

Parametrische Planung für ein Nachhaltiges Nutzdach (Blau, Grau und Grün) – NaNu3

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 47/2025

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

Mag. Martin Jung, DI Theresa Fink, DI Paul Kinner, DI Karl Berger, DI Dr. Shokufeh Zamini,
Dr. Marcus Rennhofer (AIT Austrian Institute of Technology GmbH)

DI Paul Erian M.A., Antonija Wieser, M.A., Bakk.a (BABEG Kärntner Betriebsansiedlungs-&
Beteiligungsm.b.H.)

DI Susanne Formanek, DI Isabelle Haymerle (GRÜNSTATTTGRAU Forschungs- und
Innovations GmbH)

DI Dr. Franz Dolezal, Dipl. UMNW ETH Philipp Boogman (IBO – Österreichisches Institut für
Bauen und Ökologie GmbH)

DI Dr. Petra Gruber (TRANSARCH)

Wien, 2025. Stand: Dezember 2022

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract.....	10
3	Ausgangslage.....	11
4	Projekthalt.....	13
4.1.	Allgemeines.....	13
4.2.	Vorgangsweise und gewählte Methoden	13
4.2.1.	Konzeptive Workshops	14
4.2.2.	Expert:innen-Workshops und Online-Befragungen	15
4.2.3.	Anwendung des parametrischen Modells an realen Use-Cases	15
5	Ergebnisse	17
5.1.	Das Parametrische Modell.....	17
5.1.1.	Konzept.....	17
5.1.2.	User-Interface – NaNu3 Tool.....	18
5.1.3.	Planungsparameter – NaNu3 Tool	19
5.1.4.	Szenarien-Export im NaNu3-Tool	21
5.2.	Funktionsweise - Dachelemente.....	21
5.2.1.	Gründach	22
5.2.2.	Wassermanagement.....	23
5.2.3.	Photovoltaik.....	27
5.2.4.	Dachterrasse.....	28
5.2.5.	Ökologische Bewertung.....	28
5.3.	Performance Indikatoren.....	29
5.3.1.	Ökonomie	29
5.3.2.	Mikroklima.....	30
5.3.3.	Biodiversität.....	31
5.3.4.	Wassermanagement.....	31
5.3.5.	Energiehaushalt	33
5.3.6.	Ökologische Bewertung.....	33
5.3.7.	Biomimetische Strategien.....	35
5.4.	Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“ und Beitrag des Projekts zu den Gesamtzielen.....	36
6	Schlussfolgerungen.....	37
7	Ausblick und Empfehlungen.....	38
8	Verzeichnisse.....	39
9	Anhang.....	43
9.1.	Data Management Plan (DMP)	43

1 Kurzfassung

Um eine Stadt lebenswert und nachhaltig zu gestalten, müssen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel mitgedacht werden. Eine Maßnahme, um der Aufheizung von urbanen Gebieten zu begegnen, sind Dach- und Fassadenbegrünungen. Gleichzeitig ist auch mit verstärktem Auftreten von (sehr) lokalen Starkniederschlagsereignissen zu rechnen. Somit müssen gebäudegebundene Begrünungsmaßnahmen mit Hitze und damit einhergehenden Trockenperioden als auch zeitweise mit einem zu großen als auch mit einem zu kleinen Wasserdarbot zurecht kommen. Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünungen sind besonders wichtige Gebäudeoptimierungs- und Klimawandelanpassungsmaßnahmen für die Smart Cities der Zukunft. Ihre gezielte Anwendung findet immer mehr Interesse bei den Eigentümer:innen und Nutzer:innen von Büro-, Wohnungs-, gewerblichen, industriellen und öffentlichen Immobilien sowie Planer:innen.

Im Rahmen des Projektes sollte geprüft werden, ob ein parametrischer Ansatz für die praktische planerische Arbeit tauglich ist. Dabei wurde ein Prototyp eines parametrischen Modells entwickelt, welcher es ermöglicht, kombiniert genutzte Dächer rasch und kostengünstig auf ihre Umsetzbarkeit zu prüfen, zu dimensionieren und zu optimieren. Die Ergebnisse werden für Bauherr:innen und Behörden transparent und in visueller Form dargestellt. Zu dieser kombinierten nachhaltigen Nutzung gehören die schon bekannten und im Einzelnen bewährten Module wie die Energieerzeugung durch Photovoltaik und Begrünung. Neu dabei sind eine nachhaltige Bewirtschaftung von Niederschlägen und die Grauwasseraufbereitung durch bepflanzte Bodenfilter.

Das entwickelte parametrische Modell baut auf einem Konzept eines Flachdach-Systems auf, welches die Hauptkomponenten Gründach, Photovoltaik, Grauwasseraufbereitung sowie Wasserspeicherung im Flachdach unter Einbeziehung biomimetischer Prinzipien zusammenfasst. Dabei wurde auf die Erzielung einer größtmöglichen Resilienz des Systems geachtet. Für das Flachdachsystem wurden die technischen Rahmenbedingungen (Materialien, Aufbau, etc.) definiert, deren Errichtungs- und Betriebskosten abgeschätzt und die funktionalen Zusammenhänge (Wasser- und Energiebilanzen, thermische Effekte) beschrieben. Die Systemgrenzen wurden festgelegt, Kopplungs- und Erweiterungsmöglichkeiten mit betrachtet (z.B. HKLS) und Schnittstellen vordefiniert. In diesem Prozess wurden die relevanten Stakeholder durch Workshops und online Befragungen aktiv eingebunden. Das parametrische Modell wurde in realistischen Szenarien auf seine Anwendbarkeit überprüft und im Rahmen des Projektes konnte die Anwender:innen- und Benutzer:innenfreundlichkeit in verschiedenen Planungsphasen demonstriert werden.

In NaNu3 gelang es in enger Zusammenarbeit der verschiedenen direkt am Projekt beteiligten Expert:innen in co-kreativer Weise ein parametrisches Modell zu erstellen, mit dem rasch, einfach und nach erfolgtem 3D-Modell-Aufbau verschiedene Szenarien in Echtzeit und interaktiv mit den Bedarfsträger:innen erarbeitet und visualisiert werden können. Drei Schlüsselemente erwiesen sich als wesentlich: 1. Enger Austausch der am Projekt beteiligten Expert:innen und gegenseitige Vermittlung des jeweiligen Domänenwissens, 2. regelmäßiger Austausch mit außerhalb des Projektteams befindlichen Expert:innen und 3. Erprobung des parametrischen Modells an realen Beispielen.

Die Entwicklung eines parametrischen Modells zur einfachen und raschen Visualisierung von Umsetzungsoptionen hat das Potenzial zur Übertragung des Ansatzes vom Flachdach auf Gebäude-

und Quartiersebene. Damit einhergehend ist auch eine größere Komplexität, da deutlich mehr Domänen und Kompartimente (z.B. wie Energieproduktion, blau-grüne Infrastruktur, befestigter und unbefestigter Freiraum, Heiz- und Kühlpotenziale, Wassermanagement mit Retention und Grauwasseraufbereitung, Gründach und Grünfassaden, Freizeitraum und Mikroklima) miteinander zu verknüpfen sind, positive und negative Rückkopplungen zu berücksichtigen sind und die Wirkungen entsprechend abgestimmt werden müssen. Vor einer Umsetzung in einem Demonstrationsprojekts müssen die Voraussetzungen in einem Projekt der Industriellen Forschung erarbeitet werden.

2 Abstract

To make a city liveable and sustainable, adaptation measures to climate change must be considered. One measure to counteract the heating up of urban areas is green roofs and facades. At the same time, increased occurrence of (very) localized heavy precipitation events is to be expected. Thus, building-based greening measures must cope with heat and associated dry periods as well as, at times, with a too large as well as a too small water supply. Green roofs, facades and interiors are particularly important building optimization and climate change adaptation measures for the smart cities of the future. Their targeted application is attracting increasing interest from owners and occupants of office, residential, commercial, industrial, and public properties, as well as planers.

The project aimed to test whether a parametric approach is suitable for practical planning work. A prototype of a parametric model was developed, which allows to test the feasibility of combined roofs quickly and cost-effectively, to dimension them and to optimize them. The results are presented transparently and in visual form for building owners and authorities. This combined sustainable use includes the already known and in detail proven modules such as energy generation through photovoltaics and greening. New additions are sustainable management of precipitation and greywater treatment through constructed wetlands.

The developed parametric model is based on a concept of a flat roof system, which combines the main components green roof, photovoltaics, grey water treatment as well as water storage in the flat roof under inclusion of biomimetic principles. Attention was paid to achieving the highest possible resilience of the system. The technical framework conditions (materials, structure, etc.) were defined for the flat roof system, their installation and operating costs were estimated, and the functional relationships (water and energy balances, thermal effects) were described. The system boundaries were defined, coupling and expansion options were considered (e.g., HVAC) and interfaces were predefined. In this process, relevant stakeholders were actively involved through workshops and online surveys. The parametric model was tested for its applicability in realistic scenarios, and the project was able to demonstrate its user-friendliness and usability in various planning phases.

In NaNu3, the various experts directly involved in the project worked together in a co-creative manner to create a parametric model that can be used to develop and visualize various scenarios in real time and interactively with the users once the 3D model has been built. Three key elements proved to be essential: 1. close exchange between the experts involved in the project and mutual transfer of the respective domain knowledge, 2. regular exchange with experts outside the project team, and 3. testing of the parametric model on real examples.

The development of a parametric model for simple and rapid visualization of implementation options has the potential to transfer the approach from the flat roof to the building and quarter level. This is also accompanied by greater complexity, as significantly more domains and compartments (e.g., such as energy production, blue-green infrastructure, paved and unpaved open space, heating and cooling potentials, water management with retention and greywater treatment, green roof and green facades, recreational space, and microclimate) need to be linked, positive and negative feedbacks need to be considered, and impacts need to be coordinated accordingly. Before implementation in a demonstration project, the prerequisites must be worked out in an industrial research project.

3 Ausgangslage

Um eine Stadt lebenswert und nachhaltig zu gestalten, müssen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel mitgedacht werden, um aktiv negativen Entwicklungen entgegenzusteuern, da in Zukunft ein Anstieg an Hitzetagen in Österreich zu erwarten ist. Zukunftsprognosen rechnen mit 60-80 Hitzetagen pro Jahr (ZAMG, 2022); die Anzahl der Hitzewellen und der Wüstentage ist laut Prognosen ebenso im Zunehmen. Besonders Städte sind davon besonders betroffen.

Um die ambitionierten Pariser Klimaschutzziele zu erreichen ist es notwendig, Investitionen in Richtung ökologisch nachhaltiger Aktivitäten zu lenken. Mit dem Aktionsplan für ein nachhaltiges Finanzwesen möchte die EU-Kommission einen essenziellen Umsetzungsschritt zum Europäischen Green Deal, aber auch zur EU-Agenda für nachhaltige Entwicklung leisten. Neben der Einführung eines EU-Ecolabels für Finanzprodukte soll ein umfassendes Klassifizierungssystem dabei helfen, sämtliche wirtschaftliche Aktivitäten in Richtung mehr Nachhaltigkeit zu transformieren, grüne Investments anzustoßen und Greenwashing zu vermeiden. Die EU-Taxonomie-Verordnung (EU 2020, EU, 2021) verpflichtet die Kommission, über delegierte Rechtsakte technische Bewertungskriterien zu entwickeln, unter welchen Bedingungen eine bestimmte Wirtschaftstätigkeit als nachhaltig klassifiziert werden kann. Wirtschaftliche Aktivitäten müssen mindestens zu einem der 6 Umweltziele einen essenziellen Beitrag leisten bzw. dürfen keinen negativen Input bei den anderen 5 Zielen bewirken (DNSH-Kriterien - Do Not Significant Harm). Zu diesen 6 Umweltzielen zählen Klimaschutz, Anpassung an den Klimawandel, nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen, Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, Vermeidung von Umweltverschmutzung sowie der Schutz gesunder Ökosysteme.

Eine Maßnahme, um der Entwicklung von Urban Heat Islands (UHIs) zu begegnen, sind Dach- und Fassadenbegrünungen. Gleichzeitig ist auch mit verstärktem Auftreten von (sehr) lokalen Starkniederschlagsereignissen zu rechnen. Somit müssen gebäudegebundene Begrünungsmaßnahmen mit Trockenperioden und mit einem zeitlich zu großen als auch zu einem zu kleinen Wasserdarbot zurechtkommen. Etabliert hat sich das Wissen um die oberflächentemperaturverringenden Eigenschaften von Grünflächen in der Stadt, insbesondere kombiniert mit einem nachhaltigen/ökologischen (Regen)Wassermanagement. Städtisches Grün schafft eine subjektive Wahrnehmungsveränderung der Lufttemperatur durch Schatteneffekte und Evapotranspiration des Pflanzen-Boden-Systems. Begrünungsmaßnahmen werten durch ihren höheren ästhetischen Wert die urbane Lebensqualität auf und haben somit einen positiven psychologischen Einfluss auf die Einwohner:innen (Manso and Castro-Gomes, 2015). Begrünungsmaßnahmen an und auf Gebäuden weisen auch auf Grund des Potenzials der CO₂-Aufnahme eine klimamitigierende Wirkung auf, insbesondere wenn in europäischen Ländern Gebäude für 36% der Treibhausgasemissionen (EU, 2021) verantwortlich zeigen und daher die größten Energieverbraucher in Europa sind.

Städtebauliche Parameter wie Bebauungshöhe, -ausrichtung, -dichte, Fassaden- und Dachfarbe, Textur, etc. bzw. die Gebäudegeometrie und -struktur spielen eine wichtige Rolle für die Entwicklung des städtischen Mikroklimas und beeinflussen auch die Frei- und Grünräume über Schattenwurf, Lichtreflexion, Abstrahlung, etc. Das Zusammenspiel der vorher genannten Parameter beeinflusst auch die für heiße Sommernächte relevante Frischluftzufuhr bzw. Kaltluftbahnen.

