung miteinbezogen wurden oder nicht. Eine Gegenüberstellung der aufsummierten Zahlen mit der gemessenen Fläche des 3D-Modells in Rhino zeigt eine Differenz von etwa 5.000 m². Da eine abschließende

Beurteilung, ob ein Mess- oder Rechenfehler vorliegt, nicht möglich ist, wird im Weiteren mit dem Mittelwert der beiden Ergebnisse weitergearbeitet. Der Benchmark für die Ergebnisse des Workflows für den Key Indikator Versiegelungsfaktor liegt folglich bei 65,420 m². Um eine bessere Einordnung des vorliegenden Wertes zu ermöglichen, kann dieser mit einem Vergleichswert, der durch eine typisierte Variante des Masterplans ermittelt wurde, gegenübergestellt werden. Bei einer Blockrandbebauung aller Baufelder mit einer ähnlich hohen Dichte würde eine Fläche von 83.950 m² versiegelt werden. Dies entspricht einer Versiegelung von rund 128,32 % bei einer durchschnittlichen Bauhöhe von 22,3 Metern.

Skript: Auf Basis des zuvor erstellten Skripts für die Erstellung eines neuen Volumens auf dem Gebiet des Masterplans wird nun ein Grashopper-Skript entwickelt, welches die Berechnung und Optimierung der Grundfläche des einzelnen Volumens demonstriert. Dieses kann vereinfacht in Abb.: 05 nachvollzogen werden. Die erstellten Volumina werden in ihre Flächen aufgeteilt und der Mittelpunkt ermittelt. Im Anschluss erfolgt ein Vergleich der Z-Komponenten der Punkte, wobei die niedrigsten Werte selektiert werden. Auf diese Weise kann ein Cull-Muster erstellt werden, welches alle Flächen mit den niedrigsten Z-Koordinaten umfasst und somit Rückschlüsse auf die Grundfläche zulässt. Der Flächeninhalt jeder Fläche kann ermittelt und ein Gesamtwert für das Bebauungsgebiet erstellt werden.

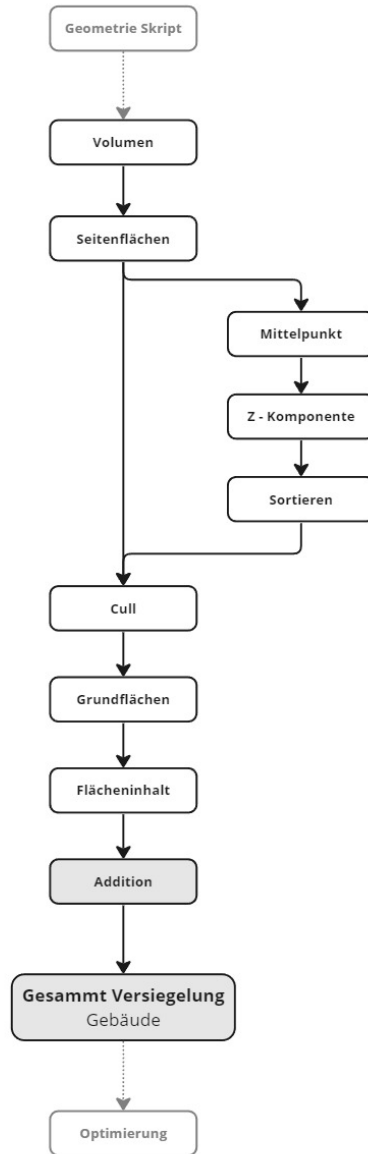


Abbildung 04: Pseudo-Skript Versiegelungsgrad Bebauung

Indikator: Geschätzte Gesamtkosten

Relevanz: Ein nachhaltiger und integrativer Planungsansatz erfordert eine frühe Projektarbeit, die von entscheidender Bedeutung ist. Die Auswirkungen auf die Kosten, die nachhaltige Qualität und den Lebenszyklus sind in dieser Phase nahezu unbeschränkt – unabhängig davon, ob es sich um ein Einzelgebäude, ein Gebäudeensemble oder einen Stadtteil handelt. Kurz-, mittel- und langfristige Baumaßnahmen müssen den strategischen Zielen des Bauherr*innen entsprechen (ATP, 2023) und auf die speziellen Bedürfnisse des Bauungsgebiets abgestimmt werden. Daher hat sich die Erstellung eines Masterplans vor Beginn der Baumaßnahmen als nützlich erwiesen. Er fungiert als Strategiedokument mit einer mittel- bis langfristigen Ausrichtung und dient als eindeutige Orientierung für die Umsetzung von Strategien. Die Leitthesen und ihre Struktur dienen als Grundlage für spezifische Planungsaufgaben. Der Masterplan behält seinen strategischen Wert, indem er regelmäßig einer Revision unterzogen und entsprechend adaptiert wird (ATP, 2023). Der Erfolg eines Bauprojekts ist maßgeblich von Kostenschätzungen in den frühen Leistungsphasen abhängig, insbesondere in Phase 0 und den folgenden Phasen. Frühzeitige Kostenschätzungen ermöglichen die Festlegung realistischer Haushalte, die Erstellung von Finanzierungsplänen sowie die Identifizierung möglicher Kostenrisiken. Auf diese Weise wird den Beteiligten des Projekts eine informierte Entscheidungsfindung ermöglicht, wodurch das Projekt von Beginn an auf eine stabile finanzielle Basis gestellt werden kann (Borchardt, 2024).

Bewertung Bestand: Das Handbuch „Freie Mitte – Vielseitiger Rand“ zum Thema „Kosten der Gebäude – Volumen“ ist dürftig. Im nachfolgenden Abschnitt erfolgt eine Bewertung und ein Vergleich der ermittelten Werte des eigens erstellten Skripts. Allerdings finden sich im Handbuch Aussagen zur Reduzierung der Erschließungskosten, welche indirekt auch die Gebäudekosten als Ganzes beeinflussen. Des Weiteren wird definiert, dass die geplante Verkehrserschließung aus dem Jahr 2008 um 85 % reduziert werden soll, um diese Differenz der Gestaltung des Freiraums und der nicht vom motorisierten Individualverkehr dominierten Verkehrsplanung zukommen zu lassen (Stadt Wien – Stadtplanung,

2014). Des Weiteren wird dargelegt, dass ein Großteil des Freiraums in seiner naturnahen Ausgestaltung belassen werden soll, um die Kosten für die Pflege und Instandhaltung auf ein Minimum zu reduzieren. In Konsequenz dessen werden deutlich größere Baufelder definiert, welche auch in der Folge die Grundlage für die Berechnungen darstellen. Die Evaluierung des Bestandsmasterplans anhand des nachfolgend beschriebenen Skripts zur Kostenschätzung ergibt einen Wert von 635 Mio. €. Dies entspricht einem Betrag von rund 63.000 Euro pro Kopf. Die genannte Zahl ist sicherlich durch die einzelnen Hochpunkte im Betrachtungsgebiet dominiert, da bei der Betrachtung der hypothetischen Blockrandbebauung ein im Vergleich deutlich niedrigerer Wert, von 188 Mio. € (18.000 €/Kopf), zu verzeichnen ist. Folglich lässt sich konstatieren, dass die Blockrandbebauung lediglich einen Anteil von etwa 28,57 % am Masterplan einnehmen würde.

Skript: Im Rahmen der Kostenanalyse eines Bauvorhabens ist es erforderlich, die erstellte Geometrie zunächst in unterschiedliche Geschosszonen aufzuteilen, um eine Aussage zu den potenziellen Kosten treffen zu können. In einem nächsten Schritt wird die Grundfläche jedes Gebäudevolumens ausgewählt und deren Flächeninhalt bestimmt, wobei es sich um die Bruttogrundfläche handelt. Im nächsten Schritt erfolgt eine Unterteilung der Höhe des Volumens in drei Bereiche. Für das Erdgeschoss wird eine Höhe von 4,5 Metern, für das Dachgeschoss eine Höhe von 3,6 Metern angenommen. Die so ermittelten Höhen werden von der Gesamthöhe abgezogen und durch die angenommene Höhe der Regelgeschosse geteilt. Für die Regelgeschosse wurde eine Höhe von 3,2 Metern angenommen, die Zahl wird auf die kleinstmögliche ganze Zahl gerundet. In der Konsequenz können sämtliche Volumina in Geschosse unterteilt werden. Im nächsten Schritt werden die jeweiligen Geschosse mit verschiedenen Preis/m²-Werten multipliziert, welche eine Annahme zum potenziellen Baupreis des jeweiligen Volumens darstellen. Für das Erdgeschoss wird ein Preis von 2.700 Euro, für das Normalgeschoss und das Dachgeschoss ein Preis von 2.250 Euro angenommen, wobei ein Aufschlag von 150 Euro pro Quadratmeter für ein Gründach berücksichtigt wird. Zusätzlich wird ein Kellergeschoss mit einem Betrag von 950 € pro Quadratmeter berechnet, basierend auf der ÖN B 1801.1 (Standards, A.,

2022). Im weiteren Schritt erfolgt eine Sortierung der Gebäude nach Bauhöhe. In der Folge werden drei Kategorien definiert, die sich durch die Höhe der Gebäude auszeichnen: Kategorie 1 umfasst Gebäude mit einer Höhe von bis zu 35 Metern, Kategorie 2 Gebäude mit einer Höhe zwischen 35 und 60 Metern und Kategorie 3 Gebäude mit einer Höhe von über 60 Metern. Im Anschluss werden die Gebäude der jeweiligen Kategorie mit Faktoren multipliziert, um die Mehrkosten zu ermitteln, die beim Bau von Hochhäusern entstehen. In diesem Kontext werden Werte von 1,0, 1,3 und 2 angenommen. Die Summe der Werte gibt den Preis der vorliegenden Geometrie an, der nun zu minimieren ist. Abbildung 05 zeigt die konzeptuelle Struktur des Skript.

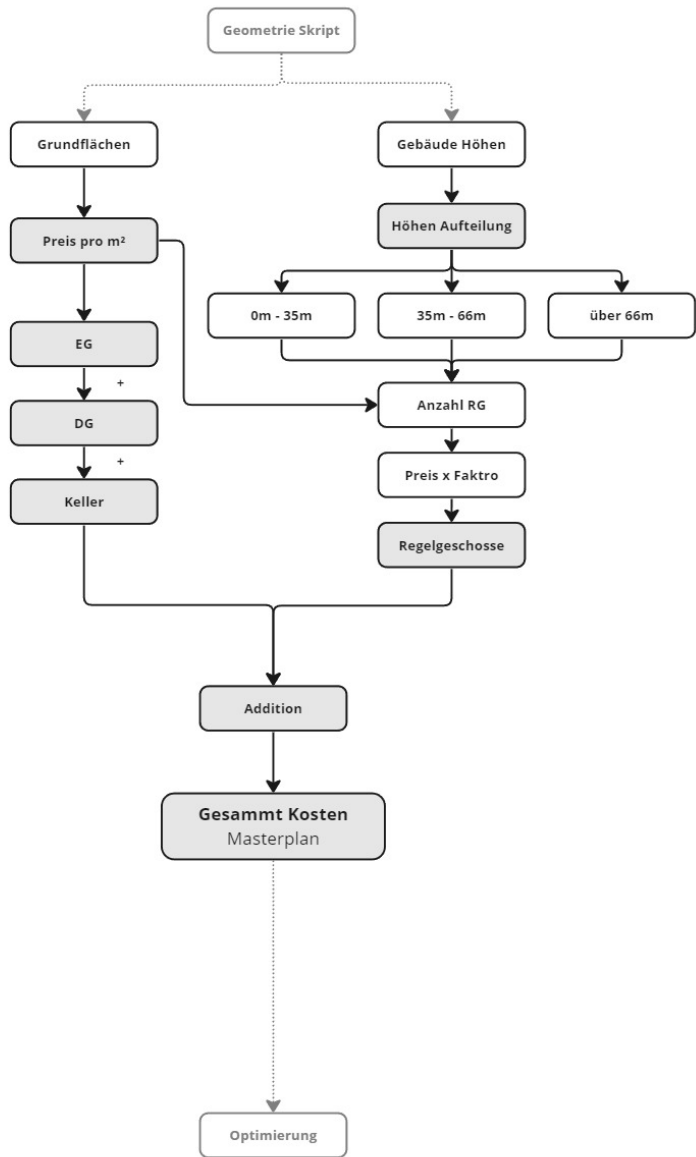


Abbildung 05: Pseudo-Skript Geschätzte Baukosten

Indikator: Sichtbarkeit der Grünflächen

Relevanz: Bereits im Rahmen der Erstellung des Masterplans Freie Mitte am Nordbahnhof wurde seitens der Planer*innen sowie der Bürger*innen selbst großes Augenmerk darauf gelegt, die Gestaltung des Grünraums unter Einbezug möglichst vieler Inputs der Bürger*innen zu entwickeln. Diesbezüglich wurde seitens der Planer*innen die Intention verfolgt, die Gestaltung des Grünraums in der Freien Mitte durch Integration unterschiedlicher Merkmale zu charakterisieren. Hierbei wurde insbesondere die Einbeziehung historischer Elemente als wesentlich erachtet. Die Integration von Relikten und Elementen der ehemaligen Bahnanlage wie Gleisstränge, Leitungsmasten und die Bahnbrücke zielt darauf ab, die Geschichte des Ortes erlebbar zu machen. Die Gestaltung zielt zudem darauf ab, Naturnähe und Wildnis in urbanen Gebieten zu gewährleisten, indem sie die Bedeutung von Biodiversität, Flächenerhaltung und der Schaffung von Lebensräumen für Tiere betont. Drittens wird bei der Gestaltung auf die Barrierefreiheit und die Vielfalt der Nutzung geachtet, indem die Bedürfnisse aller Bürger*innen berücksichtigt werden. Barrierefreie Zugänge sowie eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten werden bereitgestellt. Viertens stellt die Freie Mitte einen „Landschaftspark der besonderen Art“ dar, der durch die Einbindung von Trockenwiesen, Staudenflächen, Gehölzinseln und anderen natürlichen Elementen bewusst gegen herkömmliche Vorstellungen von städtischen Parklandschaften verstößt. Die Gestaltung zielt darauf ab, die Bedürfnisse der Parknutzer*innen mit den Belangen des Natur- und Artenschutzes in Einklang zu bringen, um eine einheitliche Nutzung des Parks sicherzustellen. Die genannten Eigenschaften führen zu einer ausgewogenen Verbindung von Geschichte, Natur, Nutzerbedürfnissen und Naturschutz (Stadt Wien – Stadtplanung, 2014). Das Ziel einer zukunftsorientierten und inklusiven Architektur sollte jedoch nicht nur das Angebot einer gut durchdachten und wohlthuenden Grünraumgestaltung sein, sondern auch die Möglichkeit bieten, dass möglichst viele Bürger*innen diese auch aus ihren Wohnungen genießen können. Diesbezüglich zeigen mehrere Studien, dass die Möglichkeit, von Hochhäusern aus auf Grünflächen zu blicken, die psychische Gesundheit von Stadtbewohnern*innen in verschiedenen Bereichen verbessern kann. Die Sicht auf Grünflächen aus Hochhäusern führt zu einer Verringerung

von Stress, einer Verbesserung der Stimmung, einer Steigerung der Aktivität des parasympathischen Nervensystems sowie zu positiven emotionalen Reaktionen (Elsadek et al., 2020).

