eco+

Forschungsbericht

ECO+

Auf dem Weg zu positven Umweltwirkungen von Quartieren

Gefördert durch:

DBU

Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Aktenzeichen 38108/01-25

BAYERISCHE BAUWIRTSCHAFT

Stiftung Bayerisches Baugewerbe

Praxispartner:

ökoBau

Forschungspartner:

Hochschule Bochum
Bochum University
of Applied Sciences

Technische Universität München

Impressum

Autor:innen

Michael Vollmer[1]
Kathrin Theilig[1]
Werner Lang[1]
Christoph Fleckenstein[2]

Friederike Well[2]
Ferdinand Ludwig[2]
Gavin Hope[3]

Nurcan Akca[3]
Jutta Albus[3]
Andreas Wittmann[4]
Kristian Branz[4]

Studentische Hilfskräfte

Alina Amelunxen[1]
Sarah Rösler[2]
Chen Chang[2]
Lisa Röer[3]

Projektlaufzeit

Oktober 2022 bis Dezember 2024

Forschungsstellen

[1]Technische Universität München
Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen
Prof. Dr.-Ing. Werner Lang
Arcisstraße 21, 80333 München

[2]Technische Universität München
Professur für Green Technologies in Landscape Architecture
Prof. Dr.-Ing. Ferdinand Ludwig
Arcisstraße 21, 80333 München

[3]Hochschule Bochum
FB Architektur
EKNB – Entwerfen und Konstruieren. Nachhaltiges Bauen
Prof. Dr.-Ing. Jutta Albus
Am Hochschulcampus 1, 44801 Bochum

Kooperationspartner

[4]Öko Bau Dipl.-Ing. (FH) B. Wittmann GmbH
Mühlweg 2. 96123 Litzendorf

Layout

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH

Förderung

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Aktenzeichen 38108/01-25

BAYERISCHE BAUWIRTSCHAFT

Gefördert durch die Stiftung Bayerisches Baugewerbe

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **III**
Tabellenverzeichnis ..... **V**
Zusammenfassung ..... **VI**
1. Einleitung **1**
1.1. Problemstellung 1
1.2. Umweltrelevanz 1
1.3. Untersuchungsrahmen 3
1.4. Fragestellung und Zielsetzung 3
2. Grundlagen positives Bauen **6**
2.1. Ausgangssituation 6
2.2. Handlungsfelder 7
3. Methodisches Vorgehen **10**
3.1. Research by Design 10
3.2. Fallbeispiel 12
4. Entwurfsvorbereitung (Pre-Design) **13**
4.1. Definition und Bewertungskriterien 13
4.2. Konkretisierung der Zielsetzungen für das Fallbeispiel 13
5. Iterativer Entwurfsprozess (Design) **15**
5.1. Städtebaulich-architektonische Entwurfsstudien 15
5.2. Gesellschaft 17
5.3. Energie 25
5.4. Material 29
5.5. Grün 33
5.6. Wasser 37
5.7. Mobilität 40
6. Erkenntnisse und Produkte (Post-Design) **45**
6.1. Schlüsselerkenntnisse aus dem Entwurfsprozess 45
6.2. Überprüfung von Übertragbarkeit und Umsetzbarkeit 48
6.3. ECO+ Produkte 49
7. Fazit **50**
Literatur **53**
Anlagen **62**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beeinflussbare UN-Nachhaltigkeitsziele (SDGs) durch den Bausektor (eigene Darstellung basierend auf [Gou19]..... 2

Abbildung 2 Darstellung und Einordnung der Ziele im Forschungsprojekt..... 4

Abbildung 3 Schematische Darstellung und Einordnung von ECO+ basierend auf [MR17] . 6

Abbildung 4 Handlungsfelder für positives Bauen im Forschungsprojekt ECO+ (eigene Darstellung) 8

Abbildung 5 Methodisches Vorgehen im Forschungsprojekt ECO+..... 11

Abbildung 6 Lage des Baugrundstücks in Debring bei Bamberg (gelb umrandet)..... 12