Begrünungsmaßnahmen (grünes Dach, begrünte Fassaden) tragen auch zur Vernetzung von Wasser-, Frei- und Grünflächen bei und schaffen so grüne Korridore, die so zusätzlich zur verbesserten

Durchlüftung und Kühlung des urbanen Raumes beitragen (Stadtentwicklung Wien, 2020). Daher werden sie auch grüne und blaue Infrastrukturen genannt. Werden diese Kriterien in eine nachhaltige, klimaresiliente Planung miteinbezogen, ergeben sich neben positiven mikroklimatischen Auswirkungen auch ökonomische, ökologische und soziale Effekte (Fassbinder, 2019):

- Ökologisch durch die Etablierung von Vegetationsflächen und eine damit einhergehende Förderung der Biodiversität und Verbesserung des Mikroklima
- Sozial durch eine Erhöhung der Lebensqualität (z.B. Dachgärten (Gosh et al., 2016))
- Ökonomisch durch ihren Beitrag zur Energie-, Heizungs- und Kühllungsbilanz eines Gebäudes (Clark et al., 2008; Aboelata 2021)

Grüne und blaue Infrastrukturen sind daher Schwerpunkt von mehreren Studien und Projekten, zum Beispiel (Raymond et al., 2017; EU DG Research and Innovation 2015; Bozovic et al. 2017). Alle diese Projekte beschäftigten sich mit Kombinationsmöglichkeiten und der Optimierung von Gebäuden mittels Bauwerksbegrünung. Bauwerksbegrünung wurde dadurch von einem „nice-to-have“ zu einem etablierten Gewerk der Gebäudeoptimierung geführt.

Große Niederschlagsmengen in kurzer Zeit können im urbanen Raum aufgrund der hohen Flächenversiegelung und der geringen Infiltrationsmöglichkeiten lokal nicht ausreichend gespeichert werden bzw. das Oberflächenwasser kann nicht schnell genug abfließen. Die Folgen sind überlastete Kanalsysteme, die die Wassermassen nicht mehr aufnehmen können und durch den Rückstau kommt es zu unkontrollierten Abflüssen, die Straßen, Plätze und Gebäude überfluten. Laut des Grünraummonitorings Wien (2005-2008) geht hervor, dass mehr als 90% der Kanalkapazitäten für den Abtransport von Niederschlagswässern benötigt, für Schmutzwasser nur etwa 7%. Regenwassermanagement entlastet das Kanalsystem und hilft Überflutungen, die bei Starkregenereignissen auftreten, zu vermeiden oder abzuschwächen (EU DG Research and Innovation, 2015). Andererseits standen vor allem Dachbegrünungen am Anfang im Widerstreit mit anderen klimarelevanten Maßnahmen wie der Erzeugung von erneuerbarer Energie durch Photovoltaik-Systeme (Goetzberger und Zastrow, 1982); diese „Exklusivität“ der Maßnahmen ist zunehmend einem Ansatz der Kombination der Maßnahmen gewichen. Die Kombination von Photovoltaik und darunter- oder dazwischenliegender Begrünung kann neue Möglichkeiten und Synergien schaffen, weil im Halbschatten ein günstiges Mikroklima geschaffen wird (Zluwa, 2019; Sattler et al. 2020). Eine ungünstige Kombination kann aber auch das Pflanzenwachstum gerade vor Photovoltaikmodulen forcieren und damit Verschattungsprobleme hervorrufen. Eine breitere Umsetzung braucht Bewusstseinsbildung, Abstimmung auf die klimatischen Gegebenheiten, experimentelle Daten umgesetzter Pilotprojekte und eine Evaluierung längerfristiger Wirkungen.

4 Projektinhalt

4.1. Allgemeines

Um die althergebrachte Funktion des Daches als alleiniger Regen- und Sonnenschutz eines Gebäudes zu hinterfragen und durch neue Funktionen zu erweitern, wollte das Projekt durch die Erstellung eines paarmetrischen Modells aufzeigen, dass durch eine optimale synergetische Kombination von unterschiedlichen Nutzungsfunktionen einen größtmöglichen Mehrwert für Gebäude und ihr Umfeld generiert werden kann. Dabei gilt es die Vorgaben und Anforderungen von Bedarfsträger:innenseite an innovative Flachdachlösung im Modell zu berücksichtigen. Diese werden zumeist folgendermaßen in absteigender Wertigkeit angegeben:

- Investitions- und Errichtungskosten
- Wartungs- und Betriebskosten
- Positive Klimawirkung und Wirkungen auf die Menschen
- Resilienz des Systems und Lebensdauer
- Image und ästhetischer Mehrwert

Eine weitere planerische Herausforderung ist es, die ausgewählten unterschiedlichen Komponenten so zu dimensionieren und abzustimmen, dass ein möglichst effektives und betriebssicheres operatives System entsteht. Um ein solches System in seiner Komplexität zu beschreiben ist es notwendig, ihre technischen Parameter zu berücksichtigen und ihre wechselseitigen Wirkungen und Beeinflussungen zu beschreiben. Ein Katalog von möglichen technischen Verfahren und ihren Kennzahlen, ihren technischen Anforderungen und Wirkungsweisen ist zu erstellen, damit für das Gebäude ein optimaler Nutzen entsprechend den vorher definierten Zielvorgaben erzielt werden kann.

Bestehende Dachflächen sind selten zu einer Nutzungserweiterung geeignet: einerseits aus statischen Gründen, aber auch durch Beschränkungen des Denkmalschutzes und der Ensemble- und Ortsbilderhaltung. Daher lag der Schwerpunkt auf die Neuplanung von Gebäuden, aber auch eine Nachrüstung von geeigneten bestehenden Gebäuden war angedacht. Hier, wie im Falle von Neubauten, kann es sinnvoll sein, auch die Fassaden in die Überlegungen mit einzubeziehen; diese Überlegungen in ein paarmetrisches Modell überzuführen lag außerhalb des Fokus des gegenständlichen Projektes, Überlegungen zu Schnittstellen für eine zukünftige Erweiterung des parametrischen Modells wurden bereits mitgedacht.

4.2. Vorgangsweise und gewählte Methoden

Um das Gebäudesubsystem „Dach“ in ein parametrisches Modell überführen zu können, wurden die zu betrachtenden Komponenten auf „Licht (Photovoltaik), Wasser (Grauwasseraufbereitung, Regenwassermanagement) und Vegetation (mikroklimatischer Einfluss)“ eingeschränkt. Als übergeordnetes Prinzip, das sich schwer in ein paarmetrisches Modell überführen lässt, wurde auf biomimetische Ansätze und auf das Life's Principle (Browning et al., 2014) in den konzeptiven Workshops zurückgegriffen.

4.2.1. Konzeptive Workshops

Ein wesentlicher Faktor für die erfolgreiche Umsetzung des Projektes waren zu Beginn des Projektes Workshops, in denen die verschiedenen Domänen/Komponenten von den entsprechenden Fachexpert:innen der projektteilhabenden Organisationen den anderen Projektteilnehmer:innen vorgestellt wurde. In diesen Workshops, die nach Möglichkeit bevorzugt physisch, aber durch die Pandemie bedingt auch hybrid bzw. virtuell stattfanden, wurden die Systemgrenzen (Abbildung 1) und Rahmenbedingungen festgelegt, Dachelemente, Zusammenhänge und Kopplungen definiert sowie die entsprechenden Performanceindikatoren(gruppen) ausgewählt (Abbildung 2).

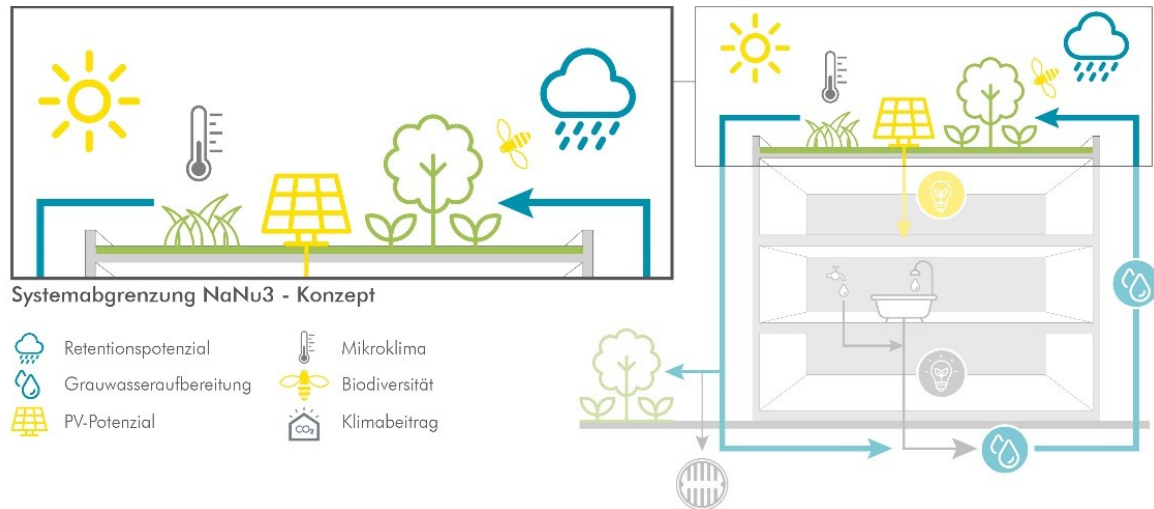


Abbildung 1: Grafische Übersicht der Systemgrenzen innerhalb des Projektes.

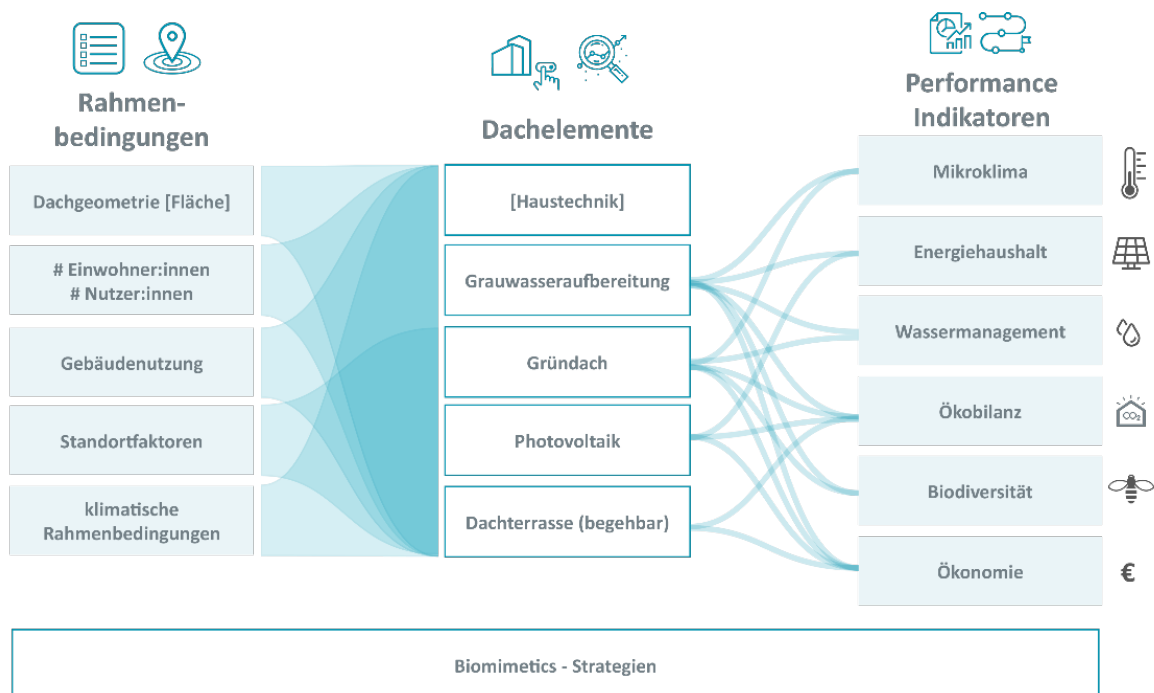


Abbildung 2: Konzept der NaNu3-Rahmenbedingungen, der ausgewählten Dachelemente sowie der Performanceindikatoren-Gruppen.

4.2.2. Expert:innen-Workshops und Online-Befragungen

Ziel des Sondierungsprojektes war die Überprüfung der Machbarkeit und praxisnahen Umsetzbarkeit des entwickelten parametrischen Modelles. Um die Anwendbarkeit in der Praxis zu eruieren und verifizieren, wurden in diversen Formaten Feedback aus der Praxis eingesammelt.

Um das parametrische Modell hilfreich und anwendungsfreundlich zu gestalten, wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Forschungsprojektes Stakeholder:innen und Expert:innen aus themenrelevanten Bereichen in die Entwicklung aktiv mit eingebunden. Dazu wurden Architekt:innen, Behördenvertreter:innen, Bauherren:innen, Experten:innen in der Planung und Umsetzung durch interaktive Workshops und Online-Befragungen zum Austausch gebeten, um ihr Feedback aus der Praxis einzubringen.

Im Zuge dessen wurden verschiedene Tools verwendet, um die Rückmeldungen einzuholen. Um den Verlauf der Workshops aufzulockern, wurden Live-Umfragen mithilfe der Plattform SLIDO durchgeführt und die Teilnehmenden somit aktiv in den Prozess involviert. Des Weiteren wurde durch die Plattform MURAL ein interaktives Whiteboard erstellt, durch das die Expert:innen ihr Wissen anonym äußern konnten und inspiriert durch die Antworten der anderen Teilnehmenden gemeinsam mit dem Konsortium an wichtigen Inhalten arbeiten konnten. Während des ersten Stakeholder-Workshops wurde zudem festgestellt, dass die Teilnehmenden vorzugsweise anonym ihre Meinung preisgeben. Daher wurde die Online-Befragung über ZOHO-Survey durchgeführt, welche es ermöglicht ohne persönlichen Austausch und wenn gewünscht anonym Feedback zum Projekt und den Ergebnissen zu geben.

4.2.3. Anwendung des parametrischen Modells an realen Use-Cases

Für das Projekt NaNu3 wurden zur Sondierung von realen Use-Cases zwei Projekte in Wien und zwei Projekten in Kärnten ausgesucht – um Planungsszenarien zu entwickeln und das parametrische Modell auf die praxisnahe Anwendung zu sondieren. Die Ergebnisse der NaNu3-Analysen wurden mit den jeweiligen Verantwortlichen (Bauträger:innen, Architekt:innen, ...) diskutiert.

Zu diesen Use-Cases wurden die Rahmenbedingungen aus den zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen extrahiert und in das parametrische Modell eingepflegt und entsprechende Simulationen und Analysen durchgeführt:

Gebäudekennzahlen: Dachfläche, Bruttogeschoßfläche (BFG), Geschossanzahl, Standort (in dem vorliegenden Modell wurden zwei Standorte definiert: Wien und Villach), Anzahl der Nutzer:innen und Nutzungsart, Deckenkonstruktion, erwarteter Stromverbrauch, Lage.