Bewertung Bestand: Auch in der Dokumentation zum Leitfaden zur Gestaltung des Nordbahnhofs findet sich eine ausführliche Beschreibung dieses Umfangs. Obgleich sich die Planung noch in einem frühen Stadium befindet, legt dieses Dokument einen besonderen Fokus auf die Ausgestaltung der Freiflächen. Diese These lässt sich anhand der Wortwiederholungen in diesem Dokument leicht veranschaulichen. Des Weiteren fällt auf, dass das Wort „Freiraum“ etwa 235-mal wiederholt wird, während der Begriff „Gebäude“ lediglich 77-mal Erwähnung findet. Des Weiteren wird für jedes Baufeld eine spezifische Gestaltung der Freiflächen vorgeschlagen und erörtert. Zusätzlich wird eine detaillierte Überlegung zum Park der freien Mitte präsentiert. Des Weiteren werden auch Dachterrassen bzw. Gründächer als wichtige Erholungsflächen benannt. In der Regel wird der Freiraum in zwei Bereiche untergliedert, wobei der urbane Bereich in den Durchstichen und Plätzen, die durch Lücken in der Bebauung entstehen, einen höheren Versiegelungsgrad aufweist. Der Parkbereich hingegen zeigt in Richtung der Freien Mitte und ist durch einen hohen Begrünungsanteil gekennzeichnet. An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass eine Bewertung des Bestands-Masterplans mittels des im Folgenden beschriebenen Skripts möglich ist. Die Sichtbarkeit des Freiraums wird gemäß der Berechnungen auf einen durchschnittlichen Wert von 11,9 % festgelegt. Dies bedeutet, dass die Bewohner*innen im Durchschnitt etwa 12 % des auf dem Masterplan ausgewiesenen Grünraums aus ihren Wohnungen erblicken können. Bei einer angenommenen Blockrandbebauung ist dieser Wert deutlich geringer und liegt bei 5,101 %. Dies entspricht lediglich etwa zwei Fünfteln des Masterplans.

Skript: Zunächst müssen Punkte definiert werden, die als Ausblicke für die Analyse fungieren. Zunächst werden die Mittelpunkte aller Seitenflächen der Volumina generiert und deren Z-Koordinaten verglichen. Daraufhin können alle Punkte mit den niedrigsten

Z-Werten durch einen Cull-Befehl aussortiert werden. Auf diese Weise erhält man alle Oberflächen, die nicht auf der Grundfläche stehen. Diese Punkte, also jene der Seitenflächen und der Dachflächen, werden um einen Meter nach außen versetzt, um mögliche Komplikationen in weiterer Folge zu erzeugen. Im nächsten Schritt werden die Punkte in das LB Visibility Precent Modul des LadyBug Plugins für Grashopper eingespeist. Es erfolgt eine Bewertung der prozentualen Sichtbarkeit der Geometrie in Bezug auf eine bestimmte Punktegruppe. Solche Berechnungen der Sichtbarkeit können genutzt werden, um herauszufinden, welche Bereiche einer Fassade eines Gebäudes, die im Freien eine Skyline oder ein Wahrzeichen sehen lassen, sichtbar sind. Bei Verwendung dieser Funktion wird die Perspektive der Betrachter*innen auf eine Bühne, eine Leinwand oder einen anderen interessanten Punkt verändert (Docs ladybug tools, 2024). In Abbildung 06 kann das Skript vereinfacht nachvollzogen werden. Im vorliegenden Beispiel wird diese Berechnung jedoch umgedreht, da die Flächen aus dem Masterplan, die für die Grünraumgestaltung vorgesehen sind, in den Geometrie-Input des Visibility Tools eingespeist werden. Die genannten Flächen umfassen jedoch nicht nur die zuvor genannten, sondern auch jene, die sich auf den Baufeldern für die Begrünung eignen. Die Ermittlung erfolgt nach folgendem Schema: Die Grundfläche der erstellten Gebäude sowie die Fläche des Baufelds werden herangezogen und eine 1,8-fache Skalierung der Gebäude wird davon abgezogen. Auf diese Weise lässt sich ein Bereich zwischen den Gebäuden definieren, der mit den Outlines der Baufelder abschließt. Um auch die begrünten Dachflächen berücksichtigen zu können, werden die Flächen der Gebäudevolumen nach dem Z-Wert ihrer Mittelpunkte sortiert und die jeweils höchstliegenden Volumina ausgewählt. Durch einen Offset der Flächen um einen Meter nach innen kann schließlich die Annahme der Flachdachflächen erfolgen. Folglich kann festgehalten werden, dass die Bewertung erfolgt, an welchem Bereich des Grünraumes wie viele Prozent der zuvor definierten Punkte sichtbar sind. Allerdings sind Blickbeziehungen stets wechselseitig, weshalb die Aussage der Berechnung weiterhin Gültigkeit besitzt. Im nächsten Schritt werden die generierten Volumina als Kontext hinzugefügt, da diese Kontextgeometrie die Blickbeziehung unterbrechen und somit essenziell auf die Berechnung einwirken kann. Im nächsten Schritt besteht

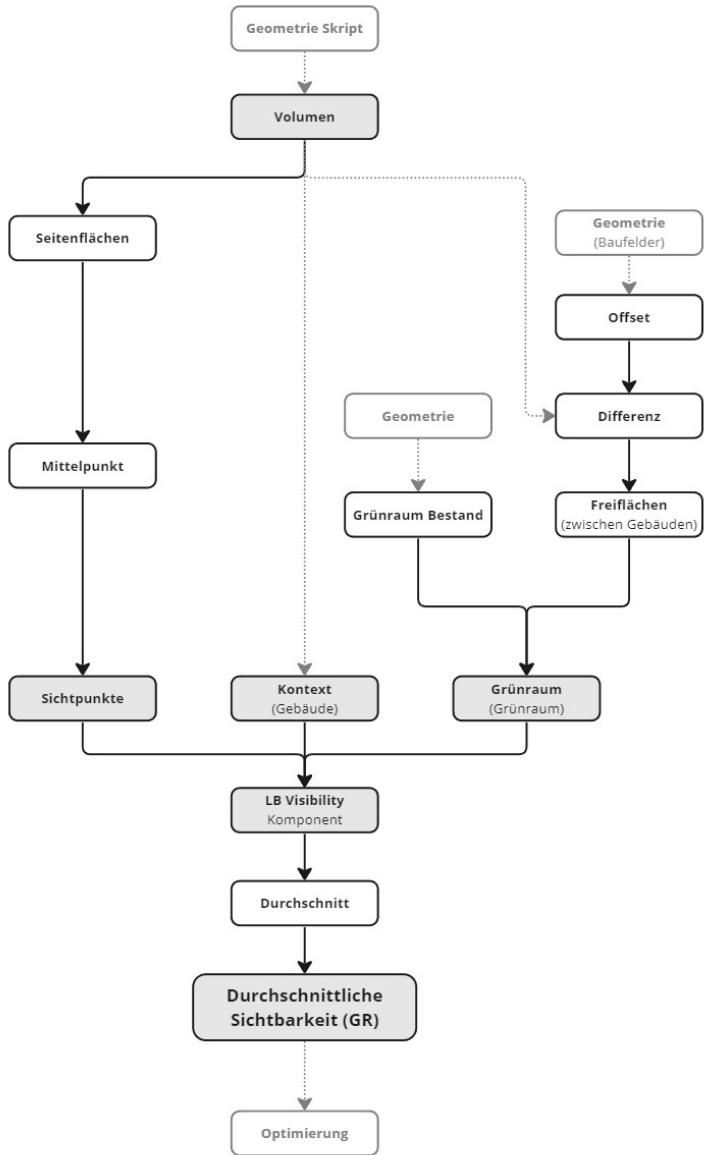


Abbildung 06: Pseudo-Skript Durchschnittliche Sichtbarkeit des Grünraums

die Möglichkeit, die Dichte des Rasters einzustellen. Es sei darauf hingewiesen, dass eine geringe Größe des Rasters eine höhere Analyseauflösung und kürzere Berechnungsdauer zur Folge hat. Daher wird empfohlen, mit einem hohen Wert zu starten und diesen bei Bedarf zu reduzieren. In diesem Beispiel wird ein Wert von 5 auf 5 Metern angenommen. Nach Abschluss der Berechnung wird für jedes der zuvor definierten Felder auf der Fläche des Grünraums ein Prozentwert berechnet, welcher die Anzahl der Punkte angibt, die von diesem Feld aus sichtbar sind. Um einen Wert zu definieren, der durch ein MOGA optimiert werden kann, wird die Anzahl der Felder durch die Summe aller Prozentergebnisse geteilt, um einen Durchschnittswert zu erhalten, der nun zu optimieren ist.

Indikator: Abkühlungsfaktor

Relevanz: Urban Heat Islands (UHIs) stellen ein zunehmend relevantes Phänomen in städtischen Gebieten dar, welches durch die Akkumulation von Wärme in dicht besiedelten und bebauten Regionen entsteht. Der Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) betont die wachsende Bedeutung von UHIs im Kontext des Klimawandels und der städtischen Entwicklung. Gemäß dem Bericht haben heiße Extremereignisse in Städten zugenommen, was zu einer Beeinträchtigung der städtischen Infrastruktur führt. Insbesondere Verkehrssysteme, Wasser- und Energiesysteme sind von den Auswirkungen extremer und langsam eintretender Ereignisse betroffen, was zu wirtschaftlichen Verlusten, Diese Auswirkungen sind insbesondere bei wirtschaftlich und sozial benachteiligten städtischen Bewohnern zu beobachten (Development, W. C. O. E. A., 1987). Laut dem Bericht sind auch Städte in gemäßigten Klimazonen wie Wien von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Eine Studie der ETH Zürich legt nahe, dass bis 2050 das Klima in Wien, dem des heutigen Skopje am ähnlichsten sein könnte. Die höchste Temperatur des wärmsten Monats wird voraussichtlich um 7,6 °C steigen, was zu einer mittleren jährlichen Temperaturänderung von 2,3 °C führt (Bastin et al., 2019). Gemäß dem Klima-Factsheet für Klimaszenarien für das Bundesland Wien ist bis zum Jahr 2100 bei einer business-as-usual-Haltung mit einer Erhöhung der Hitzeperioden im Jahresmittel um 23 Tage zu rechnen. Auch bei einem Szenario mit wirksamen Klima-

schutzmaßnahmen steigt der Wert um weitere 10 Tage an (ÖSK15, 2016). Die prognostizierten klimatischen Änderungen werden signifikante Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung haben. Da auch aus der Studie hervorgeht, dass kein nennenswerter Anstieg der Niederschläge im Bundesland Wien zu verzeichnen ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich nicht nur die grüne Infrastruktur in Wien grundlegend verändern muss. Auch die Infrastruktur, wie beispielsweise die öffentlichen Verkehrsmittel, könnte durch extreme Wetterereignisse beeinträchtigt werden. Die weltweit zu beobachtende Urbanisierung führt zu einer steigenden Anzahl von Menschen, die in Städten leben. Prognosen zufolge wird bis 2050 etwa zwei Drittel der Weltbevölkerung in urbanen Gebieten leben (Alcoforado & Andrade 2008). Auch für Wien wird ein Bevölkerungszuwachs prognostiziert, der bis 2030 eine Bevölkerungszunahme von 1,8 Millionen auf 2 Millionen zur Folge haben wird (MA 23, 2014). Dieser Anstieg führt zu einer verstärkten städtischen Verdichtung und dem Verlust von unverbauten Freiflächen, was den Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland verstärkt. Die Klimaerwärmung verschärft diese Entwicklung weiter, was zu einer Zunahme von Hitzetagen und intensiveren Hitzeperioden führt. Die Wiener Umweltschutzabteilung hat sich seit über 15 Jahren mit dem Thema Hitze in der Stadt befasst und bereits verschiedene Maßnahmen wie Grünraumvernetzung, Dachbegrünungen und Regenwassermanagement umgesetzt. Hohe Temperaturen können negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Stadtbewohner*innen haben, insbesondere auf vulnerable Gruppen wie ältere Menschen, chronisch Kranke und Kinder (Wanka 2014). Die Integration von mehr grüner und blauer Infrastruktur sowie die Erhöhung der Albedo im städtischen Raum können dazu beitragen, den städtischen Hitzeeffekt zu reduzieren. Trotz der vielfältigen positiven Funktionen stehen Frei- und Grünräume aufgrund des steigenden Bedarfs an Grund und Boden sowie der ökonomischen Herausforderungen unter Druck. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, die Bedeutung dieser Infrastrukturen für das Stadtklima zu verdeutlichen und die Umsetzung von Maßnahmen zu diskutieren (MA 22, 2015). Der städtische Wärmeinseleffekt ist das Resultat von Unterschieden in klimatischen Komponenten wie Niederschlag, Windverhältnissen und Temperatur zwischen städtischen Siedlungsgebieten und ländlichen Gebie-

ten. Dabei können Temperaturunterschiede von bis zu 12 °C zwischen Stadt und Umland auftreten. Der UHI-Effekt manifestiert sich insbesondere in windstillen und wolkenlosen Sommernächten, da Baumaterialien Wärme speichern und abstrahlen, während nicht bebaute Landschaften durch Wärmeabstrahlung abgekühlt werden (MA 22, 2015). Die Topografie spielt eine entscheidende Rolle, da sie die Luftzirkulation und den Wärmeaustausch beeinflusst. Besonders Hanglagen können zu Temperaturunterschieden führen, da kalte Luft in Tälern absinkt und sich sammelt, während warme Luft aufsteigt. Diese lokalen klimatischen und topografischen Bedingungen können dazu beitragen, dass sich Hitze in städtischen Gebieten stärker staut und den UHI-Effekt verstärkt. Eine besonders hohe Hitzebelastung wurde im Stadtzentrum sowie in Wohn- und Industriegebieten in flachem Terrain festgestellt (NW- und SO-Windrichtung). Grünflächen und Baumbestände haben eine kühlende Wirkung durch Verdunstung und Schattenbildung. Sie können dazu beitragen, die Temperatur in städtischen Gebieten zu senken und den Wärmeinseleffekt zu mildern. Eine Erhöhung des Grünflächenanteils um 30 % in innerstädtischen Bezirken führt zu stärkeren Kühlungseffekten. Im Vergleich zu Grünflächen in äußeren Bezirken führt die Anlage von Grünflächen in der Umgebung zu einer verstärkten Kühlung. Die flächenmäßige Abnahme und Fragmentierung von städtischen Grünflächen steigern den UHI-Effekt (MA 22, 2015). Die Beschaffenheit des Bodens beeinflusst die Wärmeabsorption und -abstrahlung. Versiegelte Flächen wie Asphalt und Beton absorbieren Wärme und tragen zur Erwärmung der Umgebung bei, während durchlässige Böden Feuchtigkeit speichern und zur Kühlung beitragen können. Exponierte und schwach oder nicht reflektierende Flächen, wie beispielsweise dunkle Bodenbeläge und Dächer, können eine Temperaturdifferenz von bis zu 50 °C gegenüber der Lufttemperatur aufweisen (EPA 2008). Die Dichte, Höhe und Ausrichtung der Gebäude beeinflussen den Luftaustausch und die Sonneneinstrahlung. Enge Straßen und hohe Gebäude können die Luftzirkulation behindern und die Wärmeabsorption erhöhen, wodurch der Zustrom von Luft aus dem Umland verhindert wird. Dies hat Auswirkungen auf die Produktion von Abwärme bei industriellen Prozessen, Klimaanlage und Kraftfahrzeugen. Die Geometrie der Gebäude sowie der damit einhergehende, oftmals geringe Himmelssichtfaktor (sky view factor) – ein

Maß für die Öffnung eines städtischen Freiraumes zum Himmel – behindern die Luftzirkulation und langwellige Ausstrahlung zusätzlich (Kuttler 2011). Mögliche Maßnahmen zur Verringerung des städtischen Wärmeinseleffekts sind die folgenden: Die Förderung des Luftkreislaufs in der Stadt sowie die Vernetzung der Freiflächen stellen Maßnahmen zur Verringerung des städtischen Wärmeinseleffekts dar. Die Schaffung von Freiflächen und Grünflächen sowie die Gestaltung von Stadtstrukturen, die die Luftzirkulation unterstützen, erleichtern die Wärmeabfuhr und reduzieren den UHI-Effekt. Um den UHI-Effekt zu mildern, ist es erforderlich, die Wärmeaufnahme und -speicherung zu reduzieren. Dies kann durch eine Anpassung der Stadtstruktur und der Siedlungsformen sowie durch eine gezielte Anordnung von Gebäuden, Straßen und Grünflächen erreicht werden. Durch den Einsatz von hellen Oberflächenmaterialien an Straßen und Gebäuden sowie durch die Entsiegelung von Flächen kann die Sonnenenergieabsorption reduziert und der UHI-Effekt verringert werden. Der Ausbau und die Bewahrung von Freiflächen und Grünflächen stellen eine effektive Maßnahme zur Milderung des UHI-Effekts dar. Durch die Schaffung von Grünflächen und Freiflächen entstehen kühlende Oasen, welche zur Wärmeabsorption beitragen und somit den UHI-Effekt reduzieren. Um diesen Effekt auch simulieren zu können, wird im Folgenden ein Workflow in Rhino und Grasshopper geschildert.