Abbildung 7 Finaler Stand der Entwurfsvariante V1 16

Abbildung 8 Finaler Stand der Entwurfsvariante V2 17

Abbildung 9 Vergleich der Lebenszykluskosten für die analysierten Entwurfsvarianten..... 22

Abbildung 10 Auswahlstufen für Mietmodelle (eigene Darstellung angelehnt an Schichtenmodell nach Steward Brand [Bra94]) 23

Abbildung 11 Darstellung der beiden Simulationsmodelle für die Varianten V1 (links) und V2 (rechts)..... 26

Abbildung 12 Sensitivitätsanalyse zu ausgewählten Gebäudeparametern und deren Einfluss auf das Treibhauspotenzial 27

Abbildung 13 Darstellung einer ausgewählten Entwurfsvariante hinsichtlich den empfundenen Außenraumtemperaturen (UTCI) [Lüt24]..... 29

Abbildung 14 Nutzwerte der finalen Entwurfsvarianten V1 und V2 32

Abbildung 15 Treibhauspotenzial (GWP) für verschiedene Gründungsvarianten und Bauweisen, dargestellt für Entwurfsvariante V1..... 33

Abbildung 16 Entwurfsvarianten V1 (links) und V2 (rechts)..... 34

Abbildung 17 Bewertung des Biotopbestands des Projektgebietes nach der Ökokonto-Verordnung Baden-Württemberg 35

Abbildung 18 Vergleich von Fassadenbegrünungen mit Baumfassaden (Entwurf V1a) und Kletterpflanzen (Entwurf V1b) 25 Jahre nach Herstellung.....36

Abbildung 19 Vergleich der Entwicklung der Ökopunkte über 25 Jahre nach Herstellung von Entwurfsvariante V1 (links) und V2 (rechts) sowie Bilanzierungsvergleich zwischen Bestand und Planung 37

Abbildung 20 Vergleich der Wasserbilanzierungen für ein Kalenderjahr des Bestands und der Entwurfsvarianten V1a, V1b und V2.....40

Abbildung 21 Optimierter Planungsablauf für positives Bauen basierend auf dem Forschungsprojekt ECO+.....45

Abbildung 22 ECO+ Entwurfswerkzeug, Kriterienkatalog und Fallbeispiel: Anwendung in Bauprojekten 49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Mittels thermischer Simulationen untersuchte Parameter 25

Tabelle 2 Analysierte Kriterien..... 30

Tabelle 3 Durchschnittlicher Trinkwasserverbrauch pro Person in Deutschland (Stand 2021) 39

Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt „ECO+: Auf dem Weg zu positiven Umweltwirkungen von Quartieren“ wurde untersucht, wie nachhaltiges Bauen nicht nur negative Umweltauswirkungen reduzieren, sondern auch positive Effekte auf Ökosysteme erzielen kann. Ausgangspunkt des entwurfsbasierten Forschungsprojekts war die geplante Umsetzung eines Praxisprojekts in Debring bei Bamberg.

Zielsetzung: Das Hauptziel des Projekts war es, Strategien für das Bauen mit positiven Umweltwirkungen im Rahmen von bezahlbaren Wohnungsneubauten zu entwickeln und anzuwenden. Hierzu wurde an einem Praxisprojekt untersucht, wie Quartiere mit einem ganzheitlichen Ansatz nach ökologischen, aber auch sozialen und ökonomischen Gesichtspunkten positiv umgesetzt werden können. Weitere Ziele umfassten die Entwicklung von Entwurfsparametern, Planungs- und Umsetzungsstrategien sowie Bewertungsmethoden in den Handlungsfeldern Gesellschaft, Energie, Material, Grün, Wasser und Mobilität.