Klimatische Kennzahlen und abgeleitete Werte: Solare Einstrahlung/ Sonneneinstrahlung (Dach, Fassade; kWh pro Monat), flächenmäßige Verteilung der solaren Einstrahlung, Umgebungsanalyse der Sonneneinstrahlung, Windrichtung, Psychometrisches Klimadiagramm.

Energetische Simulation: Photovoltaikgrundeinstellungen (Dachfläche, nutzbare Fläche; Effizienz), Energiebedarf Gebäude (Volumen, BFG, U-Wert der Gebäudehülle, U-Wert der Fenster, Verglasung, Nutzung, Konditionierung (Kühlung und Heizung, Luftwechselrate), Energieverbrauchsdiagramm (Gesamt-Energieverbrauch pro Monat aufgeschlüsselt auf Heizen, Kühlen, Heißwasser, Licht, Belüftung, Haustechnik).

Für jeden Use-Case wurden drei Szenarien umgesetzt und analysiert: ein Basisszenario mit dem geplanten Status-Quo und zwei Optimierungsszenarien. Diese Szenarien wurden den Planer:innen in eigenen Meetings vorgestellt und konnten von diesen interaktiv bei den Live-Demonstration verändert werden. Dabei konnten die Ergebnisse der Veränderungen unmittelbar im parametrischen Modell dargestellt werden und die Veränderung der Performanz der verschiedenen Key Performance Indikatoren visualisiert werden.

5 Ergebnisse

Als wesentliches Ziel des Projektes war die Demonstration der Machbarkeit der Umsetzung der verschiedenen ausgewählten Flachdachkomponenten in ein konzeptives parametrisches Modell.

5.1. Das Parametrische Modell

5.1.1. Konzept

Das parametrische Modell für das Projekt NaNu3 wird in der Softwareumgebung Rhinoceros 3D (www.rhino3d.com) und dem Plug-In Grasshopper (www.grasshopper3d.com) entwickelt. Über eine Benutzeroberfläche wird die visuelle Programmierung auf Basis verfügbarer Bibliotheken und eigener Komponenten ermöglicht. Die Schnittstellen zu herkömmlichen Datenformaten (z.B. .dwg, .xls, .shp) sind vorhanden und ermöglichen den kontinuierlichen Import von Informationen zum Projekt.

Angesteuert wird das parametrische Modell über ein User-Interface, welches ebenfalls in Grasshopper entwickelt wird und den Nutzer:innen die Planung und das Assessment ermöglichen soll. Dieses enthält die definierten Rahmenbedingungen über numerische Werte (Niederschlagsmengen) als auch die kontextuelle Situation durch die nähere Umgebung. Die Dachfläche (m²) bildet die Grundlage für die weitere Modellierung von Planungsvarianten.

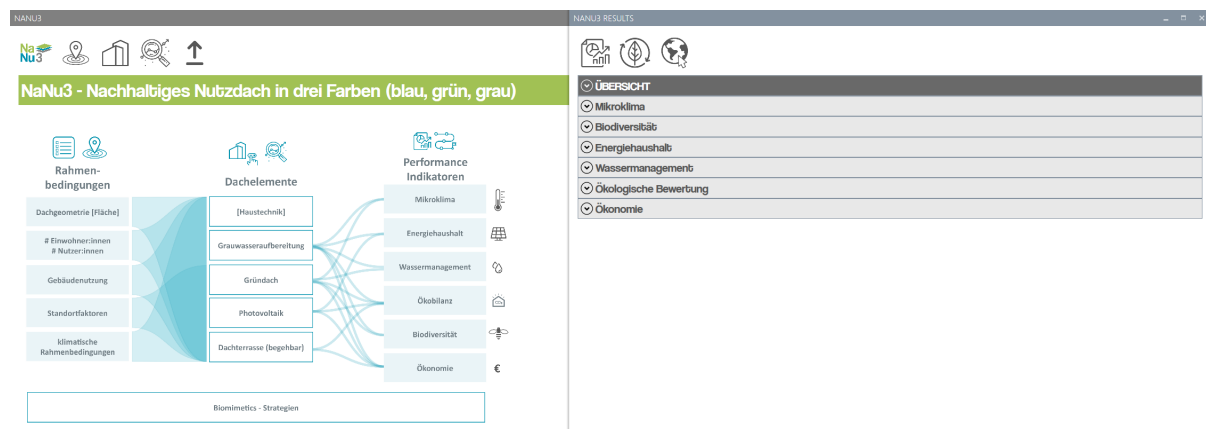


Abbildung 3: Screenshot User-Interface parametrisches Modell.

Die Geometrie des Daches kann über die Eingabe der Dimension im User-Interface oder über die manuelle Modellierung erstellt werden. Als Standorte wurden für das Projekt Wien und Villach ausgewählt, an denen es reale Use-Cases für die Sondierung des parametrischen Modells gibt. Die klimatischen Rahmenbedingungen werden in das parametrische Modell integriert, basierend auf Messdaten der ZAMG und den Referenzjahr-Wetterdaten (.epw) Files für die Berechnung der potenziellen Evapotranspiration. Die Niederschlagswerte wurden aus Datensätzen der ZAMG für die Messpunkte Hohe Warte (Wien) und Villach Stadt für die Jahr 2010 bis 2020 erhoben.

Für die Einbindung der Attribute der jeweiligen Dachsysteme wurden Excel Tabellen mit Basiswerten mit dem parametrischen Modell verknüpft. Diese Basiswerte wurden im Projektkonsortium

gemeinsam erarbeitet und bilden die Grundlage für die weitere Bewertung. Es ist vorgesehen, diese je nach Komplexität und Planungsstadium durch die Nutzer:innen des Tools individuell anzupassen. Der Einsatz NaNu3 Tool ist als Unterstützung in den frühen Planungsphasen zu sehen, kann jedoch nicht den Diskurs mit Fachplaner:innen ersetzen. Es werden die Schnittstellen zur weiteren Simulation der Geometrie und Nutzungsvarianten vorgesehen, um eine detailliertere Betrachtung der Planung zu ermöglichen.

Das parametrische Modell soll manuelle Kombinationen von Dachsystemen ermöglichen, allerdings auch die automatisierte Generation von unterschiedlichen Variationen, um das Potential der Optimierung auszuschöpfen. Über die interaktive Visualisierung in Form von Diagrammen wird der jeweilige Flächenmix im User-Interface für die Nutzer:innen angezeigt.

5.1.2. User-Interface – NaNu3 Tool

Als Rahmenbedingungen wurden die Dachfläche, Gebäudenutzung, Strombedarf, die Deckenkonstruktion, Standortbedingungen und Wetterdaten definiert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Auflistung der Rahmenbedingungen und der Auswahlmöglichkeiten über das User-Interface des NaNu3-Tools.

Rahmenbedingung	Auswahlmöglichkeiten
Dachfläche	Input über Dachfläche absolut, Gebäudegeometrie oder Auswahl einer Fläche Bewohner:innen: Anzahl der Bewohner:innen im Gebäude, oder Teilungsfaktor (m ² pro Person)
Gebäudenutzung	Die Gebäudenutzung kann zwischen Wohnen, Büro, Gewerbe und Sonstige Bauten ausgewählt werden.
Strombedarf	Der Strombedarf wird mit der potenziellen Wirkleistung der PV in Relation gesetzt. Es wird berechnet, wie viel Prozent des benötigten Stroms selbst produziert werden kann.
Deckenkonstruktion	Dieser Input wird für die ökologische Bewertung der Konstruktionsweise herangezogen. Die Decke befindet sich außerhalb der NaNu3 Systemgrenzen – daher wird es gesondert im UI angezeigt und fließt nicht in die Gesamtpformance ein.
Standort + Wetterdaten	Der Standort ist höchst relevant für den Niederschlag als auch für die solare Einstrahlung. Im Weiteren hat dieser auch einen Einfluss auf die Berechnung der Evapotranspiration. Die Auswahl der Referenzwetterdaten bezieht sich auf den Niederschlag und kann für den Durchschnitt der Jahre 2011-2020 oder für einzelne Jahre ausgewählt werden.

Tabelle 2: Auflistung der Planungsparameter und der Auswahlmöglichkeiten über das User-Interface des NaNu3-Tools.

Planungsparameter	Auswahlmöglichkeiten
Dachsysteme	Gründach (extensives oder intensives Gründach mit 3 Substratmächtigkeiten)
Photovoltaik-Kombinationen	Photovoltaik am Dach Photovoltaikkombination mit einem extensiven Gründach Photovoltaikkombination mit einem intensiven Gründach Photovoltaikkombination mit einer Grauwasseraufbereitung Orientierung der PV-Anlage Belegung der PV-Anlage Eigennutzungsanteil PV-Leistung pro m ² Bodenfläche Schieberegler zu Stromkosten pro kWh und Stromgewinn pro kWh (Einspeisung)
Grauwasseraufbereitung	3 verschiedene Aufbauten für bepflanzte Bodenfilter.
Nutzbare Terrasse	JA/NEIN

The screenshot displays the 'NaNu3' software interface. At the top, there's a navigation bar with icons for location, building, magnifying glass, and an upward arrow. Below this is a green header labeled 'Komponenten'. The main content area is divided into several sections, each with a collapse/expand icon:

- Gründach**: Under 'Auswahl Dachsysteme', there are checkboxes for:
 - ☒ [GE1] Extensives Gründach >8cm
 - ☐ [GE2] Extensives Gründach >12cm
 - ☐ [GE3] Extensives Gründach >19cm
 - ☐ [GI1] Intensives Gründach >25cm
 - ☐ [GI2] Intensives Gründach >40cm
 - ☐ [GI3] Intensives Gründach >80cm
- PV**: Under 'Auswahl Dachsysteme', there are checkboxes for:
 - ☒ [PV1] PV am Dach
 - ☐ [PV2] PV + extensives Gründach
 - ☐ [PV3] PV + Nutzfläche
 - ☐ [PV4] PV + Grauwasseraufbereitung
 Below this is the 'Parameter PV' section:
 - 'Orientierung / Neigung PV': A dropdown menu set to 'Süd 10°'.
 - 'Belegung': A dropdown menu set to 'Portrait'.
 - 'Eigennutzungsanteil der PV-Energie': A slider bar ranging from 1% to 33%.
 - A highlighted blue box states: '109.5 W/m² = Spezifische PV-LEISTUNG je m² Bodenfläche'.
 - 'Stromkosten pro kWh': A slider bar ranging from 7 to 20 cent.
 - 'Stromgewinne pro kWh (Einspeisung)': A slider bar ranging from 7 to 20 cent.
- Grauwasseraufbereitung**: Under 'Auswahl Dachsysteme', there are checkboxes for:
 - ☒ [GW1] Bodenfilter, Sand-Kies
 - ☐ [GW2] Bodenfilter, Sand-Kies, reduzierte Aufbauhöhe
 - ☐ [GW3] Bodenfilter, Blähton
 Below this is the text: '60 Liter Grauwasser (Bad) / EW pro Tag benötigt 1m² Fläche'.
- Nutzbare Terrasse**: Under 'Auswahl Dachsysteme', there is a checkbox:
 - ☒ [NT] Dachterasse

Abbildung 5: Darstellung der Planungsparameter im User-Interface des NaNu3-Tools.

5.1.4. Szenarien-Export im NaNu3-Tool

Derzeit ist ein Export der Eingangsparameter in eine Excel-Tabelle für drei Szenarien über einen Schieberegler automatisiert möglich (Abbildung 6); eine größere Anzahl kann durch eine Variation im Projektnamen erzielt werden, ein Vergleich von mehr als drei Szenarien muss derzeit über ein manuelles Zusammenführen der Szenarien erfolgen.

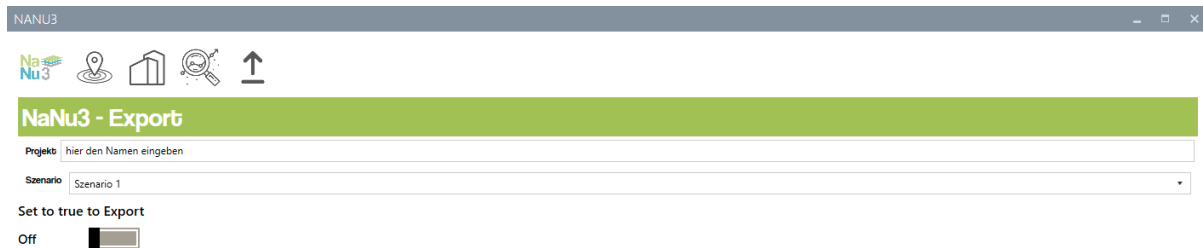


Abbildung 6: Darstellung der Exportmöglichkeit der Szenarien-Einstellung.

5.2. Funktionsweise - Dachelemente

Für das Projekt NaNu3 wurden Rahmenbedingungen, Dachelemente und die Performance Indikatoren zur Bewertung der Planungsszenarien definiert. Diese sind in Abbildung 2 als Übersicht dargestellt und zeigen abstrahiert die Beziehung der Phasen. Die Biomimetics-Strategien liegen der Übersetzung in ein parametrisches Modell zu Grunde und werden in den Funktionsweisen der Dachelemente herangezogen.

Für die ausgewählten Dachelemente (Abbildung 7) wurden im Rahmen des Projektes Systemaufbauten als Referenz erarbeitet, welche ein breites Spektrum an Möglichkeiten abdecken. Diese werden für die Bewertung der Planungsszenarien basierend auf den Inputparametern (z.B. Masse, Herstellkosten, Aufbau-konstruktion) und deren Wirkung (z.B. Mikroklima, Energiehaushalt, Ökonomie) herangezogen.

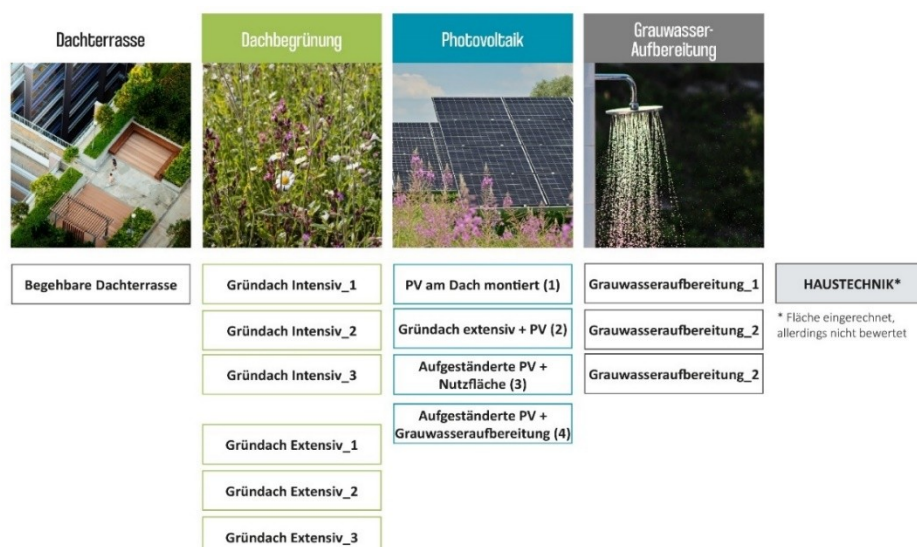


Abbildung 7: Darstellung der im NaNu3 parametrischen Modell eingepflegten Dachsysteme.