Bewertung Bestand: Im Bereich des Stadtklimas des Handbuchs zur Gestaltung des Masterplans Nordbahnhof Freie Mitte wird unter anderem von einer Belastung durch Hitze an heißen Sommertagen gesprochen. Zwar wird hier nicht vom Urban Heat Island gesprochen, jedoch werden verschiedene Methoden zur Reduzierung der Oberflächentemperatur genannt, welche eine Abkühlung in Sommernächten begünstigt. In diesem Kontext werden verschiedene Ansätze in den Bereichen Wasser, Sonne, Wind und Vegetation erörtert. In dem folgenden Skript wird ebenfalls der Aspekt der Verschattung sowie der Vegetation vertieft. In den vorangehenden Kapiteln wird zudem wiederholt auf die Reduzierung des Liefer- und des motorisierten Individualverkehrs eingegangen, wobei auch diese Aspekte Berücksichtigung finden können. Der hier thematisierte Indikator beschreibt das Abkühlungspotenzial, welches sich in warmen Sommernächten durch die Geometrie des Master-

plans ergibt. Zunächst muss eine Grundlage geschaffen werden. Diese Temperatur stellt die niedrigste durchschnittliche Juli-Temperatur im ersten Wiener Gemeindebezirk dar. Im Folgenden wird die Abweichung der Temperatur als Abkühlungspotenzial beschrieben. Die niedrigste Temperatur für Wien beträgt gemäß des folgenden Skripts 18,30 °C. Bei einer Messung des Abstands für die gleiche Zeit im Rahmen des Masterplans wird ein Wert von 18,47 °C ermittelt. Dies impliziert, dass die Tiefsttemperatur für das Masterplangebiet um etwa 0,15 Grad wärmer ist und somit eine geringere Abkühlung stattfindet. Es sei jedoch angemerkt, dass trotz der geringeren bzw. nahezu identischen Nachttemperatur die durchschnittlichen Höchsttemperaturen gegen 17:00 Uhr um etwa 2,63 Grad kühler sind als im ersten Bezirk. Auch die Blockrandbebauung zeigt ähnliche Resultate, wobei der Abstand zur Tiefsttemperatur etwas geringer ist.

Skript: Um die erstellten Geometrien für die Simulation durch DragonFly und den Urban Weather Generator nutzen zu können, müssen diese zunächst in zwei Gruppen unterteilt werden. Die Volumina werden nach ihrer Höhe sortiert und in zwei Kategorien aufgeteilt, eine für unter 35 m und eine über 35 m. Diese Unterteilung kann im nächsten Schritt bei der Erstellung der Gebäude genutzt werden. Bei der Erstellung von Gebäuden in einem DF-Modell sind mehrere Faktoren von entscheidender Bedeutung. Der erste Faktor sind die Grundgeometrien, die in den vorherigen Schritten erstellt wurden. Im nächsten Schritt wird für alle Gebäude eine Geschosshöhe angenommen, welche die Volumina leichter aufzuteilen und zu vereinfachen erlaubt. Es könnte theoretisch für jedes Gebäude eine detaillierte Geschossverteilung angegeben werden. Aus Gründen der Vereinfachung wird hier jedoch von einer durchschnittlichen Geschosshöhe von 3,5 Metern ausgegangen. Nun wird ein Programmparameter festgelegt, um zu definieren, für welche Nutzung das Gebäude vorgesehen ist. Auf diese Weise lassen sich verschiedene energetische Aussagen treffen. Zur Vereinfachung wird für alle Gebäude unterhalb einer Höhe von 35 Metern der von HoneyBee bereitgestellte „MidriseApartment“-Preset gewählt, während für alle Gebäude über 35 Metern der „HighriseApartment“-Preset verwendet wird. Zunächst wird ein Parameter zur Bauart des Gebäudes benötigt, wobei drei Werte in das Modell einge-

speist werden. Im nächsten Schritt wird festgelegt, für welche Klimazone das Gebäude geplant wurde. Für Wien wurde die Klimazone „4 – Mixed“ aus dem HB Climate Zones Preset angenommen. Anschließend besteht die Möglichkeit, das Alter des Gebäudes anzugeben. Dabei kann angegeben werden, nach welchen Energieeffizienz-Normen das Gebäude errichtet wurde. Da davon auszugehen ist, dass alle Gebäude nach den aktuellen Normen und Gesetzen geplant und errichtet werden, wurde hier das aktuelle Preset gewählt, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) 90.1 2019/IEC 2021 = „2019“. ASHRAE bezeichnet den Standard der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) und der International Energy Conservation Code (IECC) beschreibt ebenfalls einen internationalen Standard. In der Konsequenz lassen sich Angaben zur Wärmedämmung der Gebäude ableiten. Schließlich wird die Art der genutzten Bautechnik definiert. Hierbei wird ein Preset von HB genutzt. Für die Bebauung unter 35 Metern wird der „Mass“-Preset gewählt, der ein größtenteils aus Beton bestehendes Gebäude beschreibt. Für die Gebäude über 35 Metern wird der „SteelFrame“-Parameter definiert, um auf die unterschiedlichen Konstruktionsmethoden bei Hochhäusern einzugehen. Im Anschluss wird entschieden, ob die Gebäude beheizt und gekühlt werden, um die Wärmebelastung, die daraus resultiert, in die Simulation mit einzubeziehen. In Hinblick auf die zukünftig klimatischen Veränderungen wurde sowohl der Heiz- als auch der Kühlungsfall angenommen. Nun werden die Geometrien vom System als DF-Gebäude eingestuft. Im weiteren Schritt wird die Möglichkeit eröffnet, den erstellten Gebäuden ein Fenster-Fassaden-Verhältnis zuzuweisen. Hierbei wird erneut zwischen Hochhäusern und Gebäuden mit einer Höhe von weniger als 35 Metern unterschieden. Da davon ausgegangen wird, dass Gebäude, die sich nicht so weit vom Straßenlevel entfernt befinden, ein geringeres Öffnungsverhältnis aufweisen als Gebäude, die über eine höhere Geschossanzahl verfügen und somit ein größeres Verhältnis zulassen, wird diese Differenzierung vorgenommen. Für Bauten unter 35 Metern wird ein Verhältnis von 0,2 und für Gebäude über 35 Metern ein Verhältnis von 0,3 angenommen. Zudem ermöglicht das Tool die Berücksichtigung potenzieller Verschattungen durch bauliche Maßnahmen. Da in Wien mit einer Zunahme der sommerlichen Höchsttempera-

turen zu rechnen ist, wird auch hier ein Wert für eine bauliche Verschattung angenommen. Des Weiteren können etwaige Sonnenblenden, hervorstehende Balkonbänder sowie für nach innen versetzte Fenster in die Berechnung einbezogen werden. Im nächsten Schritt werden die erstellten Gebäude mit folgenden weiteren Parametern in ein DF-Modell eingespeist: Ein weiterer wichtiger Input ist das Terrain, auf dem der Masterplan geplant wird. Hier wird wieder eine Geometrie aus Rhino referenziert, die das Planungsgebiet des Masterplans umfasst. Es sei darauf hingewiesen, dass das DF-Modell lediglich plane Flächen und eine einheitliche Oberfläche als Input akzeptiert. Somit müssen im weiteren Verlauf die Inputs für das gesamte Betrachtungsgebiet pauschal angenommen werden. Aufgrund der heterogenen Oberflächen und Steigungsverhältnisse im Gebiet werden für den Albedo-Wert 0,2, für die Höhe des Belags der Standardwert von 0,5 m, für die Wärmeleitfähigkeit ebenfalls der Standardwert von 1 W/m·K und für die spezifische Wärmekapazität der Standardwert angenommen. Des Weiteren können potenzielle schattenspendende Elemente in das Modell mit einbezogen werden. Für diese Simulation wird sich jedoch aufgrund der Simplifizierung der Berechnung nur auf Vegetation in Form geplanter Bäume fokussiert. Aus dem bestehenden Masterplan und dessen Grünflächenkonzept lässt sich eine Annahme zur Anzahl und Platzierung der geplanten Bäume ableiten. Diese werden anschließend durch einfache Rhino-Geometrien in das Grasshopperskript eingespeist, wodurch Größe und Ort des jeweiligen Baumes referenziert werden. Bei Verwendung dieser Option ist jedoch zu beachten, dass lediglich die Oberseiten und Seiten der Baumkronengeometrie modelliert werden dürfen. Die Modellierung des unteren Teils der Baumkronen führt zu einer doppelten Zählung der horizontalen Fläche der Baumkronen und erzeugt außerdem zusätzliche, unnötige Geometrie, was die Berechnung verfälscht. Eine weitere Möglichkeit wäre die Annahme einer Baumverteilung über einen Prozentwert. Da jedoch eine Geometrie zur Verfügung steht, wurde sich für diesen Weg entscheiden. Ein weiterer wesentlicher Faktor, um den Urban Heat Island Effekt zu simulieren, ist die durch menschlichen Verkehr entstandene Abwärme. Auch hierzu bietet die DF-Oberfläche eine Option, diesen mit einzubeziehen. Zunächst wird der Watts-Wert pro Fläche abgeschätzt (`watts_per_area`). Dieser gibt den maximalen fühlbaren anthropogenen Wär-

mestrom des Stadtgebiets in Watt pro Quadratmeter an. Der hier betrachtete Anteil der urbanen Wärmeinsel ist diejenige Wärme, die nicht von Gebäuden, sondern vor allem von Autos, Straßenbeleuchtung und menschlichem Stoffwechsel ausgeht. Bei automatischer Berechnung wird er aus der durchschnittlichen Anzahl der Gebäudegeschosse des Modells, das die Verkehrsparameter enthält, geschätzt (Standard: automatische Berechnung). Werte für verschiedene Städte können in (Chen et al., 2011) gefunden werden. Ein typisches, gemischt genutztes Viertel in Toulouse, Frankreich, weist eine durchschnittliche Wärmeleistung von 8 W/m^2 auf, die auch für Wien angenommen werden kann. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, diesen Wert für einzelne Wochentage zu verfeinern. Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Werte jedoch bei den Standardwerten verbleiben, um die Komplexität zu reduzieren. Des Weiteren ist es erforderlich, Flächen zu definieren, die im Betrachtungsgebiet mit Gras bedeckt sind, da diese durch unterschiedliche Albedo-Werte und potenzielle Verdunstungskälte aktiv zum Stadtklima beitragen können (MA 22, 15). Um eine möglichst genaue Annahme über die Verteilung der Grasbedeckung im Masterplan treffen zu können, ist zunächst festzuhalten, dass auch hier keine eigentlichen Geometrien eingespeist werden können, um eine genaue Verortung vorzunehmen. Stattdessen wird eine prozentuale Abschätzung für das gesamte Gebiet vorgenommen, die jedoch auf Annahmen basiert, die durch die verschiedenen Oberflächen im Betrachtungsgebiet getroffen wurden. Zunächst wurden die Flächen in drei unterschiedliche Kategorien unterteilt, nämlich Baufelder, ausgewiesene Grünflächen des Masterplans sowie Verkehrsflächen (Straßen und Schienen). Für jede Kategorie kann nun ein Faktor angenommen werden, um den Grad der durch Gras bedeckten Flächen bestmöglich abzuschätzen. Da bei den Baufeldern mit neuen Entwicklungen zu rechnen ist und ein gewisses Augenmerk auf eine gute Durchmischung von Gebäuden und Grünflächen gelegt werden sollte, wie dem Handbuch zum städtebaulichen Leitbild Nordbahnhof zu entnehmen ist, ist es erforderlich, die Faktoren für die Baufelder entsprechend anzupassen (Stadt Wien – Stadtplanung, 2014). Es wird empfohlen, die Grünflächenanteile in den einzelnen Baufeldern so zu dimensionieren, dass eine ausgewogene Mischung aus bebauten und unbebauten Flächen entsteht. Dies gewährleistet eine hohe Lebensqualität und ein attraktives Wohn-

umfeld. Die genaue Festlegung des Grünflächenanteils für jedes Baufeld sollte im Rahmen der städtebaulichen Planung und Gestaltung individuell betrachtet und angepasst werden, um eine harmonische Integration von Gebäuden und Grünflächen zu erreichen. Als Faktor wird ein Wert von 0,25 der Gesamtfläche aller Baufelder angenommen. Nach einer visuellen Abschätzung und Evaluierung der Pläne zur Grünflächengestaltung wird für die Grünflächen ein Wert von 0,85 angenommen, um für Wege, Holzterrassen, gepflasterte Plätze und weitere nicht begrünte Flächen zu kompensieren. Schlussendlich wird für alle Verkehrsflächen, wie Straßen und Schienen, ein Wert von 0,15 angenommen, um spontan auftretende Vegetation auf Seiten des Bahndamms und gegebenenfalls für Straßenbegrünungen mit einzubeziehen. So kann für das gesamte Betrachtungsgebiet eine durchschnittliche Grasbedeckung von etwa 37 % angenommen werden. Nach Fertigstellung des letzten Parameters für das DF-Modell kann dieses nun in den Urban Weather Generator eingespeist werden. Der Urban Weather Generator (UWG) wurde von Bueno entwickelt (Bueno et al., 2014). Das zugrundeliegende Gebäudeenergiemodell basiert auf dem Town Energy Balance Schema. Das Modell stützt sich auf Energiebilanzen, die sich auf Volumina in den Grenzschichten und im Kronendach der Stadt stützen. Zur Ermittlung der stündlichen Werte der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in der Stadt werden Referenzdaten herangezogen, die üblicherweise außerhalb einer Stadt gemessen werden. Zur Beschreibung der Merkmale städtischer und ländlicher Standorte sind eine Energy-Plus-Wetterdatei (epw) und eine Extensible Markup Language (XML)-Datei erforderlich. Eine kürzlich durchgeführte Analyse in Singapur ergab, dass das Modell eine Vielzahl von Landnutzungen, morphologischen Parametern und Gebäudenutzungen simuliert. Bei allen Wetterbedingungen und an verschiedenen Referenzstandorten erzielt es eine befriedigende Leistung (Bueno et al., 2014). Die Leistung von UWGs (Urban Weather Generator) entspricht der eines rechenintensiveren mesoskaligen atmosphärischen Atmosphärenmodells. Sein vergleichsweise schneller Algorithmus eignet sich für iterative Design-Tool-Anwendungen (Nakano et al., 2015). In der Folge wird neben dem zuvor generierten DF-Modell auch eine EPW-Datei erzeugt, welche die klimatischen Verhältnisse abseits einer ruralen Stelle widerspiegelt. Der Algorithmus morpht diese Datei in

eine städtische EPW-Datei, welche mit anderen Dateien verglichen werden kann. Die hier verwendete EWP-Datei des Flughafens Wien-Schwechat stellt eine typische Situation in ländlicher Umgebung dar, die als Referenz für die Simulation des UWG herangezogen wird. Um die Simulation zu beeinflussen, können weitere Parameter hinzugefügt werden. Der Ausführungszeitraum kann durch die Angabe einer Analyseperiode beschrieben werden. Wenn keine Angabe gemacht wird, wird die Simulation für das gesamte Jahr durchgeführt. Um eine schnelle Analyse und die Reduzierung von Rechenleistung für die Simulation zu gewährleisten, wird die Periode auf die wärmsten drei Monate beschränkt. Diese werden mithilfe der monatlichen Durchschnittstemperatur der inneren Stadt Wien aus der jeweiligen EWP-Datei ausgelesen. Somit beschränkt sich die Datenmenge auf die stündlichen durchschnittlichen zu erwartenden Werte aus Juni, Juli und August. Weiterhin können weitere Werte zur Verfeinerung der Simulation herangezogen werden. Das Vegetationsparameter-Objekt dient der Darstellung des Verhaltens der Vegetation in urbanen Gebieten. Sofern keine konkreten Parameter spezifiziert sind, werden generische Vegetationsparameter generiert. Der Albedo-Parameter beschreibt die Beziehung zwischen der reflektierten Strahlung, die von bewachsenen Oberflächen und der eingehenden Strahlung dargestellt wird. In der Regel wird dieser Wert auf 0,25 gesetzt. Der Monat, in dem die Vegetationsverdunstung beginnt (Blätter erscheinen) bzw. endet (Blätter fallen ab), wird durch die Parameter `start_month` bzw. `end_month` angegeben. Die automatische Berechnung dieser Monate erfolgt standardmäßig durch Analyse der durchschnittlichen Temperaturen der Monate. Zudem besteht die Möglichkeit, die Parameter, die für die Erstellung der referenzierten EPW-Datei genutzt wurden, weiter zu spezifizieren. Zu den zu berücksichtigenden Faktoren zählt unter anderem die Höhe von Objekten, welche den Blick auf den Himmel am Standort der Wetterstation beeinträchtigen, wie beispielsweise Bäume und Gebäude. Diese wird in Metern angegeben. Der Standardwert beträgt 0,1 m. Zudem wird die Fläche des Referenz-EPW-Standorts, welche durch Gras bedeckt ist, durch eine Zahl im Bereich von 0 bis 1 angegeben. Der Standardwert für diesen Wert ist 0,9. Auch die Höhe der Temperaturmessung an der Wetterstation, an der die Werte gemessen wurden, kann in Metern angepasst werden. In der Regel liegt die Messhöhe für US-DoE-