5.2.1. Gründach

Für die Gründach-Komponente des Flachdach-Systems wurden sechs verschiedene Aufbauten in Betracht gezogen. Dabei wurde grundsätzlich zwischen extensivem und intensivem Gründach unterschieden. Es wurde darauf geachtet, möglichst viele verschiedene Gestaltungselemente einzubeziehen und somit eine große Auswahl an Gründachoptionen zu inkludieren (Abbildung 8). Zudem erfüllen alle Gründachaufbauten die Anforderungen der ÖNORM L1131 z.B. Gesamtdicke des Begrünungsaufbaues je nach Begrünungsart. Je nach Aufbau, werden die unterschiedlichen Wirkungen berechnet und bewertet. Die betrachteten Wirkungen und Funktionen sind: Wartung/Pflege, Bewässerungsbedarf, Evapotranspiration, Temperaturhaushalt, Biodiversität, Retentionspotential, Biomasse und CO₂-Bindung.

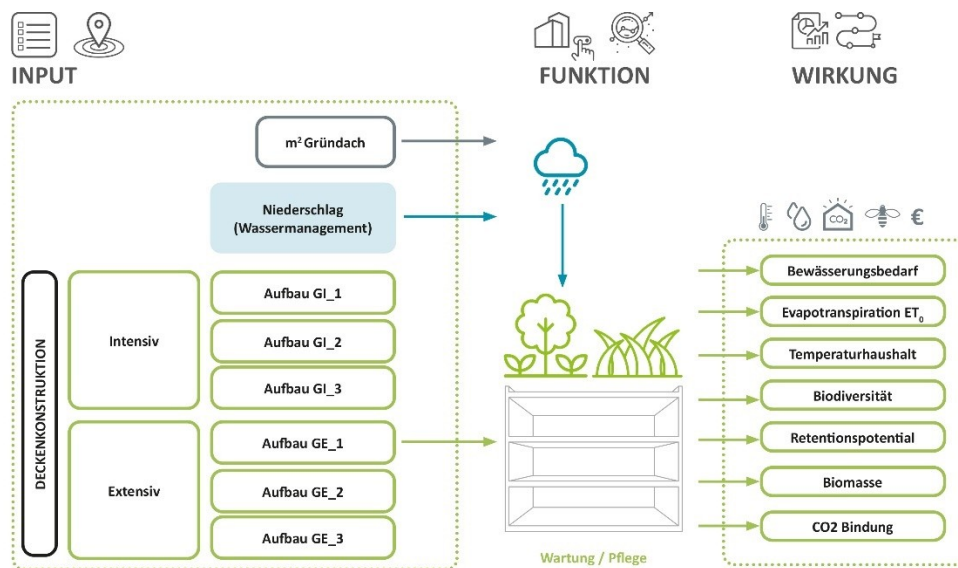


Abbildung 8: Funktionsschema Gründach.

Gründachaufbauten

Hier wurden für extensive (Tabelle 3) und intensive (Tabelle 4) Gründächer drei Aufbauten definiert, die sich vor allem durch unterschiedliche Substratstärken voneinander unterscheiden.

Bei Aufbau *GE_1* handelt es sich um ein reduziertes extensives Gründach mit einer normgerechten Mindestsubstrathöhe von 8 cm. Hier ist Sedum-Moos Begrünungen als Vegetation vorgesehen. Zusätzlich zum Pflanzensubstrat gehören auch eine Filterschicht, eine Drainage- und Speicherschicht sowie eine Schutzlage zum Gesamtaufbau des Gründaches oberhalb der Dachabdichtung.

Bei Aufbau *GE_2* handelt es sich um ein extensives Gründach mit einer Substrathöhe von 12 cm. Hier sind Sedum-Gras-Kraut-Begrünungen als Vegetation vorgesehen. Zusätzlich zum Pflanzensubstrat gehören auch eine Filterschicht, eine Drainage- & Speicherschicht sowie eine Schutzlage zum Gesamtaufbau des Gründaches oberhalb der Dachabdichtung.

Bei Aufbau *GE_3* handelt es sich um ein extensives Gründach mit einer Substrathöhe von 19 cm. Hier sind Gras-Kraut-Begrünungen als Vegetation vorgesehen. Zusätzlich zum Pflanzensubstrat gehören auch eine Filterschicht, eine Drainage- & Speicherschicht sowie eine Schutzlage zum Gesamtaufbau des Gründaches oberhalb der Dachabdichtung.

Tabelle 3: Aufbau von extensiven Gründächern mit unterschiedlicher Substratstärke.

Extensive Begrünung 8cm [GE_1]	Extensive Begrünung 12cm [GE_2]	Extensive Begrünung 19cm [GE_3]
Schuttlage 0,36 cm	Schuttlage 0,36 cm	Schuttlage 0,36 cm
Drain/Sperrschicht 5 cm	Drain/Sperrschicht 5 cm	Drain/Sperrschicht 5 cm
Filterlage 0,1 cm	Filterlage 0,1 cm	Filterlage 0,1 cm
Substratschicht 8 cm	Substratschicht 12 cm	Substratschicht 19 cm

Bei Aufbau *GI_1* handelt es sich um ein reduziertes intensives Gründach mit einer Substrathöhe von 25 cm. Hier sind Rasen, Wiese, Stauden und niedrige Gehölze als Vegetation vorgesehen. Zusätzlich zum Pflanzensubstrat gehören auch eine Filterschicht, eine Drainage- & Speicherschicht sowie eine Schutzlage zum Gesamtaufbau des Gründaches oberhalb der Dachabdichtung.

Bei Aufbau *GI_2* handelt es sich um ein intensives Gründach mit einer Substrathöhe von 40 cm. Hier sind höhere Stauden und Gehölze als Vegetation vorgesehen. Zusätzlich zum Pflanzensubstrat gehören auch eine Filterschicht, eine Drainage- & Speicherschicht sowie eine Schutzlage zum Gesamtaufbau des Gründaches oberhalb der Dachabdichtung.

Bei Aufbau *GI_3* handelt es sich um ein Intensivgründach mit Bäumen mit einer Substrathöhe von 80 cm. Der Substrataufbau besteht normgemäß aus einem Ober- (bzw. Pflanzensubstrat) und Untersubstrat und bietet genug Volumen für das Wachstum von Bäumen. Hier sind höhere Gehölze sowie Bäume als Vegetation vorgesehen. Zusätzlich zum Substrat gehören auch eine Filterschicht, eine Drainage- und Speicherschicht sowie eine Schutzlage zum Gesamtaufbau des Gründaches oberhalb der Dachabdichtung.

Tabelle 4: Aufbau von intensiven Gründächern mit unterschiedlicher Substratstärke.

Intensive Begrünung 25 cm [GE_1]	Intensive Begrünung 40 cm [GE_2]	Intensive Begrünung 80 cm [GE_3]
Schuttlage 0,4 cm	Schuttlage 0,4 cm	Schuttlage 0,6 cm
Drain/Sperrschicht 5 cm	Drain/Sperrschicht 6 cm	Drain/Sperrschicht 6 cm
Filterlage 0,12 cm	Filterlage 0,12 cm	Filterlage 0,12 cm
Substratschicht 25 cm	Substratschicht 40 cm	Untersubstratschicht 40 cm
		Pflanzensubstratschicht 40 cm

5.2.2. Wassermanagement

Das Wassermanagement am Nanu3-Flachdach umfasst die Bereiche Regenwassermanagement und Grauwassermanagement und -aufbereitung. Die angestrebten Ziele des Projektes sind in Tabelle 5 dargestellt. Die verschiedenen Inputparameter, die Funktionen und die Wirkungen sind in Abbildung 9 dargestellt.

Tabelle 5: Ziele des Nanu3-Projektes in Bezug auf das Regenwasser- und Grauwassermanagement

NaNu3-Ziele an das Regenwassermanagement	NaNu3-Ziele an das Grauwassermanagement
Wasserrückhalt im Bereich der Dachflächen sowie durch externe Speicherung	Substitution von Trinkwasser für die Bewässerung von begrünten Dächern und Grünflächen
Verringerung des Trinkwasserverbrauchs für Bewässerung	
Erhöhung der Evapotranspiration (Kühlwirkung) durch Begrünungsmaßnahmen	
Entlastung der Kanalisation bei Starkniederschlagsereignissen	
Schaffung von lokalen Wasserkreisläufen (Bewässerung von Grünflächen bzw. Versickerung (erhöhtes Wasserdargebot für Bäume und Sträucher)	

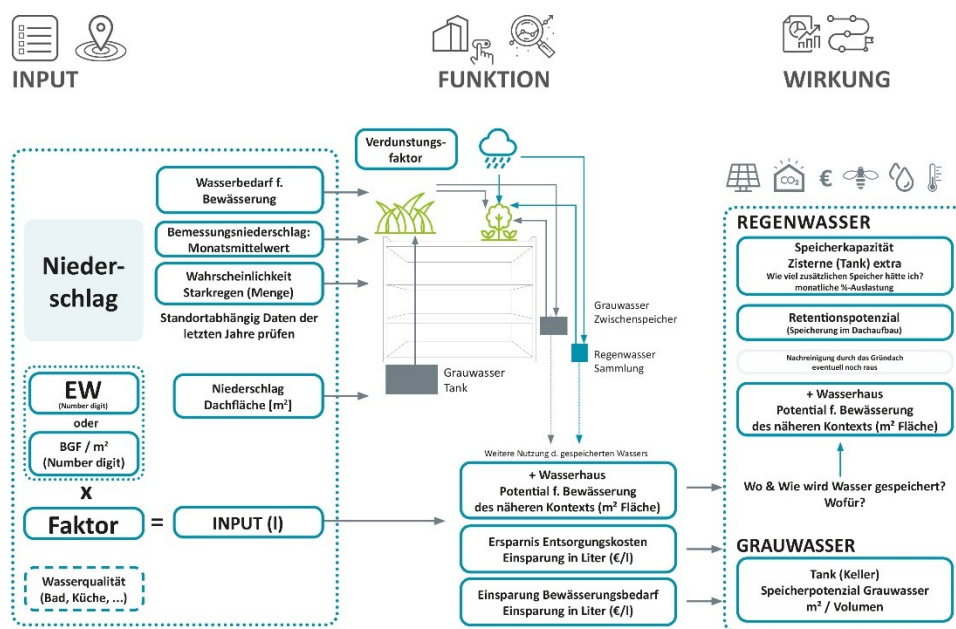


Abbildung 9: Funktionsschema Wassermanagement

Grauwasser

Der fäkalienfreie Teilstrom des häuslichen Abwassers wird als Grauwasser bezeichnet. Grauwasser kann hinsichtlich seiner Entstehungsorte und Belastungsstufen klassifiziert werden. Häusliches Abwasser aus den Sanitärbereich (Duschen, Badewannen, Handwaschbecken) wird als schwach belastetes Grauwasser bezeichnet, Abwasser aus Wasch- und Geschirrspülmaschinen sowie Küchenspülen als stark belastetes Grauwasser.

Die Zusammensetzungen und Mengen des Grauwassers sind variabel und hängen stark vom individuellen Nutzer:innenverhalten, der Ausstattung der Haushalte (z.B. Geschirrspülmaschinen, Wasserspararmaturen etc.) den verwendeten Reinigungs- Körperpflegemitteln sowie

Haushaltschemikalien (Seifen, Weichspüler, Zahnpasta, etc.), der Qualität der Wasserversorgung und der Art der Wasserverteilung ab.

Reinigung von Grauwasser mit bepflanzten Bodenfiltern gemäß den für das NaNu3-Projekt getroffenen Annahmen

Betreffend Design und Betrieb unterscheidet sich eine bepflanzte Bodenfilteranlage zur Reinigung von Grauwasser nicht grundsätzlich von einer bepflanzte Bodenfilteranlage zur Reinigung von häuslichem Abwasser. Da die Kohlenstofffracht pro Einwohner - ausgedrückt durch die Parameter CSB und BSB5 – um einen Faktor 4 geringer ist, kann auch das erforderliche Bodenfiltervolumen und somit auch die erforderliche Bodenfilterfläche um einen Faktor 4 für gering verunreinigtes Grauwasser aus dem Sanitärbereich reduziert werden. Für diesen Abwasserteilstrom wird deshalb im parametrischen Modell des NaNu3-Projekts ein Flächenbedarf von 1m² pro Einwohner angesetzt. Die angenommene Abwassermenge pro Einwohner beträgt 60 Liter/Tag.

Vorreinigung /Pufferung

Das Grauwasser wird in einem Puffertank zwischengespeichert (vorzugsweise im Keller situiert), welcher auch der Vorreinigung (Absetztank) dient. Dem Puffertank vorgeschaltet ist die Grobabscheidung der Feststoffe mittels Filtersack und/oder Sieb. Für gering verunreinigtes Grauwasser ist ein Mindestspeichervolumen pro Einwohner von zumindest 50 l vorzusehen. Der Puffertank ist über einen Überlauf an die öffentliche Kanalisation angeschlossen.

Beschickung

Bepflanzenden Bodenfilter werden intermittierend 4- bis 6-mal pro Tag beschickt. Im NaNu3-Konzept erfolgt die Beschickung direkt von der im Pufferstank eingebauten Beschickungspumpe. Die flächige Verteilung des Grauwasser am Bodenfilter erfolgt über Verteilleitungen und Prallplatten.

Bodenfilter

Der NaNu3-Aufbau der Bodenfilter orientiert sich an den Vorgaben der ÖNORM B 2505. In der folgenden Tabelle 6 sind die 3 ausgewählten Aufbauarten zusammengefasst.

Tabelle 6: Gewählte Aufbauten für die Grauwasseraufbereitung.

	Aufbau 1		Aufbau 2		Aufbau 3	
<i>Bauteil</i>	Stärke in cm	Material	Stärke in cm	Material	Stärke in cm	Material
<i>Deckschicht</i>	5	Kies 4/8 oder Kies 8/16	10	Kies 4/8 oder Kies 8/16	10	Kies 4/8 oder Kies 8/16
<i>Übergangsschicht</i>	5	Kies 4/8	10	Kies 4/8		
<i>Hauptschicht</i>	50	Sand 0/4	50	Sand 0/4	60	Liapor HD 1/4
<i>Trenngewebe</i>		Siebgewebe gemäß DIN 4197, Maschenweite 2,5 mm		Siebgewebe gemäß DIN 4197, Maschenweite 2,5 mm		Siebgewebe gemäß DIN 4197, Maschenweite 2,5 mm
<i>Dränschicht</i>	20	Kies 8/16	0,25 m/m ²	PVC /PE	19	Kies 8/15
<i>Dränaegerohr DN 80</i>	0,25 m/m ²	PVC /PE	20	Kies 8/16	0,25 m/m ²	PVC /PE
<i>Dichtungsbahn</i>	0,2	gemäß ÖNORM S2073	0,2	gemäß ÖNORM S2073	0,2	gemäß ÖNORM S2073
<i>Becken</i>	15	Stahlbeton	15	Stahlbeton	15	Stahlbeton

Regenwasser

Regenwasser ist eine wertvolle Ressource, welche vielerorts nicht gesammelt und genutzt wird, sondern über Regen- und Mischwasserkanäle abgeleitet werden. Bei Starkregenereignissen kann dies zu Überlastungen in der Kanalisation führen. Folgen davon sind entweder lokale Überschwemmungen oder Mischwasser wird über Regenüberläufe ungereinigt in Vorfluter entlastet.

Ziel eines modernen (urbanen) Regenwassermanagements ist es lokale Wasserkreisläufe zu schaffen, das heißt Ableitung von Regenwasser zu verlangsamen und lokal zu speichern. Dies kann sowohl durch lokale Versickerung von Regenwasser aber auch durch Sammlung und Speicherung (z.B. Zisternen) geschaffen werden.

Regenwasserspeicherpotential aus begrünten Flächen

Das Regenwasserspeicherpotential errechnet sich im NaNu3-Modell aus der monatlichen Niederschlagsmenge abzüglich der monatlichen Verdunstung. Monatliche Niederschlagsdefizite entsprechen dem monatlichen Bewässerungsbedarf, welcher für die optimale Versorgung der Pflanzen zur Erreichung der maximalen (potentiellen) Evapotranspiration erforderlich ist. Für die Berechnung des Speicherpotentials wird ebenfalls angenommen, dass Grünflächen immer optimal mit Wasser versorgt sind. Unter dieser Annahme entspricht die tatsächliche Evapotranspiration der potentiellen Evapotranspiration. Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration wird im NaNu3-Modell nach Haude durchgeführt. Haude-Faktoren für die Pflanzenart können entsprechend der Bepflanzung ausgewählt werden. Im NaNu3-Modell wurde für Gründach standardmäßig die Bepflanzung für Wiese ausgewählt.

Ergebnisse zum Regenwassermanagement in NaNu3-Modell

Die Ergebnisse im NaNu3-Modell erlauben eine Abschätzung, welche Menge an Regenwasser auf der Dachfläche gesammelt und gespeichert werden kann, wieviel Trinkwasser für Bewässerung auf der Dachfläche eingespart werden kann, welche zusätzlichen Flächen - über das begrünte Flachdach hinausgehend - eventuell damit bewässert werden könnten, welches Speichervolumen erforderlich ist und mit welchen Kosten für die Wasserspeicherung zu rechnen ist.

5.2.3. Photovoltaik

In Nanu3 Projekt ist Photovoltaik, die Energieerzeugungstechnologie, die ins Nutzdach integriert werden kann. PV soll Energieaufwand des Wassermanagement decken, und zusätzliche Energie fürs Gebäude zur Verfügung stellen. Das PV-System kann je nach der Anwendung entworfen werden (Tabelle 7, Abbildung 10). Es kann als alleinige Nutzung auf einem Teil der Dachfläche, vor allem aber auch in Kombination mit Begrünung oder als Schattenspender für eine Terrassenbenutzer oder aber auch für die Pflanzen verwendet werden.

Das Design kann nach unterschiedlichen Himmelsrichtungen orientiert werden:

- Südorientiert mit einem Mindestabstand der gegenseitige Reihenabschattung verhindert
- West-Ost orientiert für alleinige Nutzung für hohe Belegungsdichte und im Vergleich zu Südorientierung höherem Ertrag am Morgen und Abend.
- Geschlossene Dachfläche: kann Südorientiert oder West-Ost orientiertes Scheddach sein.

Je nach Anordnung unterscheiden sich die Erträge und unterschiedliche Materialeinsatz wird benötigt.

Tabelle 7: Im parametrischen Modell auswählbare Photovoltaik-Aufbauten.

PV Aufbau 1	PV Aufbau 2	PV Aufbau 3	PV Aufbau 4
Betonbeschwerung 50 kg/m ²	Extensives Gründach Aufbau 02	Betonbeschwerung 150 kg/m ²	Grauwasseraufbereitung Aufbau 2
Aluunterkonstruktion 2 kg/m ²	Aluunterkonstruktion 2,5 kg/m²	Aluunterkonstruktion 3,8 kg/m²	Betonbeschwerung 150kg/m²
PV Modul 25,9 kg/m ²	PV Modul 25,9 kg/m²	PV Modul 25,9 kg/m²	Aluunterkonstruktion 3,8kg/m²
			PV Modul 25,9 kg/m²

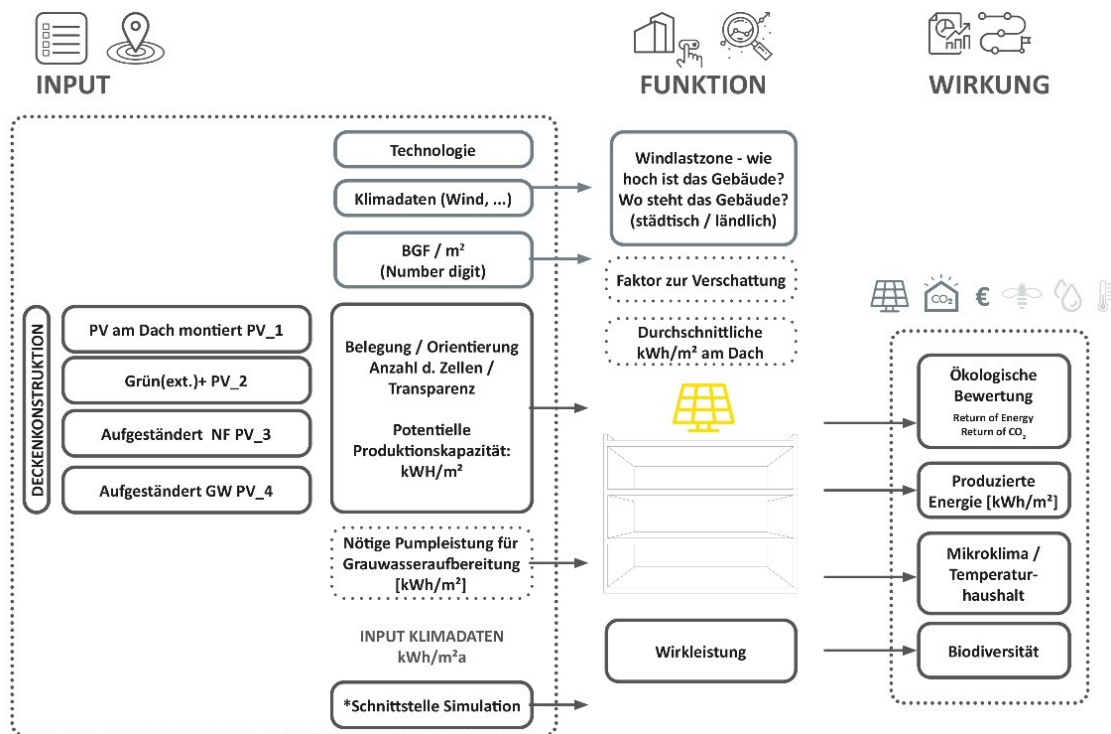


Abbildung 10: Funktionsschemata Photovoltaik.

5.2.4. Dachterrasse

Für die nutzbare Dachterrasse wurde nur eine Standardausführung im Modell integriert. Diese besteht aus einer 0,2 cm starken Schutzlage, und darüber einer 4 cm starken Kieslage, die von 4 cm dicken Betonplatten überlagert werden.

5.2.5. Ökologische Bewertung

Für die ökologische Bewertung (Abbildung 11) wurden Gebäudenutzungsdauern von 50 Jahren festgelegt. Dies entspricht den grundlegenden Satzungen in Deutschland (BMUB; 2011) und Europa (Donatello, et al. 2021) und wird aktuell auch auf europäischer, normativer Ebene diskutiert. Vorhergehende Forschungsarbeiten zeigen, dass eine Verlängerung des Betrachtungszeitraums keinen Einfluss auf die Module A und C eines Gebäudes hat. Die wesentlichen Unterschiede kommen in Modul B durch höhere Austauschzyklen der Bauteile, die sich zwangsläufig ergeben, zustande. Die konstruktiven Bauteile werden von einer längeren Gebäudenutzungsdauer nicht tangiert. Aufgrund von Erfahrungswerten von Grün statt Grau wurde für alle Dachvarianten die Gebäudenutzungsdauer angesetzt. Eine Ausnahme betrifft die PV-Module, bei welchen von 25 Jahren Nutzungsdauer und somit von einem einmaligen Tausch ausgegangen wurde (Lebensphase B4). Die grundlegenden Berechnungen wurden mittels der Software Eco2soft unter Zugrundelegung der ökologischen Produktdatenbank baubook durchgeführt. Für in baubook nicht enthaltene Baustoffe (v.a. Recyclingmaterialien, die in Gründächern offenbar gerne Anwendung finden) wurden eigene Berechnungen mit der Hintergrunddatenbank ecoinvent v3.5 (2017) durchgeführt und die jeweiligen Materialien aus eco2soft ersetzt und neu berechnet.

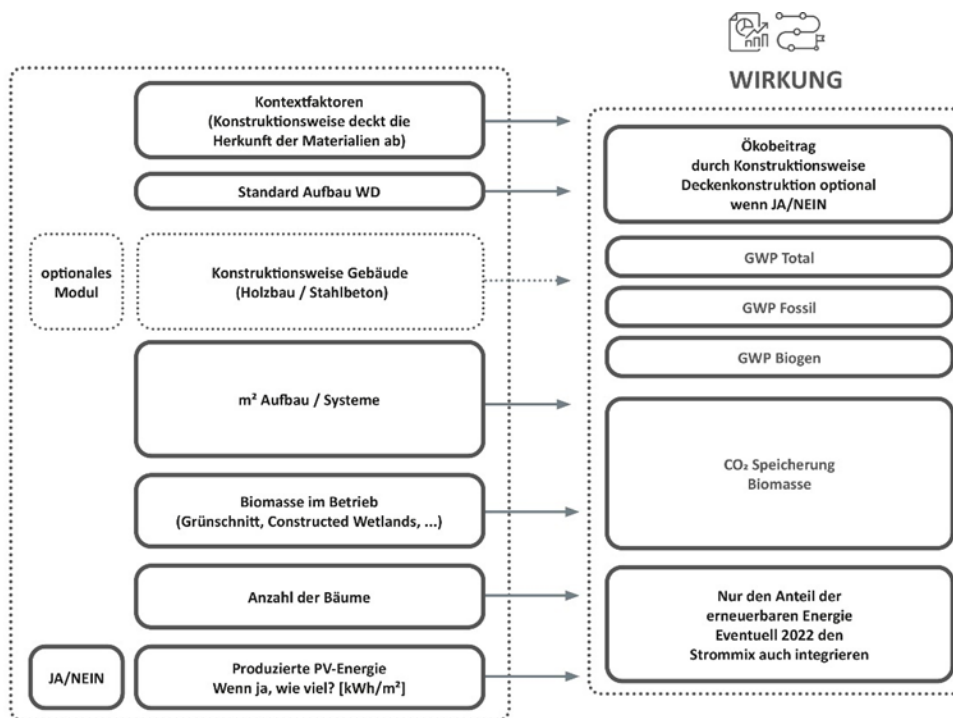


Abbildung 11: Schema der ökologischen Bewertung.

5.3. Performance Indikatoren

5.3.1. Ökonomie

Für die ökonomische Bewertung (Abbildung 12) werden für die einzelnen Dachsysteme die Herstellkosten, Betriebskosten und systemverbundenen Kosten herangezogen. Die Herstellkosten basieren auf Informationen der Hersteller und werden mit Mittelwerten zu den jeweiligen Systemen angenommen, können jedoch projektspezifisch angepasst werden.

Zusätzlich werden die Ertragsmöglichkeiten durch die Einsparung von Trinkwasser zur Bewässerung, z.B. durch die Verwendung von gereinigtem Grauwasser oder gespeichertem Regenwasser, im Projekt behandelt. Das Einsparungspotential von Energie durch die Produktion durch die PV-Anlagen bzw. der potenzielle Ertrag durch die Einspeisung der Energie wird ebenfalls in der ökonomischen Bewertung dargestellt.