EPW-Dateien bei 10 Metern. Ebenfalls die Messhöhe der Windgeschwindigkeiten liegt bei 10 Metern. Da die Vegetationsparameter bei einer ausschließlichen Fokussierung auf die Sommermonate nur eine untergeordnete Rolle spielen und die anderen Parameter wie der Referenz-EPW-Parameter und der Boundary-Layer-Parameter jeweils mit Standardwerten ausgestattet sind, die zu einer unnötigen Komplexität der Simulation beitragen, wird hier auf die Verwendung der Standardwerte zurückgegriffen. Im Anschluss an die Simulation wird durch das UWG aus der referenzierten EPW-Datei eine gemorphte EPW-Datei erstellt, welche sich auf die Bedingungen der urbanen Wärmeinsel in einem generierten Straßencanyon mit sämtlichen zuvor genannten Daten und Einstellungen bezieht. An dieser Stelle besteht die Möglichkeit, das generierte EPW mit einer gemessenen EPW-Datei aus dem ersten Wiener Gemeindebezirk zu vergleichen, da dies die nächsten Wetterdaten sind, die sich auf die Fläche des Masterplans anwenden lassen. Auf jede neue Input-Geometrie wird eine neue angepasste EWP-Datei erzeugt, die mit der gleichbleibenden EWP-Datei aus Wien verglichen werden kann. Um die Auswirkungen der Geometrien, die anfangs in die Simulation eingespeist wurden, auf den Urban Heat Island Effekt zu bestimmen, wird eine Validierung durchgeführt. Dazu wird die Trockentemperatur aus der Datei ausgelesen, welche die Temperatur ist, die mithilfe eines herkömmlichen Thermometers gemessen wird. Sie stellt die Lufttemperatur dar, ohne dass Feuchtigkeit oder Wasserdampf berücksichtigt werden. Für jede Datei wird lediglich ein Durchschnitt für jede Stunde in den drei Monaten Juni, Juli und August gebildet. Die resultierenden Datenpunkte können nun auf einem Graphen visualisiert werden, sodass der durchschnittliche Temperaturverlauf im Monat pro Stunde verglichen werden kann. Als Key-Indikator wird jedoch der Wert angenommen, der den Abstand der beiden Kurven um genau 05:00 Uhr früh hat. Infolgedessen kann das Abkühlungspotenzial bewertet werden, welches durch die Stellung der neuen Geometrien im Bereich des Masterplans frei Mitte bedingt ist. Dadurch kann ein aktiver Beitrag zum Vorgehen gegen den UHI-Effekt geleistet werden. In Abbildung 07: kann das Skript schaubildlich nachvollzogen werden.

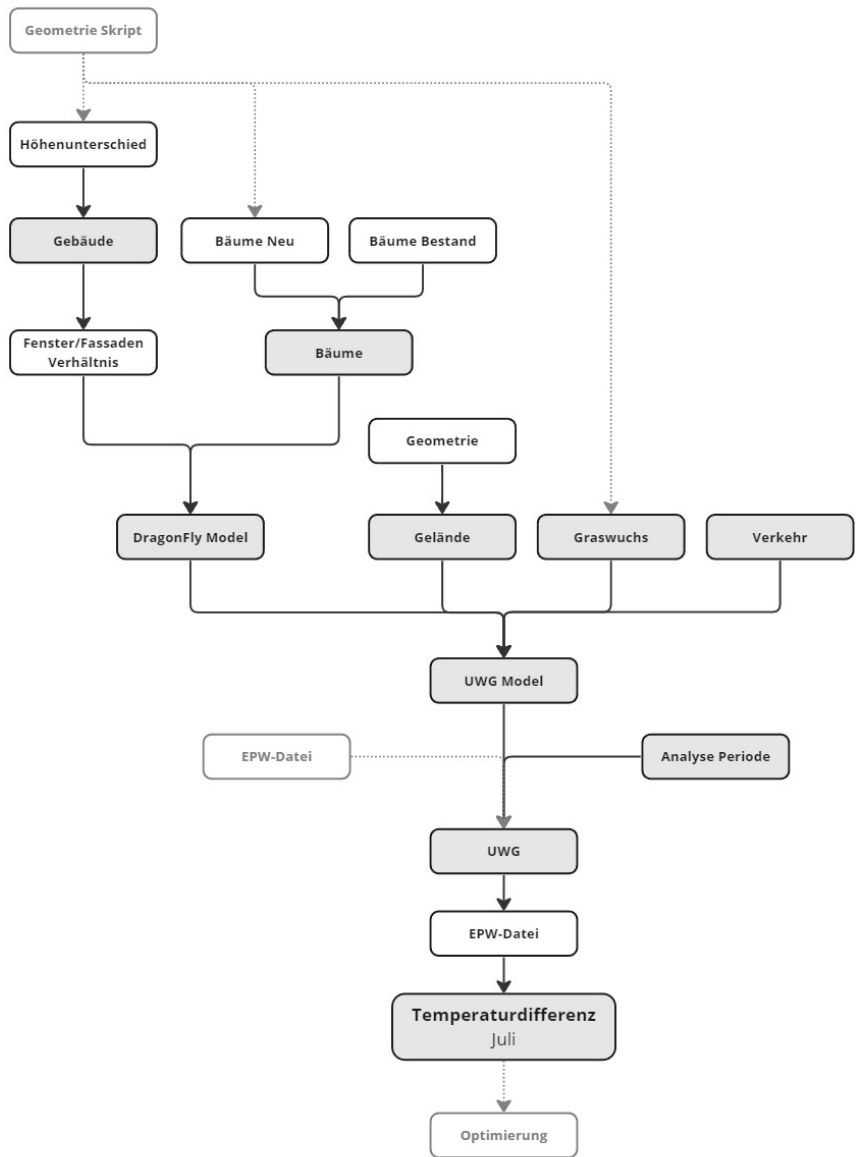


Abbildung 07: Pseudo-Skript Abkühlungspotenzial (UHI)

Indikator: Windgeschwindigkeiten

Relevanz: Die Geschwindigkeit des Windes in der Stadt spielt eine wesentliche Rolle für die Lebensqualität und Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum. Wind kann dazu beitragen, die Durchlüftung oder Abkühlung positiv zu beeinflussen. Im Gegensatz dazu sollten Kanalisierungseffekte vermieden werden, also starke Windströmungen mit hoher Windgeschwindigkeit. Kleine aerodynamische Anpassungen oder die Lage, Form und Ausrichtung eines Gebäudes können einen positiven Einfluss auf den Windkomfort und somit auf die Aufenthaltsqualität haben (Wiener Stadtklimaanalyse, 2023). Die typische Windrichtung der Stadt ist West bis Nordwest und Südost, da Wien am Ostrand der Alpen, am Übergang zum Alpenvorland im Osten und zur Pannonischen Tiefebene im Südosten gelegen ist. Aufgrund topografischer Unterschiede sowie der Lage und Exposition der Messstationen variieren die Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen in Wien. Das Windpotenzialkataster deutet darauf hin, dass insbesondere Gebiete in Nord-, Nordost- und Südostösterreich ein großes Potenzial für die Nutzung von Kleinwindkraftanlagen für Windenergie haben. Allerdings können lokale Umstände wie Abschattungseffekte und die Bauweise eines Gebäudes das tatsächliche Windpotenzial beeinflussen. Eine präzise Bewertung und Verbesserung des Standorts sind daher von besonderer Relevanz, insbesondere für Kleinwindkraftanlagen, deren Rentabilität maßgeblich von den lokalen Gegebenheiten abhängt. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, Standorte mit hohem oder mittlerem Potenzial einer detaillierteren Untersuchung zu unterziehen, um die Effizienz der Anlage zu optimieren (Windpotenzialkataster, 2016). Auch die städtische Morphologie, die thermophysikalischen Eigenschaften von Baumaterialien, Straßen und anderen Infrastrukturen sowie die Wärme, die durch menschliche Aktivitäten erzeugt wird, unterliegen durch die territoriale Verstärkung einer Veränderung des lokalen Klimas. Mikroklimatische Phänomene, die spezifisch für die gebaute Umwelt sind, werden durch diese Änderungen hervorgerufen. Die genannten Faktoren wirken sich auf das Wohlbefinden der Bewohner*innen, die Nutzung des öffentlichen Raums, den Energieverbrauch sowie die Erhaltung der biologischen Vielfalt aus, wenn sich Temperatur, relative Luft-

feuchtigkeit und Luftströmung verändern. Die mikroklimatischen Phänomene werden in neuartigen Stadtplanungsmethoden berücksichtigt (Paris et al., 2023). Im Folgenden wird dargelegt, wie solche Simulationen in einen städtebaulichen Workflow integriert werden können. Auch Rhino und Grasshopper sind in der Lage, auf Basis von CFD-Simulationsprogrammen wie OpenFoam, solche Berechnungen durchzuführen. Bei der CFD-Simulation handelt es sich um ein computergestütztes Verfahren zur Vorhersage und Analyse des Verhaltens von Flüssigkeiten oder Gasen in komplexen Umgebungen. Die Lösung der mathematischen Gleichungen, welche das Strömungsverhalten beschreiben, erfolgt mittels numerischer Methoden sowie unter Anwendung der zugrunde liegenden Prinzipien. Um das Strömungsverhalten an jedem Punkt des zu untersuchenden Bereichs zu berechnen, werden die Gleichungen in kleinen diskreten Zellen gelöst (Computational Fluid Dynamics, 2024). Die Durchführung einer CFD-Simulation erfordert zunächst die Beschaffung einer adäquaten Software, die den persönlichen Zielen entspricht. Eine CFD-Simulationssoftware stellt eine besondere Software dar, welche Ingenieuren und Forschern die numerische Analyse von Strömungsverhalten und Strömungsphänomenen in komplexen Systemen ermöglicht. Zur Modellierung des Verhaltens von Flüssigkeiten (Gase oder Flüssigkeiten) verwendet diese Software numerische Methoden und die Grundprinzipien der Kontinuumsmechanik Computational Fluid Dynamics, 2024). OpenFOAM ist ein leistungsstarker CFD-Solver mit zahlreichen Optionen. Eine neue Integrationslösung namens Butterfly bietet Grasshoppern einige der Funktionen von OpenFOAM. Obgleich Butterfly nicht über alle Funktionen von OpenFOAM verfügt, stellt dies derzeit kein Problem dar. Beide Programme sind Open-Source und werden von einer großen Gemeinschaft unterstützt, was der wesentliche Vorteil dieser Integration ist. Dadurch werden die Möglichkeiten kontinuierlich ausgebaut. Beide Programme sind gut dokumentiert, jedoch erfordert Butterfly für eine korrekte Anwendung ein gewisses Verständnis von CFD (Chronis et al., 2017). Aus diesem Grund wird im Weiteren auf das Plugin „Butterfly“ für die Wind-Flow-Analyse zurückgegriffen.

Bewertung Bestand: Wie schon im obigen Absatz erwähnt, stellt die Windgeschwindigkeit eine essenzielle Messgröße für das Wohlbefinden von Menschen in Städten da. Diese Einschätzung findet sich auch im Handbuch zum Masterplan Frei Mitte. Der Komfort wird generell als gut bis sehr gut eingeschätzt, lediglich bei längeren Aufenthalten an mit hoher Windbelastung wird er als störend empfunden. Es lässt sich jedoch ableiten, dass die Berücksichtigung des Windes weniger als Gestaltungskriterium erfolgte, sondern dass die Aussagen zur Qualität des Entwurfs nachträglich durch eine computergestützte Analyse getroffen wurden. Folglich erlaubt diese Analyse nur bedingt Rückschlüsse auf die gezielte Platzierung von Gebäudevolumen, sondern kann lediglich als nachträgliche Kontrolle verstanden werden. Im weiteren Verlauf werden Maßnahmen auf Gebäudeebene vorgeschlagen, die eine gezielte Reduzierung der Windgeschwindigkeiten zum Ziel haben. Diese sind als relevante Schritte in weiteren Entwurfsprozessen zu betrachten. Einzelne Maßnahmen werden jedoch auch auf Ebene der Baufeldplanung erwähnt und zum Teil auch in die Gestaltung des Masterplans eingearbeitet. Die beigegefügte Analyse des Masterplans verwendet den Messwert „Verstärkungsfaktor“, welcher die Differenz der Windgeschwindigkeit an einem bestimmten Ort im Vergleich zu einer ähnlichen städtischen Situation mit Blockrandbebauung angibt. Die höchsten Verstärkungsfaktoren werden insbesondere im Bereich der Bahnlinie sowie auf den Baufeldern 9 und 10 registriert. Die Bewertung durch das folgende Skript erlaubt die Messung von Windgeschwindigkeiten an überdurchschnittlich windigen Tagen. Unter der Annahme einer Höchstgeschwindigkeit von 14 m/s ergibt sich für das Betrachtungsgebiet eine Höchstgeschwindigkeit von 24,25 m/s, was in etwa dem 1,7-Fachen des Startwerts entspricht und somit in einem vergleichbaren Bereich liegt wie die Analyse aus dem Handbuch. Bei einer Geschwindigkeit von ca. 25 m/s kann bereits von einem schweren Sturm ausgegangen werden, wobei Geschwindigkeiten von bis zu 102 km/h verzeichnet werden (ADAC Skipper, 2023). Auch bei der Analyse eines hypothetischen Blockrandes liegt der Wert oberhalb von 25 m/s, jedoch liegt der Durchschnittswert auf einem niedrigeren Niveau als der des Masterplans, nämlich bei 8,38 m/s. Die Analyse ist lediglich als Bewertung zu verstehen, um in einem nächsten Schritt auf dieses Wissen aufzubauen und gestalterisch reagieren zu

können. Die Werte liegen nahe beieinander, was darauf hindeutet, dass eine Optimierung dieses Parameters bereits in einer frühen Phase des Entwurfs zu einer Verbesserung führen könnte.