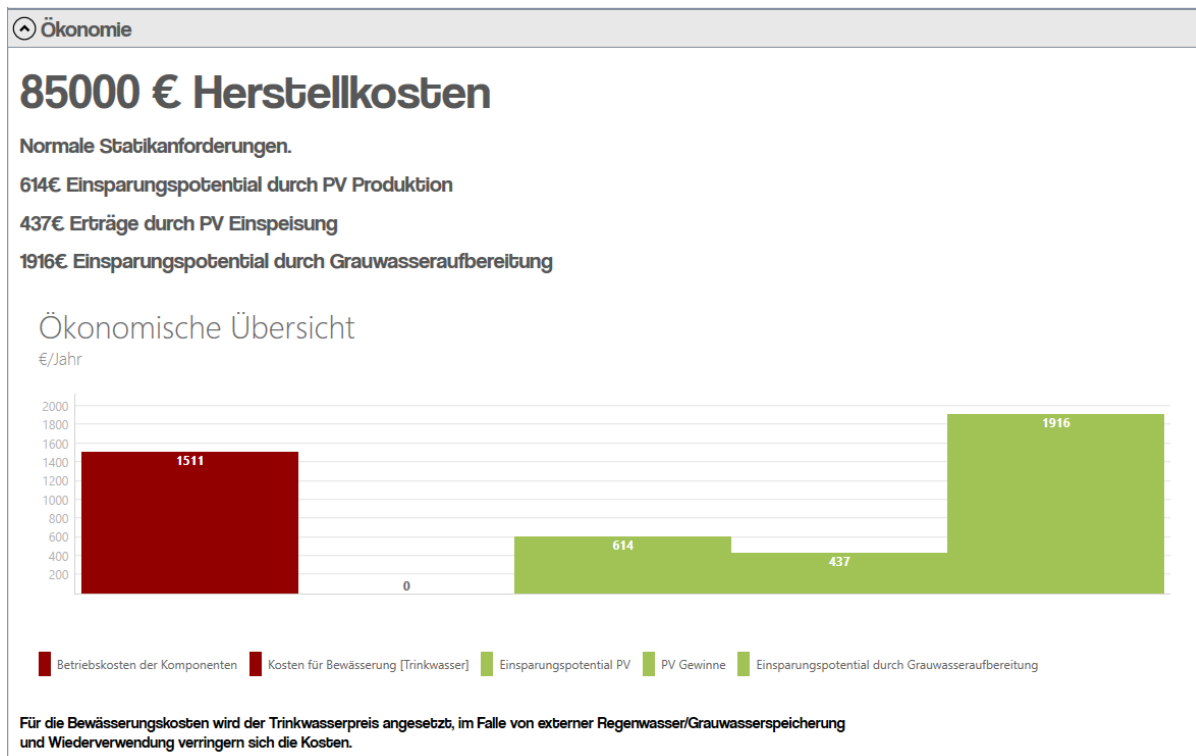


Abbildung 12: Übersichtsauswertung Ökonomie.

5.3.2. Mikroklima

Zur qualitativen Bewertung des Mikroklimas wurde 3 Teilaspekte definiert, welche auf einer Skala von 0-3 durch die Expert:innen im Projekt beurteilt wurden. Die Bewertung der mikroklimatischen Wirkung von unterschiedlichen Systemen setzt sich aus der Kühlwirkung der Pflanzen (30%), der Strahlungsreflexion der Oberflächen (20%) und der Verschattung (50%) zusammen. Diese gewichtete Bewertung ergibt für die entwickelten Dachsysteme eine Bewertung zwischen 0.2 (Nutzbare Terrasse) und 2.4 (Intensives Gründach mit höheren Gehölzen und Bäumen).

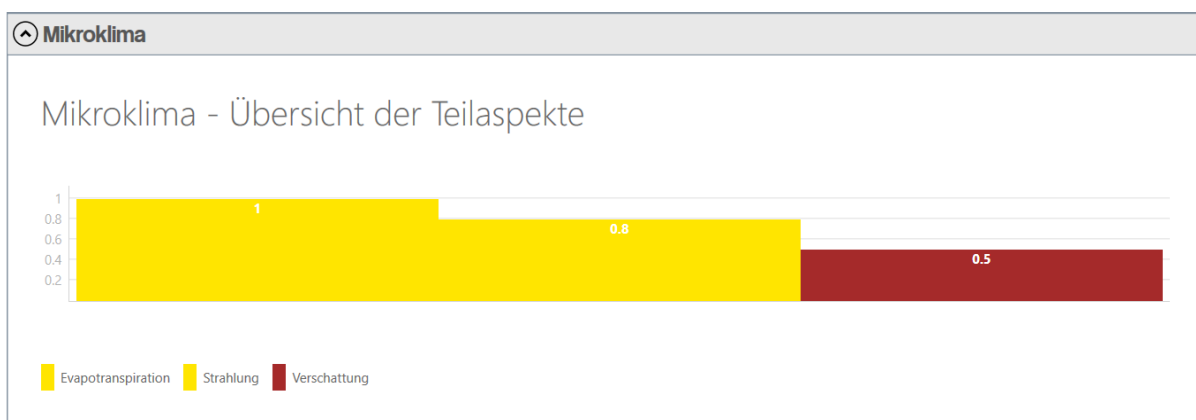


Abbildung 13: Übersichtsauswertung Mikroklima.

5.3.3. Biodiversität

Alle Formen der Dachbegrünung können durch geeignete Strukturelemente, unterschiedliche Substrathöhen (Oberflächenmodellierung) und insektenfreundlichen Pflanzenarten ökologisch aufgewertet werden. Dies führt zur Schaffung von Lebensraum für Flora und Fauna, Rückzugsorten für gefährdete Spezies und somit zur Steigerung der Biodiversität. Mithilfe von einer diversen Gestaltung und der Verwendung vielfältiger Strukturen z.B. Wiese, Sträucher, Bäume, etc. kann ein Gründach für Diversität sorgen. Zudem sorgen Strukturelemente wie z.B. Totholz, Sand, Wasserflächen, Kies, Lehm, etc. für wichtige Ausgleichshabitate für die Nahrungsaufnahme und Brut. Den verschiedenen Dachsystemen wurden durch Expert:innen die Punkte für „Insekten- und tierfreundliche Lichtquellen“, „Brut- und Nistplätze“, „Bienenweide“, „Artenreiche Krautschicht“, „Vegetationsstrukturen“ und „Biodiversität“ jeweils Werte von 0 bis 3 zugeordnet, danach aufsummiert und der Mittelwert errechnet, der dann Aufschluss über die eigentliche Performance gibt. Je höher dieser Wert für ein Szenario ist, desto höher ist die theoretische Biodiversität. Der Wert wird jeweils für die Parameter Pflanzen- und Tiervielfalt ausgegeben.

5.3.4. Wassermanagement

Für die Berechnung des Regenwasserspeicherpotentials der verschiedenen Gründachaufbauten wurde der Mittelwert des Retentionspotentials aus Drainage- und Schutzschicht inklusive des Speichervermögens des Substrats beachtet. Dazu wurden Daten von herkömmlichen Gründachsystemherstellern herangezogen (Abbildung 14).

Ergebnisse zum Bewässerungsbedarf

Zur Ermittlung des Bewässerungsbedarfs der einzelnen Gründachaufbauten wurden Richtwerte zur Annäherung verwendet. Dabei wurde auf die ÖNORM L1112 Anforderungen an die Bewässerung von Grünflächen (Tabellen A.1 und A.2) sowie Erfahrungswerte der grünplan Landschaftsarchitekten zurückgegriffen. Es wurde angenommen, dass mit Ausnahme der Anwuchs- und Entwicklungsphase bei extensiven Gründächern keine Zusatzbewässerung notwendig ist. Bei reduziert intensiven Dachbegrünungen [GI_1] monatsabhängig ca. 15 Liter/m² und Durchgang notwendig sind. Bei intensiven Dachbegrünungen [GI_2] wurden ca. 20 Liter/m² und Durchgang und beim Einsatz von Bäumen [GI_3] ca. 200 Liter pro Baum bis 15 Jahren veranschlagt.

Ergebnisse zum Grauwassermanagement

Die Ergebnisse im NaNu3-Modell erlauben eine Abschätzung welche Menge an Grauwasser im Gebäude anfällt und nach Reinigung für Bewässerung zur Verfügung steht, welche Flächen für die bepflanzten Bodenfilter erforderlich sind, welches Behältervolumen für die Vorreinigung erforderlich ist, wieviel Trinkwasser für Bewässerung auf der Dachfläche eingespart werden kann, welche zusätzlichen Flächen - über das begrünte Flachdach hinausgehend - eventuell damit bewässert werden könnten, mit welchen Kosten für die Grauwasserreinigung zu rechnen ist, welches Speichervolumen erforderlich ist und mit welchen Kosten für die Wasserspeicherung zu rechnen ist.

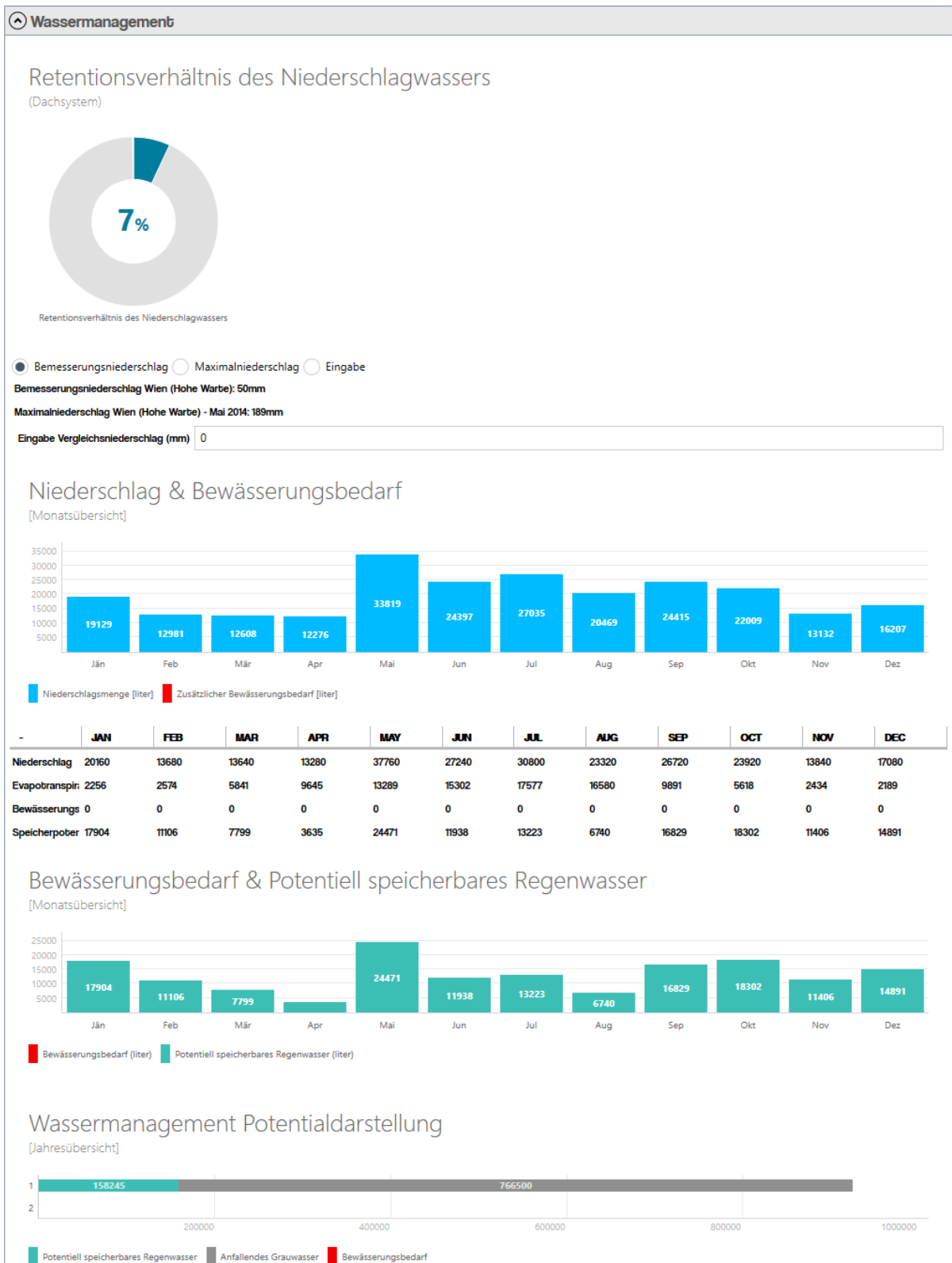


Abbildung 14: Übersicht Wassermanagement.

5.3.5. Energiehaushalt

Die Performance des Energiehaushalts wird basierend auf dem Input des Energieverbrauchs im Gebäude und der potenziellen PV-Produktion am Dach des Projektes berechnet. Der Energiebedarf im Gebäude kann hier variabel über das User-Interface eingegeben werden und mit dem Potential an geplanten PV-Dachflächen in Relation gesetzt werden. Das Energieproduktionspotential wird jährlich auf Grundlage der Orientierung, Neigung und Belegung der Paneele berechnet – über Schnittstellen könnten in weiterer Folge Simulationen durchgeführt werden. Der Eigennutzungsanteil sowie die Kosten und Erträge je kWh werden für die Berechnung der ökonomischen Wirkung der Photovoltaik Anlagen herangezogen.

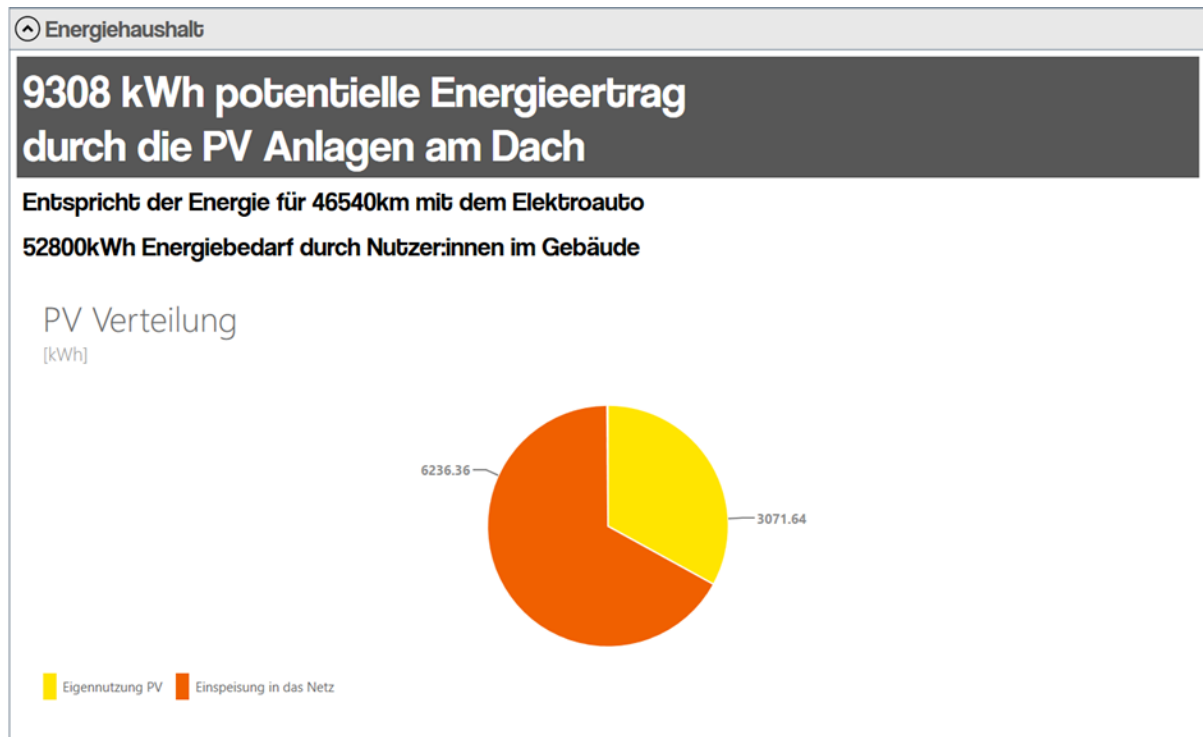


Abbildung 15: Darstellung des Indikators Energiehaushalt.

5.3.6. Ökologische Bewertung

Die ökologische Bewertung erfolgt über folgende Parameter (Performance siehe Abbildung 16):

GWP-total - Treibhauspotenzial gesamt (Global Warming Potential total, in kg CO₂-äq): Das Treibhauspotenzial beschreibt den Einfluss an anthropogenen Emissionen, am Treibhauseffekt. Die diesbezüglich relevantesten Gase sind u.a. Kohlendioxid, Methan sowie fluoridierte und chlorierte Kohlenwasserstoffe.

Das GWP wird im Zuge der Berechnungen in folgende Unterkategorien (EN 15804:2019+A2) unterteilt. Aufgrund des expliziten Schwerpunktes Gründächer und des daraus resultierenden erhöhten Interesses an den Unterschieden zu konventionell gedeckten Dächern sind GWP – fossil und GWP – biogen von besonderem Interesse:

- **GWP - fossil** – Treibhauspotential fossiler Energieträger und Stoffe (Global Warming Potential fossil)

- *GWP - biogen* – Treibhauspotential biogen (biogene Energieträger und Stoffe) (Global Warming Potential biogenic)
- *GWP - luluc* – Treibhauspotential der Landnutzung und Landnutzungsänderung. Dabei wird der *GWP-luluc* von nachhaltig bewirtschafteten Wäldern gleich null gesetzt. In Mitteleuropa kann davon ausgegangen werden, dass Bauholz nur aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern stammt.
- *AP* Versauerungspotenzial (Acidification Potential): Versauerung von Boden und Wasser, hervorgerufen durch sauren Regen und Nebel (pH-Wert <4) und entsteht durch die Umwandlung von Luftschadstoffen. Je nach Pufferkapazität der Böden variiert der daraus resultierende Schaden.
- *PENRT* Primärnergie nicht erneuerbar total (Primary Energy Non Renewable Total): Natürlich vorkommende Form der Energie, die fossilen Ursprungs ist. *PENRT* wird unterteilt in *PENRE* Primärenergie nicht erneuerbar in Energie und *PENRM* Primärenergie nicht erneuerbar in Material (z.B. Heizwert von Kunststoffen).

Darüber hinaus werden aufgrund des expliziten Schwerpunktes Gründächer und des daraus resultierenden erhöhten Interesses an den Unterschieden zu konventionell gedeckten Dächern noch folgende Indikatoren betrachtet:

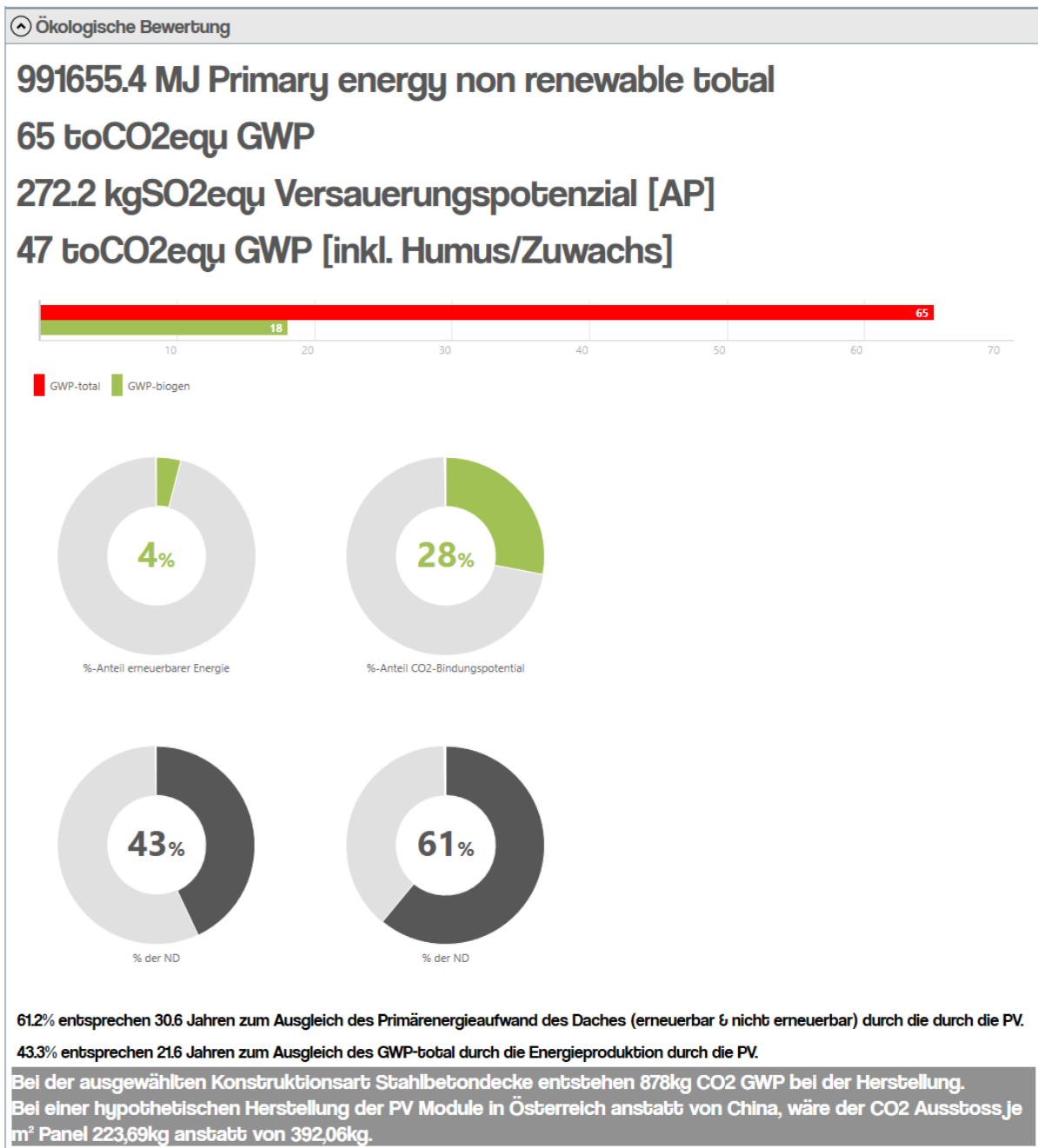


Abbildung 16: Darstellung des Indikators Ökologische Bewertung.

5.3.7. Biomimetische Strategien

Auf Grund der Schwierigkeiten biomimetische Strategien in ein parametrisches Modell zu übersetzen, erfolgt bei dem entsprechenden Kartenreiter nur der Verweis auf die verschiedenen Komponenten, die nachfolgend aufgelistet wurden:

Evolutionsstrategie

- Transdisziplinäre Bewertung der Indikatoren – Abwägen zwischen den einzelnen Systemkomponenten
- Wandelbarkeit in Varianten betrachten
- Zukünftige Nutzer:innen einbinden

Anpassen an Veränderungen

- Biodiversität der näheren Umgebung erheben
- Indikatoren in Relation zu zukünftigen klimatischen Bedingungen betrachten (z.B. Temperatur, Niederschlag, ...) – Resilienz des Systems
- Hohe Pflanzendiversität fördern
- Schnittstelle zur HKLS mitdenken

Lokal- und Bedarfsorientierung

- Jahreszeitliche Rhythmen von Wasseranfall (Niederschlag) und Energieverbrauch und -produktion berücksichtigen
- Architektonische Wirkung des Daches auf die Umgebung
- Produktionsfaktor: Einbindung von essbaren Bäumen: Apfelbäume, ...

Kopplung von Wachstum und Entwicklung

- Zusammenwirken von Komponenten erlauben (Wechselwirkungen der Systeme fördern)
- Modulare Systeme anwenden
- Erweiterbarkeit erlauben und fördern

Ressourceneffizienz

- Reduzierung von Energiebedarf, Temperatur, Druck oder Reaktionszeit in den Systemen
- Zusätzliche Funktionalität (Bsp. Photovoltaik mit Verschattung integriert, ...)
- Gründach mit Begrünung + Nutzbares Dach

Einsatz grüner Chemie

- Einsatz unschädlicher Materialchemie - gesamten Lebenszyklus betrachten
- So wenig wie möglich, pflanzlich basierte Düngemittel forcieren

5.4. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“ und Beitrag des Projekts zu den Gesamtzielen

Das Projekt leistet im Sinne des Programmes vor allem einen Beitrag zu dem Themenfeld 3. Innovative Begrünungstechnologien, da mit der Darstellung der Machbarkeit eines parametrischen Modells zur Beschreibung eines nachhaltigen Nutzdaches (Flachdach) schon in sehr frühen Planungsphasen, die positiven Wirkungen sowohl in Hinblick auf die Umwelt als auch auf das Energiemanagement gezeigt werden kann. Somit leistet das Modell einen Beitrag zur optimierten Energie- und Ressourceneffizienz und unterstützt auch strategische Ziele wie die Implementierung von nachhaltigen Energiesystemen (Photovoltaik) und die Reduktion der Klimawirkung (Gründach). Die Reinigung von Grauwasser und die Nutzung des Regenwassers stellt ebenfalls einen wesentlichen Beitrag für den zukünftig immer wichtiger werdenden Kreislaufwirtschaftsgedanken dar.

6 Schlussfolgerungen

In NaNu3 gelang es in enger Zusammenarbeit der verschiedenen direkt am Projekt beteiligten Expert:innen in co-kreativer Weise ein parametrisches Modell zu erstellen, das rasch, einfach und nach erfolgreichem 3D-Modell-Aufbau verschiedene Szenarien in Echtzeit und interaktiv mit den Bedarfsträger:innen erarbeiten und visualisieren kann. Im Zuge des Projektes wurden sowohl Potenziale für den Einsatz parametrischer Modelle als auch unterschiedliche Hindernisse und Einschränkungen deutlich.

Drei Schlüsselemente erwiesen sich als wesentlich:

1. Enger Austausch der am Projekt beteiligten Expert:innen, wobei ein wesentlicher Schwerpunkt auf das Verständnis des jeweils anderen Domänenwissens zu legen ist; erst mit diesem gegenseitigen Verständnis gelingt es die Zusammenhänge zwischen diesen entsprechend zu fassen und in das parametrische Modell einzubauen.
2. Regelmäßiger Zugriff durch entsprechende Interventionen wie Workshops und Onlinebefragungen sowie kleinere Feedbackrunden mit Expert:innen und Netzwerken, die nicht unmittelbar am Projekt beteiligt sind, um so auch die Außensicht verstärkt ins Projekt zu holen und näher an der praktischen Umsetzung zu sein.
3. Anwendung des parametrischen Modells bei realen Use-Cases und interaktive Szenarienentwicklung mit den Use-Case-Ownern. Diese Erfahrung hat wesentlich zur Verbesserung des parametrischen Modells beigetragen.

Die erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse fließen in die weitere Forschungstätigkeit der wissenschaftlichen Partner ein. Auch werden die Ergebnisse von den Projektteilnehmer:innen in diversen Vernetzungsaktivitäten und Normungs- und Standardisierungsaktivitäten einfließen.

Die mit dem Projekt angesprochenen Zielgruppen sind Planer:innen, Architekt:innen und Stadtplaner:innen, die sich schon in einer sehr frühen Planungsphase einen Überblick über die Möglichkeiten einer Flachdachgestaltung verschaffen und dies auch mit entsprechenden Zahlen (KPIs) hinterlegt wissen wollen.

Das parametrische Modell wurde im Rahmen verschiedener Verbandsaktivitäten von „Grün statt Grau“ während der Projektlaufzeit sowie im Oktober 2022 im Rahmen der IBA (Internationale Bauausstellung) im Oktober 2022 vorgestellt. Die Ergebnisse des Projektes wurden eine internationalen Fachpublikum im Rahmen der AquaUrbanica 2022 unter dem Titel „Optimierung des urbanen Wassermanagement durch parametrische Planung eines nachhaltigen Flachdaches“ präsentiert und im Konferenzband (Fink, et al. 2022) publiziert.

Aufgrund der positiven Resonanz und das gezeigte Interesse an einer weiteren Zusammenarbeit durch die Planer:innen bzw. Architekt:innen der verschiedenen Use-Cases kann auf einen höheren Sensibilisierungsgrad in Bezug auf nachhaltige und klimawirksame Umsetzungsprojekte ausgegangen werden und damit können schon in einer sehr frühen Planungsphase klimawirksame Weichen gestellt werden.

7 Ausblick und Empfehlungen

Die Entwicklung eines parametrischen Modells zur einfachen und raschen Visualisierung von Umsetzungsoptionen hat das Potenzial zur Übertragung des Ansatzes vom Flachdach auf Gebäude- und Quartiersebene. Damit einhergehend ist auch eine größere Komplexität, da deutlich mehr Domänen und Kompartimente (z.B. wie Energieproduktion, blau-grüne Infrastruktur, befestigter und unbefestigter Freiraum, Heiz- und Kühlpotenziale, Wassermanagement mit Retention und Grauwasseraufbereitung, Gründach und Grünfassaden, Freizeitraum und Mikroklima) miteinander zu verknüpfen sind, positive und negative Rückkopplungen zu berücksichtigen sind und die Wirkungen entsprechend abgestimmt werden müssen.

Das parametrische Modell auf Quartiersebene würde sich auch für ein Monitoring und Dokumentation in den verschiedenen Quartiersentwicklungsphase eignen und würde auch bei entsprechendem Vorliegen von Daten auch eine Projektion in die Zukunft zulassen.