Skript: Die Analyse der Windgeschwindigkeiten im Bereich des Masterplans erfordert zunächst die Eingabe der Geometrien aus Rhino in Grasshopper. Für die Erstellung einer Butterfly-Geometrie ist lediglich ein klar identifizierbarer Name erforderlich. Allerdings wird noch ein Wert für das Verfeinern der Mesh-Geometrie angegeben, in diesem Fall wird der Verfeinerungsgrad der Geometrie als Tupel aus zwei ganzen Zahlen (min, max) definiert. Hier soll 1, 1 angenommen werden. Um nun ein Case zu generieren, das benötigt wird, um die CFD-Simulation über OpenFOAM zu starten, wird nun ein Case aus einem digitalen Windtunnel erstellt. Für die Erstellung des Windtunnels ist die Angabe eines eindeutigen Namens erforderlich. Zudem ist die zuvor erstellte Butterfly-Geometrie erforderlich. Um die Orientierung der Hauptwindrichtung vorzunehmen, die im Gebiet des Masterplans vorherrscht, wird der Input eines Windvektors verwendet. Über diesen Vektor kann auch die Windgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde angegeben werden. Der hier verwendete Wert beträgt 14 m/s und wurde aus der EPW-Datei der Inneren Stadt Wien mithilfe der Windrose aus dem LadyBug Toolset ausgelesen. Es handelt sich hierbei um die höchste Windgeschwindigkeit in den Sommermonaten in diesem Bereich. Auch aus dieser Datei lässt sich die Hauptwindrichtung ableiten, die mit WNW angenommen wird. Allerdings ergeben sich bei der Integration dieser Information in den Windtunnel einige Schwierigkeiten, da lediglich die vier Hauptrichtungen Norden, Osten, Süden und Westen korrekt in die Berechnung übernommen werden. Um diesem Problem zu begegnen, kann die Windrichtung bei ihrem Standardwert Norden belassen werden, während die gesamte Geometrie mitsamt des Windtunnels um die Differenz von Nord nach WNW rotiert wird. Die Änderung der Ausrichtung und Lage im globalen Koordinatensystem ist für die CFD-Simulation jedoch ohne Belang. Weitere Einstellungen für den Windtunnel sind die gemessene Windhöhe über dem Boden sowie ein Referenzwert für die Struktur des Untergrunds. Da diese Einstellungsmöglichkeiten alle mit Standardwerten versehen

sind, werden sie der Einfachheit halber für die Berechnung angenommen. Die einzige weitere Einstellung, die vorgenommen wird, sind die Abmessungen des Windtunnels selbst. Hierbei wird der Windtunnel so eingestellt, dass dieser die gesamte Fläche des Betrachtungsgebiets umschließt. Nach Abschluss der Erstellung des Windtunnels kann nun die Zellgröße des ausgegebenen Meshs des Tunnels betrachtet werden. Um eine akzeptable Rechenzeit der Simulation zu gewährleisten, wird hier ein Wert von 10 auf 10 Metern angenommen. Im nächsten Schritt wird mit Hilfe des BlockMesh-Komponenten ein zusammenhängendes Mesh aus Tunnel und eingespeister Geometrie generiert, auf dem die Berechnungen basieren. Allerdings wird ein weiterer Verfeinerungsprozess mit diesem Mesh durchgeführt. Dieser Verfeinerungsprozess kann vereinfacht wie folgt beschrieben werden. Die Ausgabe aller Bereiche sowie der Geometrien erfolgt in einer sehr detaillierten Form, da in diesen Bereichen die Genauigkeit der Simulation am relevantesten ist. Je weiter das Mesh von diesen Geometrien entfernt ist, desto weitmaschiger wird es erstellt. Es wird ein Tupel von 1, 1 angenommen. Das nun entstandene Mesh ist für die Simulation geeignet. Durch die Solution-Komponente können nun Einstellungen zur Simulation getroffen werden. Zusätzlich zur erstellten Geometrie müssen noch weitere Angaben zur Simulation gemacht werden. Zum einen wird ein Turbulenzenmodell benötigt, welches zum allgemeinen Impulstransport gehört und sich mit Modellen zur Messung der viskosen Spannung in einem Flüssigkeitskörper beschäftigt. Hier wurde sich für das Turbulenzmodell des LES (Large Eddy Simulation) entschieden, welches ein besonderes Verfahren zur Turbulenzsimulation darstellt. Dabei werden große Wirbel direkt berechnet, während kleinere Wirbel durch Modelle repräsentiert werden (Greenshields, 2023). Zum anderen wird der Wert eingestellt, der definiert, wie viele Intervalle die Simulation bis zur Beendigung durchläuft. Hier wird als Startwert 100 Durchläufe angegeben, jedoch wird für die Verbesserung des Resultats ein höherer Wert von 500 Wiederholungen angenommen. Im Anschluss werden die Stellen definiert, an denen die Windgeschwindigkeiten gemessen werden sollen. Zu diesem Zweck wird ein Punkteraster auf der Grundfläche des Betrachtungsgebiets erstellt. Nicht berücksichtigt werden jedoch jene Punkte, die innerhalb von Gebäudegeometrien liegen, um Komplikationen bei der Simulation zu vermeiden. Im

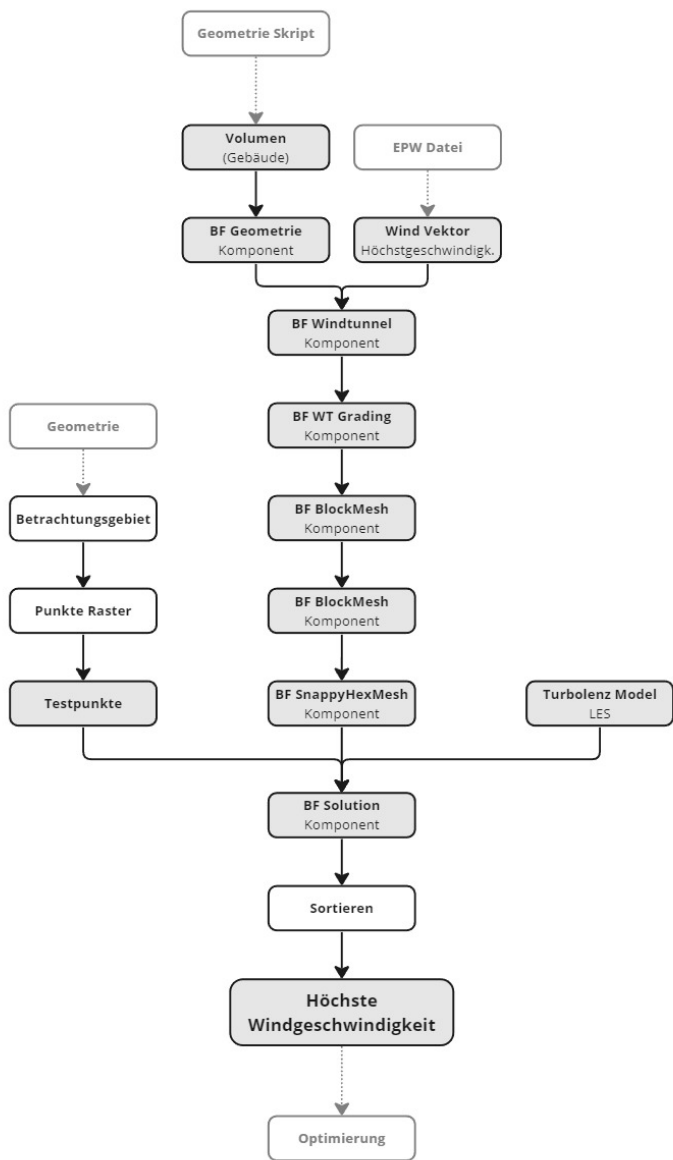


Abbildung 08: Pseudo-Skript Maximale Windgeschwindigkeit

nächsten Schritt wird an den Messpunkten spezifiziert, ob der sphärische Druck oder die Geschwindigkeit gemessen werden soll. Da es sich hierbei um Windgeschwindigkeiten handelt, werden die Punkte mit einem „U“ versehen. Nach Abschluss dieser Vorbereitungen kann die Simulation gestartet werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass ein nicht unerheblicher Teil der Berechnungsdauer auf das Verfeinern der Mesh-Geometrie zurückzuführen ist. Aufgrund der Größe des Betrachtungsgebiets von 1000 Metern auf 500 Metern ist mit einer Berechnungszeit von mehr als einer halben Stunde zu rechnen. Nach der Brechung können die Messwerte ausgelesen werden. Die ausgegebenen Vektoren können nach der Länge sortiert werden, um die simulierte Höchstgeschwindigkeit im Betrachtungsgebiet zu ermitteln. Dieser Wert kann im Weiteren für eine Optimierung genutzt werden. In Abbildung 08: Kann das Skript bildlich nachvollzogen werden.

Auswahl der Indikatoren

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die relevanten Indikatoren für eine nachhaltige und resiliente Stadtplanung bereits im Detail erörtert. Im Rahmen der Auswahl der Indikatoren für das Optimierungsverfahren sind jedoch weitere Aspekte zu berücksichtigen. Zunächst muss sichergestellt werden, dass die Ergebnisse der Optimierung nachträglich evaluiert werden können. Für die Auswahl der Parameter ist ein Optimum erforderlich, das die bestmögliche Lösung für jeden einzelnen Indikator darstellt. Da bei einer späteren Optimierung nicht immer nachvollziehbar ist, ob es sich um ein globales oder lokales Optimum handelt, muss dies bei der Auswahl der Parameter berücksichtigt werden. Ist die Erstellung eines globalen Optimums durch manuelles Einwirken, wie beispielsweise bei der Überprüfung des Versiegelungsgrads, nicht möglich, kann auf ein Optimierungsverfahren mit nur einem Parameter zurückgegriffen werden. Im Folgenden wird der in Teil Algorithmische Optimierung bereits beschriebene Ablauf der Optimierung durch Galapagos dargelegt, welcher die Geometrie auf das Globale Optimum jedes einzelnen Indikators testet. Im Rahmen der Optimierung werden fünf Testläufe zu jedem Indikator durchgeführt. Durch eine Population von 50 mit einem initialen Boost von x_2 , bei einer Generationsmenge von 100 Generationen, lassen sich 5050 Werte ermitteln, die nun nach dem Optimum sortiert werden können. Die ermittelten Werte werden mithilfe des Datenrekorders in Grasshopper gespeichert und internalisiert. Da Galapagos jeweils die Geometrie ausgibt, die nach Abschluss der Optimierung den besten Wert erzielt hat und bei Neustart der Optimierung immer direkt der Zustand bewertet wird, der gerade vorhanden ist, ohne die Genome neu zu verändern, wird bei mehrmaliger Optimierung des gleichen Indikators stets der beste Wert des letzten Durchlaufs in den neuen übernommen. Dies impliziert, dass bei fünf Durchläufen stets bessere Werte ermittelt werden können. Ein Beispiel für die Anwendung des Indikators „Kosten“ ist die Berechnung eines Optimums von 801 Mio. € und eines Pessimums von 2,259 Mrd. €. In den weiteren Durchläufen zeigt sich eine kontinuierliche Verbesserung des Optimums, welches sich von 651 Mio. € über 569 Mio. € und 556 Mio. € bis hin zu 492 Mio. € entwickelt. Somit lässt sich eine weitere Verbesserung des Optimums um 10 % durch fünfmalige Folge

der Optimierung feststellen. Im Folgenden wird dieser Wert als globales Optimum angenommen. Im Anschluss erfolgt eine wiederholte Anwendung des Verfahrens auf alle Indikatoren, um auch deren globales Optimum zu bestimmen. Bei weiterer Bearbeitung wird jedoch ersichtlich, dass nicht alle Arten, einen Indikator zu bestimmen, für eine Optimierung durch einen MOEA geeignet sind. Die einmalige Berechnung der Windgeschwindigkeiten, welche im Durchschnitt 25 Minuten in Anspruch nimmt, ist mit einem nicht überwindbaren Zeitaufwand verbunden, da eine wiederholte Berechnung von 5050 Werten einen nicht zu bewältigenden Zeitaufwand darstellen würde. Die Berechnung des Optimums würde etwa 100 Tage in Anspruch nehmen. Da eine Verkürzung der Berechnungszeit ohne eine Verschlechterung der Verwendbarkeit der generierten Daten nicht möglich ist, wird dieser Indikator in der eigentlichen Optimierung verwendet. Im Folgenden wird dargelegt, wie dieser Indikator trotz der zuvor beschriebenen Schwierigkeiten in den Workflow zu integrieren ist. Auch die Bewertung des Abkühlungspotenzials der UHI (Urban Heat Islands) wird nicht in die Optimierung integriert, da bei der Berechnung der Optima herausgestellt wurde, dass sich die errechneten Werte nur in so geringen Maßen ändern, dass es sehr schwer ist, eine Aussage zu treffen, ob die zu bewertende Geometrie dafür verantwortlich ist. Des Weiteren zeigen sich bei der Berechnung zahlreiche Werte, die auf sechs Nachkommastellen genau wiederholt auftreten. Dies lässt sich nicht mit einem Rundungsfehler des Urban Weather Generators in Einklang bringen. Es kann konstatiert werden, dass signifikante Veränderungen der Baumasse oder signifikante Änderungen der Vegetationsverteilung mit signifikanten Unterschieden in den Temperaturdaten einhergehen. Allerdings ist bei einer rein rotativen oder translativen Verschiebung der Gebäude keinerlei Veränderung dieser zu erkennen. In der Folge wird dargelegt, wie auch dieser Indikator in den Workflow integriert werden kann. Die Optimierung in Octopus erfolgt anhand von drei Indikatoren, nämlich der Sichtbarkeit des Grünraums, der Flächenversiegelung sowie den Kosten. Die Optimierung erfolgt gemäß der in Abbildung: 09 dargestellten Vorgehensweise.

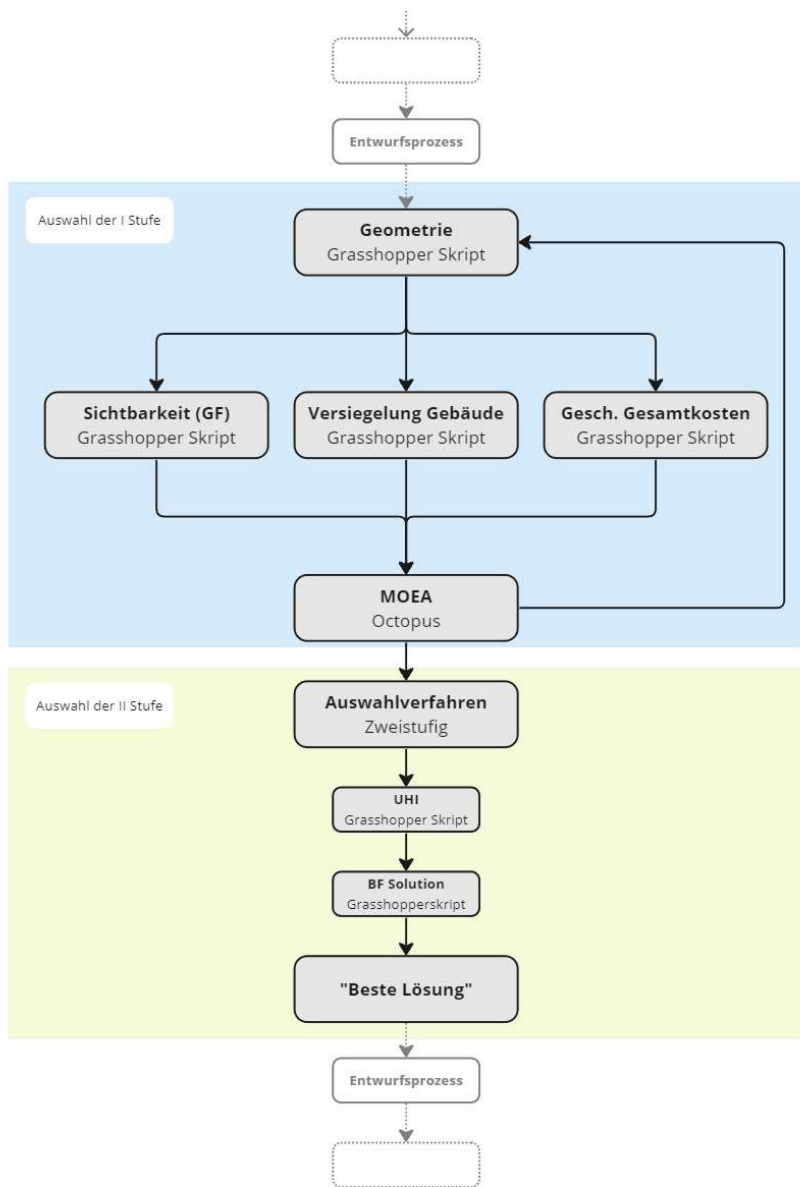


Abbildung 09: Integration des Optimierung Workflows

Auswahl von Lösungen und Umgang mit Tradoffs

Im Anschluss an die Durchführung des Verfahrens ist eine Bewertung und Abschätzung der Ergebnisse durch die Designer erforderlich, um eine weitere Bearbeitung der Ergebnisse durch Octopus zu ermöglichen. Diesbezüglich sei angemerkt, dass sich die Bewertung auf Lösungen bezieht, die nicht auf der Pareto-Front dominieren. In der Konsequenz muss eine manuelle Auswahl einer „besten“ Lösung erfolgen. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass es im Falle dieser Case-Studie nicht von entscheidender Bedeutung ist, eine optimale Lösung zu finden. Stattdessen ist es vonnöten, die Vielzahl an Lösungen, die durch die Optimierung entstehen, auf ein Maß zu reduzieren, das von einem/einer Designer*inn effizient weiterbearbeitet werden kann (Davis, 2023). Dies gewährleistet eine saubere Integration in bestehende Arbeitsabläufe.

In diesem Kontext können verschiedene Ansätze verfolgt werden. Es besteht die Möglichkeit, eine manuelle Analyse der Pareto-Front durchzuführen. Zur Visualisierung der Pareto-Front in Octopus wird ein kartesisches Koordinatensystem genutzt. Im Anschluss können die Extrempunkte der Verteilung grafisch-visuell bestimmt werden. Dazu ist das Markieren dieser Werte von großem Nutzen. Im Rahmen einer Optimierung von drei Werten lässt sich eine Art Fläche identifizieren, auf der auch das Optimum liegt. Diese Fläche wird durch die Auswahl der Extreme aufgespannt. Unter der Annahme einer optimalen Optimierung lassen sich die Werte etwa um den Mittelpunkt der Fläche anordnen. Im Anschluss an die Selektion von drei bis fünf Varianten kann eine nachträgliche Gewichtung der ausgewählten Parameter erfolgen, wodurch eine manuelle Bewertung der auf der Pareto-Front liegenden Lösungen vorgenommen werden kann. Im Folgenden werden drei Punkte aus diesem Bereich ausgewählt, wobei es sich um P1, P2 und P3 handelt. Die Wertung des Punktes P1 erfolgt anhand der Prozentzahl, welche die Entfernung zum errechneten globalen Optimum widerspiegelt. Die Werte für die drei Punkte ergeben sich wie folgt: P1 (Vis.: 42,19 %, Ver.: 57,48 % und K.: 17,94 %), P2 (Vis.: 84,3 %, Ver.: 37,52 % und K.: 57,35 %) und P3 (Vis.: 56,93 %, Ver.: 22,97 % und K.: 57,7 %). Auf Basis dieser Wertung in Kombination mit einer visuellen Bewertung des ausgegebenen Meshes

durch Architekt*innen kann eine fundierte Entscheidung getroffen werden. Diese Lösung befindet sich folglich weiterhin im Optimum, auch wenn die Prozentwerte bekannt sind. Allerdings erfolgt trotz der automatisierten Optimierung eine menschliche Wertung, die auch eine fachliche Kompetenz, also die Präsenz eines Architekten oder Planers, erfordert.

Eine alternative Vorgehensweise wäre, den Punkt zu bestimmen, bei dem für alle Parameter der Wert am nächsten am Optimum liegt. Auf diese Weise könnte ein objektiv „bestes“ Ergebnis erzielt werden, ohne dass eine eigene Wertung vorgenommen wird. Dieser Wert kann auch als derjenige beschrieben werden, der dem Ursprung der Optimierung, also dem Punkt, an dem alle Werte ihr Optimum haben, entspricht. Da es sich bei dem genannten Punkt um einen Extremwert handelt, der bei einer Optimierung von mehreren unterschiedlichen Parametern nur schwer zu erreichen ist, kann die Entfernung der einzelnen Lösungen gemessen werden. Diejenige Lösung, die die geringste Entfernung zum Ursprung aufweist, kann als die optimale Lösung bezeichnet werden. Der folgende Workflow in Grasshopper kann zur Beschreibung herangezogen werden: Im ersten Schritt wird die Pareto-Front in Octopus neu kalkuliert. Des Weiteren werden sowohl die einzelnen Werte der Key-Indikatoren als auch die Geometrien als Mesh gespeichert. In weiteren Schritten werden die zuvor erzeugten Daten in ein eigens dafür erstelltes Koordinatensystem in Rhino eingespeist. Im ersten Schritt werden die gesamten Werte der Indikatoren auf ihren kleinsten und größten Wert durchsucht. In einem nächsten Schritt werden die Werte der Pareto-Front mithilfe der Extremwerte parametrisiert und auf eine Domain von 0 bis 1 umgeschrieben. In der Konsequenz können für jede Lösung Punkte im Koordinatensystem definiert werden, in denen die jeweiligen, parametrisierten Werte für die X-, Y- und Z-Koordinaten angenommen werden. Der resultierende Kubus wird dabei als Spiegelbild der Octopus-Ansicht betrachtet. Im Anschluss kann eine Distanzmessung und Sortierung der Punkte nach ihrer Distanz zum Ursprung erfolgen. Durch Beschneidung der Werte kann nun auch die Anzahl der angezeigten Lösungen variiert werden, um einen besseren Überblick zu gewinnen. Die vorliegende Optimierung ergibt

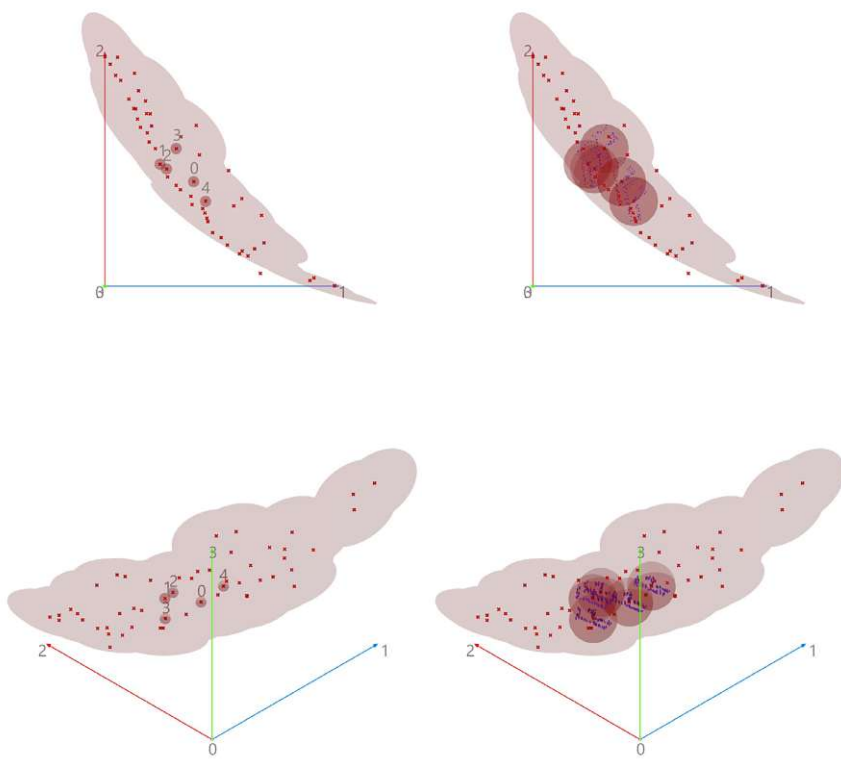


Abbildung 10: Auswahl der fünf besten Lösungen auf der Paretofront

rechnerisch die Lösung PB1 mit den Werten (Vis.: 56,88 %, Ver.: 63,08 % und K.: 49,64 %) als beste Lösung. Der Punkt wird auch als „Utopia“-Punkt bezeichnet. Er repräsentiert die ideale Lösung, bei der alle Fitnessfunktionen maximal optimiert sind. Zudem ist es möglich, die zuvor angesprochene Fläche der Pareto-Front darzustellen (Showkatbakhsh & Makki, 2022). Die „Facet Dome“-Komponente ermöglicht eine Annäherung der Fläche an die Punkte im Koordinatensystem. Dies kann in Abbildung: 10 bildhaft nachvollzogen werden. Sie dient als visuelle Hilfe, um die Verteilung im dreidimensionalen Raum besser zu verstehen. Da die Umgebung von Rhino und Grasshopper jedoch visuell auf drei Dimensionen begrenzt ist, kann dieser Workflow nur mit Optimierungen bis zu drei Key-Indikatoren verwendet werden. Dennoch ist es mathematisch möglich, für weitere Indikatoren weitere Dimensionen hinzuzufügen. In Octopus wird in diesem Fall meist eine Achsenansicht verwendet, die die Indikatoren als parallele Achsen darstellt, die durch die jeweiligen Lösungen verbunden sind. Auch hier kann durch Rechnung die Lösung mit der kleinsten Entfernung zum Ursprung gefunden werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Optimierung durch eine zweite Analysephase zu erweitern. In der zweiten Stufe werden subjektive Metriken eingeführt, die nicht im algorithmischen Lauf berücksichtigt wurden. Die genannten Metriken können von Entscheidungsträgern festgelegt werden und dienen dazu, die verbleibenden Lösungen weiter zu analysieren und zu bewerten. Das primäre Ziel dieser Methode ist die Reduktion der Anzahl an Optionen, wobei jedoch auch eine neue Einsicht über den Zusammenhang der optimierten Lösungen mit einem neuen Key Indikator gewonnen werden kann. Der Entscheidungsträger*in kann bestimmte Metriken priorisieren und durch Gewichtung beeinflussen, um seine Präferenzen widerzuspiegeln. Der gesamte Auswahlprozess zielt darauf ab, dem/der Entscheidungsträger*in eine optimale Lösung aus einer Vielzahl von Alternativen zu präsentieren, wobei sowohl objektive als auch subjektive Kriterien berücksichtigt werden (Showkatbakhsh & Makki, 2022).

Analysemethoden, die für die eigentliche Optimierung nicht angemessen sind, können ebenfalls zum Einsatz kommen. Dies kann der Fall sein, wenn die Methoden nicht effektiv in ein Grasshopper-Skript transferiert werden können oder die Rechenzeit für eine Generative Optimierung mit hunderten Generationen zu lange wäre. In diesem Zusammenhang kann auf die zuvor thematisierte Windanalyse in Butterfly zurückgegriffen werden. In der Konsequenz resultiert daraus ein zweistufiger Prozess, in dessen Verlauf der Designer *innen nach der erfolgten Optimierung erneut aktiv eingreifen und Entscheidungen treffen muss, die zur Auswahl der „besten“ Lösung führen. Diese Herangehensweise ist in Abbildung: 11 konzeptuell dargestellt. Auch Showkatbakhsh und Makki weisen in ihrem Paper „Multi-Objective Optimisation of Urban Form“ auf einen zweistufigen Ansatz hin. Ein Rahmenwerk zur Auswahl der optimalen Lösung wird ebenfalls vorgestellt. Allerdings werden auch in der ersten Stufe weitere Auswahlverfahren beschrieben. In ihrer Beschreibung führen sie weiter aus: Im Rahmen des Clusterings der Pareto-Front werden Clustering-Algorithmen eingesetzt, um ähnliche Lösungen zu gruppieren. Der Zweck besteht in der Beibehaltung der Vielfalt der Lösungen bei gleichzeitiger Reduktion der Anzahl der zu analysierenden Lösungen. Dies erlaubt dem/der Designer*in, sich einen Überblick über die Vielfalt der Lösungen zu verschaffen, ohne jede einzelne davon analysieren zu müssen. Im Rahmen dieses Schritts erfolgt die Selektion der fittesten Lösungen für jede Fitnessfunktion. Auf diese Weise werden die besten Leistungen in jedem Aspekt des Designs berücksichtigt, wodurch sichergestellt wird, dass wichtige Kriterien nicht vernachlässigt werden. Im nächsten Schritt erfolgt die Auswahl von Lösungen mit gleichmäßig guter Leistung für alle Fitnessfunktionen. Obgleich diese Lösungen nicht auf der Pareto-Front liegen, werden sie ausgewählt, da sie eine gleichmäßig gute Leistung für alle Fitnessfunktionen aufweisen. Dies ermöglicht die Identifikation von Lösungen, die einen ausgewogenen Kompromiss zwischen verschiedenen Aspekten des Designs bieten. Die Anwendung der verschiedenen Verfahren in Stufe 1 führt zu einer Reduktion der Menge an Lösungen auf eine überschaubare Anzahl, wobei verschiedene Aspekte des Designs berücksichtigt werden. Dies ermöglicht dem/der Designer*in eine informierte Entscheidung zu treffen und diejenigen Lösungen auszuwählen, die den Anforderungen

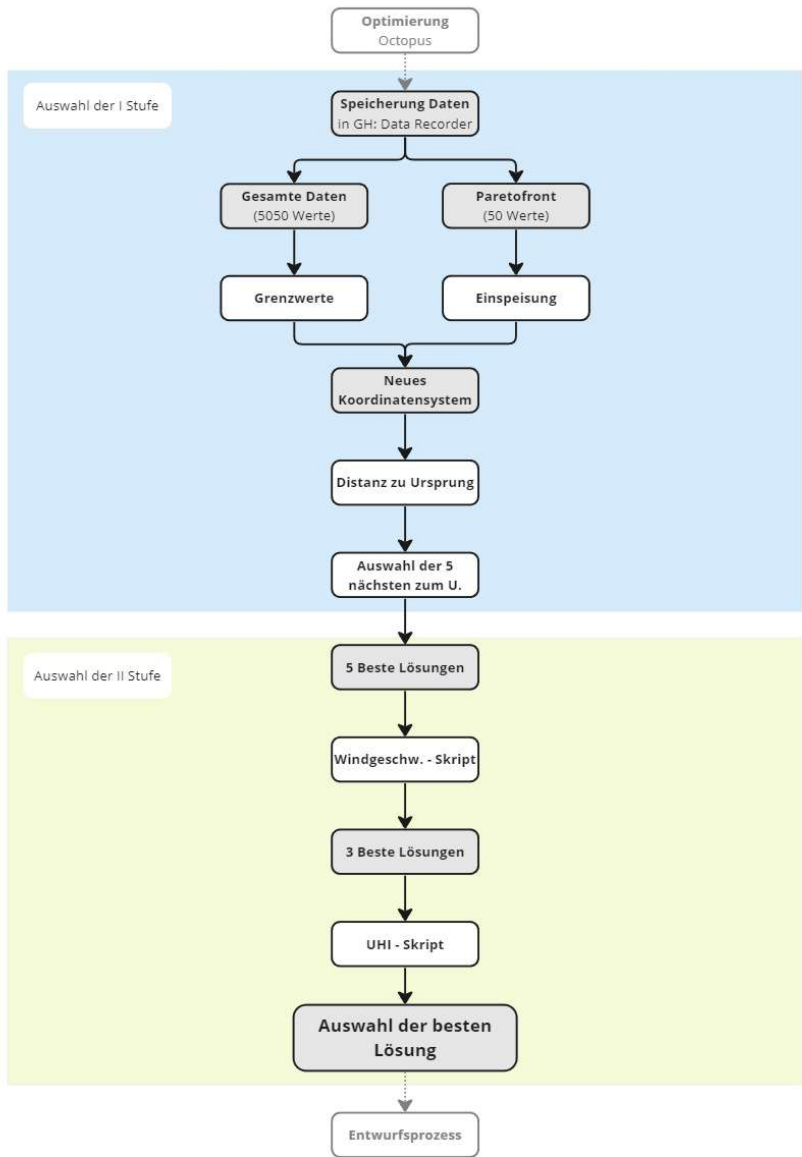


Abbildung 11: Auswahl der besten Lösung (Zweistufig)

und Präferenzen am besten entsprechen. (Showkatbakhsh & Makki, 2022)

Selbstverständlich ist anzumerken, dass nach der Wahl einer Lösung weitere Schritte im architektonischen Entwurfsprozess folgen müssen, um aus der entstandenen Volumenstudie einen städtebaulichen Masterplan entstehen zu lassen.