Bevor ein Quartiersbezogenes parametrisches Modell in einem Demonstrationsvorhaben angewandt werden kann, müssen die erwähnten Domänen- und Kompartimentsgrenzen und -zusammenhänge in einem Projekt der Industriellen Forschung erarbeitet werden. Ein Demonstrationsvorhaben würde deutlich längere Projektzeiten aufweisen, da der Einsatz des Modells von einer frühen Planungsphase an bis hin zur tatsächlichen Implementierungsphase erfahrungsgemäß mehrere Jahre dauern kann.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Übersicht der Systemgrenzen innerhalb des Projektes.....	14
Abbildung 2: Konzept der NaNu3–Rahmenbedingungen, der ausgewählten Dachelemente sowie der Performanceindikatoren-Gruppen.....	14
Abbildung 3: Screenshot User-Interface parametrisches Modell.....	17
Abbildung 4: Darstellung der Rahmenbedingungen im User-Interface des NaNu3-Tools.....	19
Abbildung 5: Darstellung der Planungsparameter im User-Interface des NaNu3-Tools.....	20
Abbildung 6: Darstellung der Exportmöglichkeit der Szenarien-Einstellung.....	21
Abbildung 7: Darstellung der im NaNu3 parametrischen Modell eingepflegten Dachsysteme.....	21
Abbildung 8: Funktionsschema Gründach.....	22
Abbildung 9: Funktionsschema Wassermanagement.....	24
Abbildung 10: Funktionsschemata Photovoltaik.....	28
Abbildung 11: Schema der ökologischen Bewertung.....	29
Abbildung 12: Übersichtsauswertung Ökonomie.....	30
Abbildung 13: Übersichtsauswertung Mikroklima.....	30
Abbildung 14: Übersicht Wassermanagement.....	32
Abbildung 15: Darstellung des Indikators Energiehaushalt.....	33
Abbildung 16: Darstellung des Indikators Ökologische Bewertung.....	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der Rahmenbedingungen und der Auswahlmöglichkeiten über das User-Interface des NaNu3-Tools.....	18
Tabelle 2: Auflistung der Planungsparameter und der Auswahlmöglichkeiten über das User-Interface des NaNu3-Tools.....	20
Tabelle 3: Aufbau von extensiven Gründächern mit unterschiedlicher Substratstärke.....	23
Tabelle 4: Aufbau von intensiven Gründächern mit unterschiedlicher Substratstärke.....	23
Tabelle 5: Ziele des Nanu3-Projektes in Bezug auf das Regenwasser- und Grauwassermanagement.....	24
Tabelle 6: Gewählte Aufbauten für die Grauwasseraufbereitung.....	26
Tabelle 7: Im parametrischen Modell auswählbare Photovoltaik-Aufbauten.....	27
Tabelle 8: Beschreibung der Daten, welche im Rahmen des Projekts verwendet wurden.....	43
Tabelle 9: Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert wurden.....	44

Literaturverzeichnis

Aboelata A.: Assessing green roof benefits on buildings' energy-saving by cooling outdoor spaces in different urban densities in arid cities. *Energy*, 219, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119514>, 2021.

BMUB: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2011: Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB. 2011, http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/Erlaeuterungen_BNB-Tabelle_Nutzungsdauern_2011-07-07.pdf (geöffnet am 11.3.2022)

Bozovic R., Maksimovic Č., Mijic A., Smith K. M., Suter I., van Reeuwijk M.: Blue Green Solutions. A Systems Approach to Sustainable, Resilient and Cost-Efficient Urban Development. 10.13140/RG.2.2.30628.07046., 2017.

Browning, W.D., Ryan, C.O., Clancy, J.O.: 14 Patterns of Biophilic Design. New York: Terrapin Bright Green llc., 2014.

Clark C., Adriaens P., Talbot F. B.: Green Roof Valuation. A Probabilistic Economic Analysis of Environmental Benefits. *Environ.Sci.Techn.*,2008/42, 2155-2161, 2008.

Delegierte Verordnung (EU) .../... der Kommission vom 4.6.2021 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates durch Festlegung der technischen Bewertungskriterien, anhand deren bestimmt wird, unter welchen Bedingungen davon auszugehen ist, dass eine Wirtschaftstätigkeit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz oder zur Anpassung an den Klimawandel leistet, und anhand deren bestimmt wird, ob diese Wirtschaftstätigkeit erhebliche Beeinträchtigungen eines der übrigen Umweltziele vermeidet, 2021.

Donatello S., Dodd N., Cordella M. Level(s) indicator 2.1: Bill of Quantities, materials and lifespans user manual: introductory briefing, instructions and guidance (Publication version 1.1). 2021.

https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12302-Climate-change-mitigation-and-adaptation-taxonomy#ISC_WORKFLOW (abgerufen am 9.September 2022)

Ecoinvent v2.2 und v3.8 Ecoinvent database, Zürich 2017.

EN 15804:2019+A2 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Comité Européen de Normalisation. Brüssel.

<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj> (abgerufen am 9.September 2022)

EU: Making our homes and buildings fit for a greener future. Factsheet Buildings. European Union doi:10.2775/25443, 2021.

EU DG Research and Innovation: Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities' (full version), https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc_id=10195, (abgerufen am 9. September 2022), 2015.

Fassbinder H.: Ein Biotope-City-Quartier für Wien. Zusammenfassung des Konzepts zur Verbesserung des urbanen Lebens in 10 Punkten. https://biotope-city.com/de/2019/10/21/artikel_hf0002-de/, 2019 (abgerufen 2019).

Fink T., Kinner P., Jung M., Haymerle I.: Optimierung des urbanen Wassermanagement durch parametrische Planung eines nachhaltigen Flachdaches"; in: "Grün statt grau.» Mit Blau-Grünen Infrastrukturen gemeinsam die Siedlungsentwässerung der Zukunft planen", A. Disch, J. Rieckermann (Hrg.); Eawag, Abteilung für Siedlungswasserwirtschaft, 2022, S. 71 - 79.

Goetzberger A., Zastrow A.: Coexistence of Solar Energy and Plants. Int. J. Solar Energy, 1, 55-69, 1982.

Gosh S., Vanni I., Giovanageli A.: 10 Social Aspects of Institutional Rooftop Gardens. in: Wilkinson, S. & Dixon, T. (Eds., 2016) - Green Roof Retrofit: Building Urban Resilience. - Wiley-Blackwell, 288 pp. ISBN: 978-1-119-05560-0., 2016.

Manso M., Castro-Gomes J: Green wall systems: A review of their characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 863–871, 2015.

Mitteilung der Organe, Einrichtungen und sonstige Stellen der Europäischen Union 2021/C 58/1, Bekanntmachung der Kommission, Technische Leitlinien für die Anwendung des Grundsatzes der „Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen“ im Rahmen der Verordnung zur Einrichtung einer Aufbau- und Resilienzfazilität, 18.2.2021.

ÖNORM B 2505 2009 Kläranlagen - Intermittierend beschickte Bodenfilter ("Pflanzenkläranlagen") - Anwendung, Bemessung, Bau, Betrieb, Wartung und Überprüfung.

ÖNORM L 1111:2019 Gartengestaltung und Landschaftsbau - Technische Ausführung.

ÖNORM L 1112:2010 09 01 Anforderungen an die Bewässerung von Grünflächen

ÖNORM L 1131:2010 Gartengestaltung und Landschaftsbau – Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken. Anforderungen an Planung, Ausführung und Erhaltung. Österreichisches Normungsinstitut. Wien.

ÖNORM S 2073:2019 Deponien - Geosynthetische Kunststoffdichtungsbahn (GBR-P) - Anforderungen an das Produkt und dessen Verlegung.

Raymond C. M., Berry P., Breil M., Nita M. R., Kabisch N., de Bel M., Enzi V., Frantzeskaki N., Geneletti D., Cardinaletti M., Lovinger L., Basnou C., Monteiro A., Robrecht H., Sgrigna G., Munari L., Calfapietra C. (2017): An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-based Solutions Projects. - Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, United Kingdom, 2017.

Sattler S., Zluwa I., Osterreicher D.: The "PV Rooftop Garden": Providing Recreational Green Roofs and Renewable Energy as a Multifunctional System within One Surface Area. APPL SCI-BASEL. 2020; 10(5), 1791 doi: 10.3390/app10051791, 2020.

Stadtentwicklung Wien: Leitbild Grünräume Wien. Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 18 - Stadtentwicklung und Stadtplanung, Wien, Juni 2020

Verordnung (EU) 2020/852 des europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088

ZAMG (2022): <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/massive-zunahme-an-hitzetagen> (abgerufen am 9.September 2022)

Zluwa, I: Photovoltaic Rooftop Gardens - a building integrated, space-saving solution for energy production, rainwater storage and human well-being. European Geosciences Union General Assembly, Wien, APR 7-12, 2019; In: European Geosciences Union (ed.), Geophysical Research Abstracts Vol. 21, 2019.

9 Anhang

9.1. Data Management Plan (DMP)

1: Datenerstellung und Dokumentation

Tabelle 8: Beschreibung der Daten, welche im Rahmen des Projekts verwendet wurden.

Beschreibung	Typ	Art	Quelle	Zugang	Link
<u>Planunterlagen</u>	CAD-Files	Planunterlagen	Architekten/Planer	nicht öffentlich	
<u>Datenbank für Bauprodukte</u>	Datenbank	Energie- und Ökologiekennzahlen von Bauprodukten	baubook GmbH	Öffentlich/nicht öffentlich	https://www.baubook.info
<u>Klimadaten</u>	Numerisch	ASCII-Tabelle mit Werten zu: Diffuse solar on the horizontal, External dry bulb temperature, Direct normal solar intensity, Prevailing wind speeds, Wind direction, Relative humidity	Climate.onebuilding.org	Öffentlich	https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/AUT_Austria/KA_Carinthia/AUT_KA_Villach.112130_TMYx.2004-2018.zip https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/AUT_Austria/WI_Vienna/AUT_WI_Wien-Innere.Stadt.110340_TMYx.2004-2018.zip
<u>3D-Gebäudemodelle (LoD1 und LoD2)</u>	Shp oder dxf	Gebäudegeometrien	Gemeinde Wien	Öffentlich (Wien)	https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public/start.aspx
<u>Daten zur Grauwasseraufbereitung durch bepflanzte Bodenfilter</u>	Numerisch	Geometrie, Mächtigkeiten, Volumina	...	nicht öffentlich	-
<u>Gründachperformance</u>	Numerisch				https://www.baudokumentation.ch/m10/78/41121178/etc/91/43286691.pdf
<u>Bemessungsniederschlag</u>	Numerisch	Rechnerischer	BMLRW	öffentlich	https://ehyd.gv.at/

Beschreibung	Typ	Art	Quelle	Zugang	Link
		Bemessungs niederschlag			
<u>Mittlerer Jahresniedersch lag</u>	Numerisch	Historische Zeitreihen und gleitende Mittelwert	BMLRW	öffentlich	https://ehyd.gv.at/

Tabelle 9: Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert wurden

ID	Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
1	Szenarioergeb- nisse	Numerisch/Te xt; ASCII oder Excel	Performance analyseergeb nisse	AIT	nicht öffentlich
2	Szenarioergeb- nisse	Grafisch, jpg oder tiff oder png	Performance analyseergeb nisse	AIT	nicht öffentlich
3	Rhinocode	Scripte	Algorithmen zur Auswertung	AIT	nicht öffentlich
4	3D-Gebäude- modelle	LoD1	Einfache 3D Gebäude- darstellung durch Extrudieren der Grundfläche	AIT	nicht öffentlich
5	Evapotrans- piration	Numerisch	Umgerechne te Klimadaten (nach Haude)	AIT	nicht öffentlich
6	Abwasserentsor- gung - Kosten je Liter Wien	Numerisch	Empirische Abschätzung	AIT	nicht öffentlich
7	Kostenrange Trinkwasser je Liter Wien	Numerisch	Empirische Abschätzung	AIT	nicht öffentlich
8	Abwasseranfall	Numerisch	Empirische Abschätzung basierend auf Literaturzitat en	AIT	nicht öffentlich
9	Flächenbedarf für bepflanzte Bodenfilter pro EW	Numerisch	Empirische Abschätzung basierend auf Literaturzitat en	AIT	nicht öffentlich

ID	Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
10	Bewertungsklassifizierungen und Abschätzungen für Biodiversität, Mikroklima, Energiehaushalt, Ökonomie, Ökologische Bewertung, Wassermanagement, Aufbauten, Bewässerungsbedarf, Niederschlag	Numerisch	Berechnet aus Klimadaten bzw. empirisch abgeschätzt oder klassifiziert	AIT	nicht öffentlich

Die Daten liegen auf Grund der kurzen Projektlaufzeit in Form von Exceltabellen mit verschiedenen Kartenreitern vor. Innerhalb dieser Tabelle werden die Quellen der Daten genannt. Alle nicht näher bezeichneten Daten sind von dem Projektteam empirisch in Workshops erarbeitet worden. Zugriff zu diesen Informationen haben nur explizit eingeladene Projektmitglieder. Eine Beschreibung in Form von Metadaten war nicht vorgesehen, würde im Falle eines weiterführenden Projektes in eine entsprechende Datenbanklösung überführt.

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Die in NaNu3 verwendeten Datengrundlagen unterliegen keinen ethischen Einschränkungen. Da keine personenbezogenen Daten verarbeitet wurden. Einzig die von Planer:innen und Architekt:innen zur Verfügung gestellten Plänen unterliegen dem Urheberrecht; die Weiterverwendung bzw. Nutzung der Planungsunterlagen für Disseminationszwecke oder Publikationen wurde jeweils bei den Urheberrechtinhaber:innen nachgefragt und auf Wunsch wurden die Lokalität entsprechend anonymisiert.

3: Datenspeicherung und -erhalt

Alle gemeinsam genutzten, verarbeiteten und operativen Daten des Konsortiums werden in sicheren Umgebungen an den Standorten der Konsortialpartner gespeichert, wobei die Zugriffsrechte auf die jeweiligen Projektpartner beschränkt sein werden. Jeder Partner, der Daten kontrolliert oder verarbeitet, ist für die Verwaltung der Daten gemäß den geltenden Sicherheits- und Datenschutzrichtlinien verantwortlich. Einzelheiten zu den institutionellen Datensicherheitsvorkehrungen (einschließlich der Wiederherstellung von Daten, der sicheren Speicherung/Archivierung und der Übertragung sensibler Daten) werden in einer späteren Version dieses DMP zusammengestellt. Es war nie vorgesehen, die in NaNu3 verwendeten Daten zentral zu speichern oder zu verwalten.

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Jeder Partner verwaltet die erhobenen Daten selbst, nur die unmittelbar für das Projekt erstellten oder abgeleiteten Daten werden auf einen gemeinsamen sharepoint gehostet. Diese Daten liegen auf Grund der kurzen Projektlaufzeit in Form von Exceltabellen mit verschiedenen Kartenreitern vor. Innerhalb dieser Tabelle werden die Quellen der Daten genannt. Alle nicht näher bezeichneten Daten sind von dem Projektteam empirisch in Workshops erarbeitet worden. Zugriff zu diesen Informationen haben nur explizit eingeladene Projektmitglieder.