Conclusio

Um den Optimierungsworkflow abschließend zu bewerten, soll seine Aufgabe noch einmal genau definiert werden. Denn anders als im Artikel von Daniel Davis *Generative Design is Doomed to Fail* beschrieben, soll hier nicht die traditionelle Arbeitsweise von Architekten*innen durch einen Prompt generierten Entwurf mit der Ausgabe einer Vielzahl von Lösungen ersetzt werden. Dafür ist der Umfang eines architektonischen Entwurfs zu komplex und zu individuell. Oft wird auch erst nach einer gewissen Bearbeitungszeit eines Entwurfs ein weiteres wichtiges Gestaltungskriterium entdeckt, das dann durch wiederholtes Zurückspringen in den Arbeitsablauf eingearbeitet werden muss. Auf diese Weise nimmt die Komplexität des bearbeiteten Entwurfs immer weiter zu. Möglicherweise ist auch am Ende einer Entwurfsphase noch nicht klar, welche Parameter für einen guten Lösungsvorschlag entscheidend sind. Denn manchmal treten Probleme oder Erkenntnisse erst später im Planungsprozess oder sogar erst nach Fertigstellung des Projektes auf. Um hypothetisch eine perfekte Optimierung durchführen zu können, müsste dieses Wissen den Planer*innen bereits vor der Erstellung des Geometrieskripts und der Auswahl der Schlüsselindikatoren zur Verfügung stehen. Selbst dann ist es sehr wahrscheinlich, dass viel mehr Zeit benötigt wird, um die Optimierung so zu definieren, dass sie für dieses spezielle Projekt an genau dieser Stelle entscheidend ist. Auch wäre es sicherlich nicht möglich, ein solches Skript so weit zu optimieren, dass eine akzeptable Rechenzeit für die Erstellung der Geometrie und die Analyse erreicht wird. Ganz zu schweigen davon, diese Analyse hunderte oder tausende Male durchzuführen, um eine sinnvolle Optimierung zu erhalten. Sicherlich kann man hinzufügen, dass die jahrelange Erfahrung eines Architekten ein Gespür für die Auswahl der wichtigsten Indikatoren für gute Stadtplanung oder Architektur entwickeln kann, um einen immer besser funktionierenden Arbeitsablauf zu entwickeln. Interessant ist hier auch, inwieweit die gezielte Verarbeitung von Big Data in diesem Prozess helfen und integriert werden kann. Da hier nicht nur auf das eigene Wissen aus langjähriger Projekterfahrung zurückgegriffen werden kann, sondern ein viel größerer Pool an Erfahrungen gemeinsam in ein Projekt einfließen kann.

An dieser Stelle soll auch auf das Potential hingewiesen werden, das in der einfachen Handhabung der parametrischen Oberfläche von Grasshopper liegt. Es mag sein, dass die verschiedenen Arbeitsweisen eines Node Based Design Workflows am Anfang fremd erscheinen und sicherlich einiges an Arbeit und Zeit geopfert werden muss, um gut funktionierende Skripte und Abläufe zu erstellen. Dieser Aufwand wird jedoch meiner Meinung nach durch die Möglichkeit, die erstellten Skripte in weiteren Projekten wiederverwenden zu können, aufgewogen. Einzelne Teile müssen vielleicht ergänzt oder verändert werden, um den speziellen Anforderungen des Projekts gerecht zu werden, aber durch ständiges Lernen, Anpassen und Erweitern kann ein solider Workflow im Umfeld des Architekturentwurfs entstehen. Der Open-Source-Ansatz ist auch für viele Plugins von Drittanbietern für Grasshopper von großem Vorteil, da nicht alle Werkzeuge, die für eine umfassende Analyse von städtebaulichen oder architektonischen Situationen benötigt werden, standardmäßig mit Grasshopper ausgeliefert werden. Hier ist jedoch zu beachten, dass die Glaubwürdigkeit dieser Anwendungen genau geprüft werden muss. Es besteht auch die Möglichkeit, über Schnittstellen wie Python für Grasshopper eigene Tools zu schreiben, die vielleicht noch nicht auf dem Markt sind. Dies hat natürlich den Vorteil, dass auf die spezifischen Anforderungen des Designs eingegangen werden kann. Vor allem in Kombination mit dem mächtigen Optimierungsalgorithmus und dessen hervorragender Integration in Octopus kann ein Workflow für komplexe Aufgabenstellungen im Städtebau der Zukunft entstehen. Um noch einmal Davis und das Thema generatives Design aufzugreifen, sehe ich das Potential weniger in der Zuweisung eines Programms, das einen fertigen Entwurf ausgibt (aus den bereits genannten Gründen), als vielmehr in der Möglichkeit, bestehende Workflows zu stärken. Wie in anderen kreativen Disziplinen, wie z.B. dem Grafikdesign, ist hier sicherlich das inhaltsbasierte Füllen in Photoshop zu nennen. Hier wird versucht, die Arbeitsweise effizienter zu gestalten und von Gestalter*innen ein schärferes Werkzeug an die Hand zu geben.

Auch das Argument, Davis, dass durch Generatives Design die Qualität der entstehenden Architektur sinkt, halte ich nur teilweise für gerechtfertigt. Letztendlich kommt es

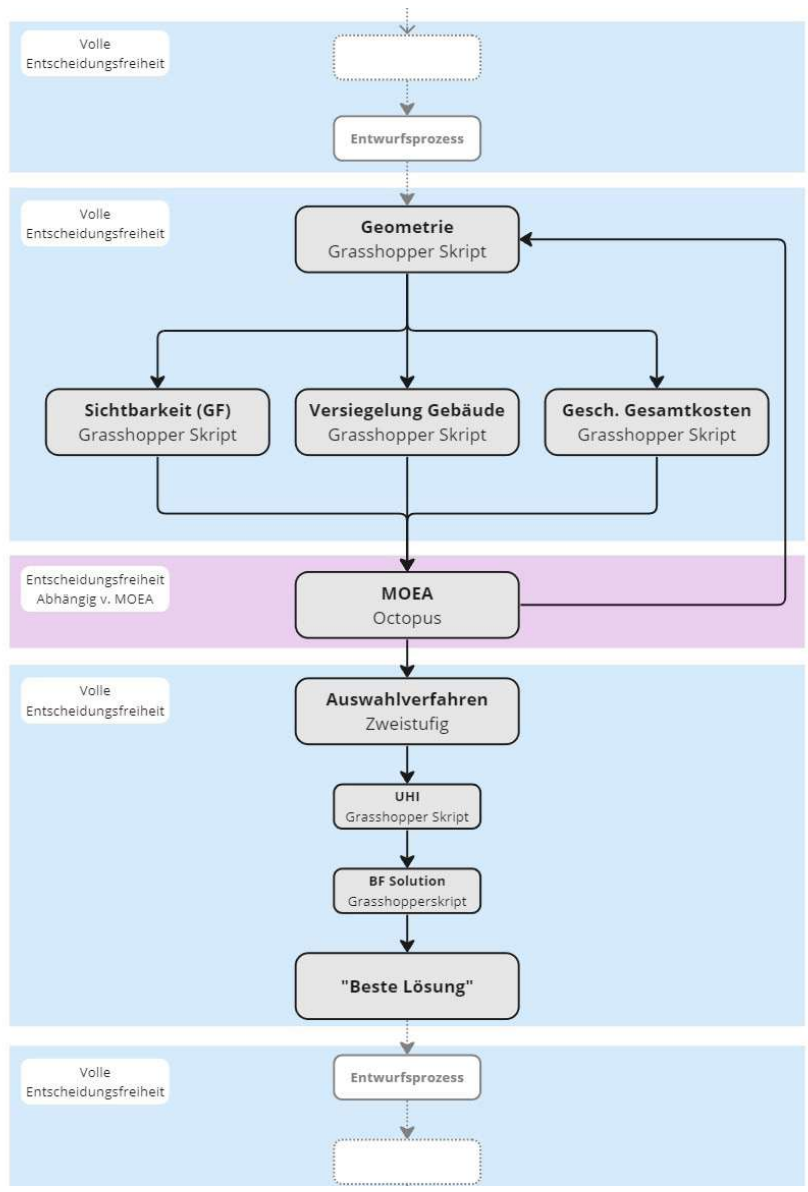


Abbildung 12: Entscheidung Freiheit im Optimierung Workflow

auf den/die Anwender*in, in diesem Fall die Architekt*innen und des zugrundeliegenden Tools an. Da in diesem Workflow in allen Schritten, bis auf den Optimierungsprozess durch den Algorithmus selbst, die planende Person maßgeblich involviert ist und alle Entscheidungen bis hin zur Auswahl der Lösung selbst in der Hand hat. Man könnte also salopp sagen, dass die Qualität des Ergebnisses nicht unbedingt von der Methode abhängt, sondern von der Person, die die Methode anwendet. Diese Entscheidungsfreiheit kann in Abbildung: 12 konzeptuell nachvollzogen werden. Ebenso ist anzumerken, dass das Ergebnis eines Optimierungsworkflows zwangsläufig auch von der Qualität der Daten abhängt, die in die Skripte eingespeist werden, und weniger von der Qualität der Skripte selbst. Beide Aspekte sind gleichermaßen wichtig. Die Bedeutung der Daten ist offensichtlich, da mit diesen Werten (Maße, Preise, Temperaturen) genaue Ergebnisse erzielt werden sollen. Diese Genauigkeit wird auch für die Qualität der Skripte relevant, aber hier kommt noch ein weiterer Aspekt hinzu, denn insbesondere bei Optimierungsverfahren mit hunderten oder gar tausenden Durchläufen pro Generation ist die Rechenzeit für einzelne Indikatoren oder Geometrieskripte zu berücksichtigen. Hier kann sich entscheiden, ob ein Parameter überhaupt für den entwickelten Workflow verwendet werden kann oder ob die gleiche Aussage durch ein anderes Skript mit optimierter Laufzeit getroffen werden kann.

Aus diesem Grund halte ich es für sinnvoll, den in dieser Arbeit beschriebenen Workflow als eine Art Brainstorming zu verstehen. Diese kann in den frühen Phasen der Konzeption angewandt werden, um ein besseres Verständnis der ausgewählten Key Indicators und ihrer Zusammenhänge in Abhängigkeit vom Untersuchungsgebiet zu erlangen. Die nach den beschriebenen Kriterien ausgewählten Lösungen sind daher als Volumenstudien zu verstehen, auf denen dann ein vertieftes Design aufgebaut werden kann. Sicherlich ist dieser Workflow nicht perfekt, ebenso wenig wie die ausgegebenen Lösungen, es gibt viele Optimierungen der Skripte, der angenommenen Daten und die Einfachheit des Geometrieskripts ist in Frage zu stellen. Dennoch hoffe ich, durch die Aufzählung der oben genannten Punkte das Potential, das in dem Ansatz dieses Workflows steckt, ausreichend erläutert zu haben.

Weitere Schritte

In den vergangenen Jahren hat die Verwendung von Methoden des maschinellen Lernens im Rahmen der evolutionären Gestaltung an Bedeutung gewonnen. Dies ist zum Teil auf die Fortschritte in der Hardware-Entwicklung in diesem Bereich sowie auf die Verfügbarkeit einer größeren Anzahl von Algorithmen zurückzuführen. Ein vielversprechender Ansatz ist die Verwendung von neuronalen Netzwerken während des evolutionären Prozesses. Diese könnten während der Laufzeit des Algorithmus trainiert werden, um neue Lösungen zu generieren. Anstatt die gesamte Lösung erneut zu berechnen, könnte das trainierte neuronale Netzwerk verwendet werden, um eine Vorhersage über die Leistung potenzieller Lösungen zu treffen. Dies würde eine Vorauswahl ermöglichen, wodurch Zeit gespart werden könnte. Der hier beschriebene Ansatz wird als Surrogat-Modell bezeichnet. Einige fortschrittliche Programme, wie beispielsweise Opossum, nutzen bereits verschiedene Arten solcher Modelle (Veringer, 2021). Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Visualisierung der Lösungen.

Des Weiteren wäre ein benutzerfreundlicheres Interface in Grasshopper wünschenswert, welches es den Benutzer*innen erleichtert, eine Entscheidung zwischen einem oder mehreren Lösungsansätzen zu treffen. Die in diesem Workflow beschriebenen Lösungsansätze sind oft nicht sehr intuitiv und erfordern ein umfassendes Wissen über die Software. Als weitere Optimierung wäre die Angabe der Relation zum errechneten Bestwert denkbar, um einen schnelleren Vergleich zwischen konkurrierenden Lösungen zu ermöglichen. Es existieren bereits Programme wie „Design Explorer“, welche es den Benutzer*innen ermöglichen, verschiedene Lösungen auf ansprechende Weise zu betrachten und zu vergleichen. Dies ermöglicht es den Designer*innen, aus einer Vielzahl von Lösungen auszuwählen und diejenigen auszuwählen, die ihren Anforderungen am besten entsprechen. Des Weiteren sind Web-Schnittstellen von entscheidender Bedeutung, um den Zugriff auf die verschiedenen Lösungen zu erleichtern und die Analyse zu vereinfachen. Die genannten Schnittstellen bieten in der Regel erweiterte Funktionen zur Filterung und Organisa-

tion von Lösungen. Es ist denkbar, dass eine solche Oberfläche in der neuesten Version von Grasshopper integriert wird.

Eine weitere vielversprechende Entwicklung zur verbesserten Integration von Optimierungsworkflows in den Arbeitsalltag von Architekt*innen könnte die Veröffentlichung von Grasshopper 2.0 darstellen. Derzeit wird bei der Codierung von Octopus eine Behelfslösung verwendet, die die eigentliche Logik von Grasshopper 1.0 umgeht (I. F. (2021)). Die neue Version könnte folglich zu einer leichteren und stabileren Integration führen. Die neue Version von Grasshopper, Version 2.0, verspricht eine Vielzahl neuer Funktionen, ist jedoch zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit noch nicht veröffentlicht. Derzeit ist lediglich eine limitierte Alpha-Version für einen öffentlichen Test verfügbar. Die relevanteste Erneuerung soll Grasshopper 2.0 die Nutzung von Multithreading ermöglichen, welches die Lösung eines Problems durch die Verwendung mehrerer Prozessorkerne bezeichnet. Dies würde zu einer Beschleunigung der Berechnungszeiten und einer höheren Effizienz führen. Da die neue Version jedoch vollständig neu programmiert wurde, ist eine Übertragung der alten Skripte und Dateien in die neue Version nicht möglich (Cvetković, 2023). Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Plugins für Grasshopper 1.0 auch für Version 2.0 verfügbar sein werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Programmiererinnen und Programmierer ihre Software optimieren oder umschreiben müssen. Für Plugins mit einer großen Nutzeranzahl wird dieser Prozess relativ schnell vonstattengehen, während für weniger bekannte Plugins entweder eine sehr späte Überarbeitung oder gar keine Überarbeitung zu erwarten ist. Dies hat zwangsläufig auch eine Überarbeitung der eigenen Workflows zur Folge. In diesem Kontext muss eine Einzelfallbetrachtung vorgenommen werden, um die Vorteilhaftigkeit eines Wechsels beurteilen zu können.

Epilog

Auch für mich als angehenden Architekten ist der Blick in die Zukunft von großem Interesse. Die Konfrontation mit großen, komplexen Problemen, wie die Auswirkung des Klimawandels auf das Leben auf der Erde oder die Auseinandersetzung mit einem nachhaltigen und resilienten urbanen Lebensstil, wurde in meiner universitären Ausbildung nun umfangreich erörtert. Es bleibt abzuwarten, ob sich die Einstellung zu diesen Themen durch den Eintritt in das Berufsleben verändert. Jedoch bin ich überzeugt, dass ich mit einem Mindset ausgebildet wurde, das mir rät, alle mir zur Verfügung stehenden Werkzeuge zu nutzen, um diese komplexen Probleme anzugehen. Sollte ich jedoch der Meinung sein, dass mir die erforderlichen Werkzeuge nicht zur Verfügung stehen, so besitze ich die Möglichkeit und die Weitsicht, diese selbst zu entwickeln. Es bleibt abzuwarten, welche Entwicklungen die kommenden fünf bis zehn Jahre mit sich bringen werden und welche Arbeitsweisen ich im Laufe meines Schaffens als Architekt entwickeln werde. Dieser soll allen am Anfang stehen.

Gezeichnet

Simon Fuchs

Wien, 16.05.2024

Anhang

Quellen

Adeoti, A., Olayide, O., & Coster, A. (2010, December). Flooding and Welfare of Fishers' Households in Lagos State, Nigeria. *Journal of Human Ecology*, 32(3), 161–167. [https:// doi.org/10.1080/09709274.2010.11906335](https://doi.org/10.1080/09709274.2010.11906335)

Alcoforado, M. J. & Andrade, H.. (2008). Global Warming and the Urban Heat Island. 10.1007/978-0-387-73412-5_14.

https://www.researchgate.net/publication/226392936_Global_Warming_and_the_Urban_Heat_Island

Bastin, J. F., Clark, E., Elliott, T., Hart, S., van den Hoogen, J., Hordijk, I., Ma, H., Majumder, S., Manoli, G., Maschler, J., Mo, L., Routh, D., Yu, K., Zohner, C. M., & Crowther, T. W. (2019, October 16). Correction: Understanding climate change from a global analysis of city analogues. *PLOS ONE*, 14(10), e0224120.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224120>

Borchardt, F. (2024, May 2). Implementierung von Nachhaltigkeit in den einzelnen Leistungsphasen der HOAI. Springer-Verlag.

http://books.google.ie/books?id=YroFEQAAQBAJ&pg=PR4&dq=978-3-658-44541-6&hl=&cd=1&source=gbs_api

Böttner, R., Fischer, R., Kuhr, D. (2012): Abgrenzung und Intensität der urbanen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete. Zustand und Perspektive für Bielefeld hergeleitet aus Infrarot-Satellitenaufnahmen und numerischen Extrapolationen bis 2100. Hrsg.:

Frohn J., Gebhardt K., Decker R. Diskussionspapier Nr. 55.

https://www.uni-bielefeld.de/einrichtungen/bi2000plus/_documents/DP_55_final.pdf

Bradbury, R. (2012, January 10). Fahrenheit 451. Simon and Schuster.

http://books.google.ie/books?id=y3CyRurE7P4C&printsec=frontcover&dq=9783804418370&hl=&cd=1&source=gbs_api

Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard business review*, 86(6), 84.
<https://readings.design/PDF/Tim%20Brown,%20Design%20Thinking.pdf>

Chen, F., Kusaka, H., Bornstein, R., Ching, J., Grimmond, C.S.B., Grossman-Clarke, S., Loidan, T., Manning, K.W., Martilli, A., Miao, S., Sailor, D., Salamanca, F.P., Taha, H., Tewari, M., Wang, X., Wyszogrodzki, A.A. and Zhang, C. (2011), The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems. *Int. J. Climatol.*, 31: 273-288.
<https://doi.org/10.1002/joc.2158>

Chokhachian, A., Hensel, M. U., & Perini, K. (2022, May 9). *Informed Urban Environments*. Springer Nature.
http://books.google.ie/books?id=ntluEAAAQBAJ&pg=PR4&dq=978-3-031-03802-0&hl=&cd=1&source=gbs_api

Chronis, A., Dubor, A., Cabay, E., & Roudsari, M. S. (2017). Integration of CFD in computational design. *Proceedings of eCAADe 2017*, 601-610.
<https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2017.1.601>

Cohen, S. (2017, November 21). *The Sustainable City*. Columbia University Press.
http://books.google.ie/books?id=v2g6DwAAQBAJ&pg=PA1980&dq=2017012419&hl=&cd=1&source=gbs_api

Development, W. C. O. E. A. (1987, January 1). *Our Common Future*. Oxford ; New York : Oxford University Press.
http://books.google.ie/books?id=WQkPAQAA-MAAJ&dq=019282080X&hl=&cd=1&source=gbs_api

Elias, P., & Omojola, A. (2015, April). Case study: The challenges of climate change for Lagos, Nigeria. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 13, 74–78. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.02.008>

Elsadek, M., Liu, B., & Xie, J. (2020, November). Window view and relaxation: Viewing green space from a high-rise estate improves urban dwellers' wellbeing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126846.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126846>

EPA. (2008). „Urban Heat Island Basics.“ In: *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Draft.
<https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

Gerdes, I., Klawonn, F., & Kruse, R. (2013, April 17). *Evolutionäre Algorithmen*. Springer-Verlag.
http://books.google.ie/books?id=TBd6rWMLCqcC&printsec=frontcover&dq=Evolution%C3%A4re+Algorithmen:&hl=&cd=1&source=gbs_api

Giebisch, R. (2021). *Analyse und Vergleich ausgewählter evolutionärer Algorithmen*. Universität Augsburg.

Guin, U. K. L. (2012, December 6). *The Left Hand Of Darkness*. Hachette UK.
http://books.google.ie/books?id=2bNl0ZF25LgC&printsec=frontcover&dq=The+left+hand+of+darkness&hl=&cd=1&source=gbs_api

Huxley, A. (2011, July 1). *Brave New World*. Rosetta Books.
http://books.google.ie/books?id=TIJ5EAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Brave+New+World&hl=&cd=1&source=gbs_api

IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

Klanten, R., G., Stuhler, E., & S. (2021, January 1). *The Ideal City*. Gestalten.
http://books.google.ie/books?id=VFFNzQEACAAJ&dq=The+Ideal+City&hl=&cd=1&source=gbs_api

Kroh, J. (2012). 43. Thomas Morus, Utopia. In C. Leggewie, D. Zifonun, A. Lang, M. Siepmann & J. Hoppen (Ed.), Schlüsselwerke der Kulturwissenschaften (pp. 142-144). Bielefeld: transcript Verlag.

<https://doi.org/10.1515/9783839413272-044>

Kuttler W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. Environmental Sciences Europe, Vol. 23, Issue 21

https://duepublico2.uni-due.de/servlets/MCRFileNodeServlet/duepublico_derivate_00046185/Kuttler_Klimawandel_im_urbanen_Teil2.pdf

Lebensministerium (2012): Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel – Teil 2 – Aktionsplan, Handlungsempfehlungen für die Umsetzung

https://www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:084d09af-dcb9-43d7-adf2-10aac-f7b0e56/93_14_beilage_1_nb.pdf

Martí, R., Panos, P., & Resende, M. (2017, January 16). Handbook of Heuristics. Springer.

http://books.google.ie/books?id=21UmrgeEACAAJ&dq=Handbook+of+Heuristics&hl=&cd=1&source=gbs_api

MA 22 - Wiener Umweltschutzabteilung (2015): Urban Heat Islands Strategieplan Wien
<https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/uhi-strategieplan-druck.pdf>

MA 23 – Wirtschaft, Arbeit und Statistik (2014): WIEN WÄCHST... Bevölkerungsentwicklung in Wien und den 23 Gemeinde- und 250 Zählbezirken. Statistik Journal Wien 1/2014. Online verfügbar: www.wien.gv.at/statistik/pdf/wien-waechst.pdf.

Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016, March). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49.

<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>

Nakano, A., Bueno, B., Norford, L., & Reinhart, C. F. (2015). Urban Weather Generator – A Novel Workflow for Integrating Urban Heat Island Effect within Urban Design Process. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.

https://www.researchgate.net/publication/316819351_Urban_Weather_Generator_-_a_Novel_Workflow_for_Integrating_Urban_Heat_Island_Effect_within_Urban_Design_Process

Oertel, H. J., & Laurien, E. (2013, March 8). Numerische Strömungsmechanik. Springer-Verlag.

http://books.google.ie/books?id=UkmpBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Numerische+Str%C3%B6mungsmechanik:+Grundgleichungen+und+Modelle+%E2%80%93+L%C3%B6sungsmethoden+%E2%80%93+Qualit%C3%A4t+und+Genauigkeit&hl=&cd=2&source=gbs_api

ÖSK15. (2016). Klimaszenarien für das Bundesland Wien bis 2100. Stadt Wien.

https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/oeks15.html

Orwell, G. (2013, September 3). 1984. HarperCollins.

http://books.google.ie/books?id=kotPYEqx7kMC&printsec=frontcover&dq=1984&hl=&cd=3&source=gbs_api

Paris, M., Dubois, F., Bosc, S., & Devillers, P. (2023). Integrating Wind Flow Analysis in Early Urban Design: Guidelines for Practitioners. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, 7(2), 194–211.

<https://doi.org/10.25034/ijcua.2023.v7n2-12>

Pickett, S., Cadenasso, M., & Grove, J. (2004, October). Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning*, 69(4), 369–384.

<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.035>

Pilechiha, P., Mahdavinejad, M., Pour Rahimian, F., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S. (2020, March). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*, 261, 114356. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>

Pitha, U., Zluwa, I., Scharf, B., Lapin, K., Besener, I.M., Virgolini, J., Kapus, S., Preiss, J., Enzi, V., Jesner, L., Oberbichler, C., Fricke, J., Fritthum, R. & Dyk, G. (2021): Leitfaden Dachbegrünung. Stadt Wien - MA22 Umweltschutz (Hrsg.). Wien. <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/gruendaecher-leitfaden.pdf>

Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1972, January 1). Dilemmas in a General Theory of Planning. http://books.google.ie/books?id=R7zxAAAAMAAJ&q=Dilemmas+in+a+general+theory+of+planning.+Policy+Sciences&dq=Dilemmas+in+a+general+theory+of+planning.+Policy+Sciences&hl=&cd=1&source=gsbs_api

Roggema, Rob. (2012). Developing a Planning Theory for Wicked Problems: Swarm Planning. 10.1007/978-94-007-7152-9_3. https://www.researchgate.net/publication/237082843_Developing_a_Planning_Theory_for_Wicked_Problems_Swarm_Planning

Showkatbakhsh, M., & Makki, M. (2022, September 17). Multi-Objective Optimisation of Urban Form: A Framework for Selecting the Optimal Solution. *Buildings*, 12(9), 1473. <https://doi.org/10.3390/buildings12091473>

Sun, J., & Yang, K. (2016, December 13). The Wicked Problem of Climate Change: A New Approach Based on Social Mess and Fragmentation. *Sustainability*, 8(12), 1312. <https://doi.org/10.3390/su8121312>

Vierlinger, Robert. (2013). Multi Objective Design Interface. 10.13140/RG.2.1.3401.0324. https://www.researchgate.net/publication/283073414_Multi_Objective_Design_Interface

Wanka, A., Arnberger, A., Alex, B., Eder, R., Hutter, H. P., & Wallner, P. (2014, August). The challenges posed by climate change to successful ageing. *Zeitschrift Für Gerontologie Und Geriatrie*, 47(6), 468–474.
<https://doi.org/10.1007/s00391-014-0674-1>

Weicker, K. (2015, June 15). *Evolutionäre Algorithmen*. Springer-Verlag.
http://books.google.ie/books?id=_bjpCQAAQBAJ&pg=PA259&dq=9783658099589&hl=&cd=1&source=gbs_api

WMO Global Annual to Decadal Climate Update. (2023). WMO. Retrieved May 16, 2024,
<https://library.wmo.int/records/item/66224-wmo-global-annual-to-decadal-climate-update>

Zhu, L., Wang, B., & Sun, Y. (2020, June). Multi-objective optimization for energy consumption, daylighting and thermal comfort performance of rural tourism buildings in north China. *Building and Environment*, 176, 106841.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106841>

Internetquellen

ADAC Skipper (2023): Windstärke in Beaufort › ADAC Skipper-Portal. (12.05.2024).
<https://skipper.adac.de/windstaerke-in-beaufort/>

ATP Architekten Ingenieure (2023): Masterplanung. (14.05.2024).
<https://www.atp.ag/integrale-planung/leistungen/masterplanung>

Computational Fluid Dynamics, (2024): Was ist eine CFD-Simulation?. Bechtle PLM Deutschland GmbH (18.04.2024).
<https://www.bechtle-plm.com/glossar/cfd-simulation-computational-fluid-dynamics/>

Cvetković, D. (2023). Grasshopper 2 Features. How to Rhino | Tutorials for Architects. (14.05.2024).
<https://howtorhino.com/rhino-grasshopper-tutorials/grasshopper-2-features/>

Davis, D. (2023). Generative Design is Doomed to Fail. Daniel Davis. (06.05.2024).
<https://www.danieldavis.com/generative-design-doomed-to-fail/>

Docs ladybug tools (2024): Visibility Percent | Ladybug Primer. (03.05.2024).
https://docs.ladybug.tools/ladybug-primer/components/3_analyzegeometry/visibility_percent

Eurostat (2023): Sustainable development in the European Union – Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context – 2023 edition. (20.05.2024).
<https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-flagship-publications/w/ks-04-23-184>

Grasshopper3d (2010): References about Galapagos? (19.04.2024).
<https://www.grasshopper3d.com/forum/topics/references-about-galapagos?overrideMobileRedirect=1>

Grasshopper3d (2016): How to minimize or maximize our objectives? (20.04.2024).
<https://www.grasshopper3d.com/group/octopus/forum/topics/how-to-minimize-or-maximize-our-objectives>

Greenshields, C. (2023): OpenFOAM v11 User Guide. CFD Direct. (18.04.2024).
<https://doc.cfd.direct/openfoam/user-guide-v11/turbulence>

Helmholtz (2022): 1,5 Grad-Ziel könnte schon in den nächsten Jahren überschritten werden. Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. (13.05.2024).
<https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/15-grad-ziel-koennte-schon-in-den-naechsten-jahren-ueberschritten-werden/#:~:text=Im%20Pariser%20Klimaabkommen%20hat%20sich,bis%202026%20%C3%BCberschritten%20werden%20k%C3%B6nnte>

I. F. (2021): Genetic Optimization: Octopus plugin by Robert Verlinger. YouTube. (14.05.2024).
<https://www.youtube.com/watch?v=v7VeQF4cZ90>

Stadt Wien – Klimaschutz (2023): Anpassung an den Klimawandel in Wien. Umwelt. (15.04.2024).
<https://www.wien.gv.at/umwelt/klimawandel-anpassung#:~:text=Folgen%20des%20Klimawandels%20f%C3%BCr%20Wien&text=Hitzewellen%2C%20Starkregenereignisse%20und%20Trockenperioden%20nahmen,Temperaturen%20%C3%BCber%2030%20Grad%20Celsius.>

Stadt Wien – Stadtplanung (2014): Nordbahnhof - Freie Mitte - Vielseitiger Rand. (14.03.2024). Stadtplanung.
<https://www.wien.gv.at/stadtplanung/nordbahnhof-freie-mitte-vielseitiger-rand>

Standards, A. (2022): ÖNORM B 1801-1. Austrian Standards. (05.05.2024).
https://www.austrian-standards.at/de/produkte-loesungen/kostenlose-services/supplements-zu-standards/oenorm-b-1801-1?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw3NyxBhBmEiwAyofDYTHQaHRAhkGisFHKDAGZ18YRm-9TzMHkBU5owOJlAamx7s7GWO-HYghoCG3oQAvD_BwE

Umweltbundesamt (2018): Täglich werden 12,9 Hektar Boden neu verbaut. (07.05.2024).
https://www.umweltbundesamt.at/news_190508a/

Umweltbundesamt (2021): Flächeninanspruchnahme bis 2021. (19.04.2024). <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/flaecheninanspruchnahme-bis-2021>

Umweltbundesamt (2022): Methodik ab 2022. (20.04.2024).
<https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/flaecheninanspruchnahme/datengrundlage>

UN (2023): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs. (15.05.2024).
<https://sdgs.un.org/2030agenda>

Was ist eine CFD-Simulation? (2024): (Computational Fluid Dynamics). Bechtle PLM Deutschland GmbH (18.04.2024).
<https://www.bechtle-plm.com/glossar/cfd-simulation-computational-fluid-dynamics/>

Wien Geschichte Wiki (2023): Nordbahnhof. (10.05.2024).
<https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Nordbahnhof>

Wiener Stadtklimaanalyse (2023): ArcGIS StoryMaps. (2024, February).
<https://storymaps.arcgis.com/stories/134065bbccdf4e5c8d2aa6f9cade8297>

Windpotenzialkataster (2016): (05.05.2024).
<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/themenstadtplan/windkraft/>

Abbildungen

Abbildung 01: Konzept des Design Thinking nach Brown (2008)	27
Abbildung 02: Workflow Konzept mit MOEA	37
Abbildung 03: Pseudo-Skript Geometrie	47
Abbildung 04: Pseudo-Skript Versiegelungsgrad Bebauung	51
Abbildung 05: Pseudo-Skript Geschätzte Baukosten	55
Abbildung 06: Pseudo-Skript Durchschnittliche Sichtbarkeit des Grünraums	59
Abbildung 07: Pseudo-Skript Abkühlungspotenzial (UHI)	71
Abbildung 08: Pseudo-Skript Maximale Windgeschwindigkeit	77
Abbildung 09: Integration des Optimierung Workflows	81
Abbildung 10: Entscheidungs Freiheit im Optimierung Workflow	87
Abbildung 11: Auswahl der besten Lösung (Zweistufig)	84
Abbildung 12: Auswahl der fünf besten Lösungen auf der Paretofront	92