Erkenntnisse: Das Forschungsprojekt ECO+ zeigt, dass positives Bauen machbar ist, jedoch ein Umdenken und angepasste Planungsansätze erforderlich sind. Iterative und integrierte Planungsansätze sind notwendig, um die Komplexität und Anforderungen an Bauprojekte zu bewältigen. Frühzeitige Gespräche mit der kommunalen Verwaltung und die Einbindung aller Beteiligten sind entscheidend. Zur Schaffung von sozialem Mehrwert und nachhaltigem Lebensraum müssen vielfältige Kriterien in den Bereichen Energie, Material, Wasser und Grün beachtet werden. Die Materialien sollten schadstofffrei und kreislauffähig sein, und ein hoher Anteil an nachwachsenden Rohstoffen ist anzustreben. Eine vollständig erneuerbare Energieversorgung, effiziente Nutzung und Wiederverwendung von Wasserressourcen sowie die Integration blauer und grüner Infrastruktur von Beginn an sind essenziell. Die Entwicklung eines nachhaltigen Mobilitätskonzepts ist elementarer Baustein zur Erreichung positiver Umweltwirkungen.

Ergebnisse: Es wurden drei Dokumente für die weitere Anwendung von ECO+ entwickelt, die als Grundlage für die praktische Umsetzung von ECO+ dienen und zur nachhaltigen Transformation des Bauwesens beitragen können:

- ECO+ Entwurfswerkzeug
- ECO+ Kriterienkatalog
- ECO+ Fallbeispiel

Die Dokumente sind diesem Bericht als Anlage angehängt und können separat unter den hinterlegten DOI-Links heruntergeladen werden.

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Die globalen Auswirkungen der Bauwirtschaft auf die Umwelt sind enorm und zeigen sich deutlich in den Dimensionen Klimawandel, Biodiversitätsverluste und sozio-ökonomische Ungleichheit [Uni21]. Zukunftsfähige Gebäude sollten negative Wirkungen auf Ökosysteme nicht nur reduzieren, wie es beispielsweise mit gängigen Energieeinsparmaßnahmen angestrebt wird. Vielmehr sollten möglichst positive Wirkungen auf Ökosysteme erzielt werden, während zugleich auf die Bedürfnisse der Nutzer:innen eingegangen wird [CDP+17; MR13; Bir08; BK16]. Damit können Gebäude und die gebaute Umwelt als Chance für die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft verstanden werden [SB21-ol].

Die notwendige Transformation im Bauwesen umfasst dabei nicht nur Materialien, Fertigungstechniken und Multifunktionalität der Nutzung, sondern auch vermehrt den Wasserhaushalt, die Biodiversität und die damit einhergehenden Planungsprozesse [LWM+21]. Ein erhöhtes Bewusstsein für die gesellschaftliche Diversität, die Berücksichtigung von Belangen unterschiedlicher Personengruppen und der demographische Wandel erweitern zusätzlich die Planungsaufgabe. Aufgrund der bislang verbreiteten linearen Planungsprozesse mit einer vordefinierten Abfolge von Arbeitsschritten und Leistungsphasen stehen Konzepte für iterative und integrierte Planungsprozesse nur vereinzelt zur Verfügung [COL; Rog16; WL21]. Die Anzahl an relevanten Parametern für positives Bauen erhöht zudem die Komplexität und die Anforderungen an Bauprojekte und stellt Planungsbeteiligte vor neue Herausforderungen. Angepasste Planungsansätze sind erforderlich, um Projekte lebenszyklusbasiert mit positiver Wirkung auf Umwelt und Gesellschaft umzusetzen [WL21].

1.2. Umweltrelevanz

Die Europäische Union sieht in der aktuellen Klimakrise die größte Herausforderung für die heutige Generation [Eur20]. Der enorme Stellenwert des Bausektors zeigt sich daran, dass dieser für etwa 38 % der weltweiten energiebedingten CO_2-Emissionen verantwortlich ist [Uni21]. Darüber hinaus ist der Bausektor in Europa für circa 50 % des gesamten Materialverbrauchs und etwa 35 % des Abfallaufkommens verantwortlich [Eur22-ol]. Um dem Klimawandel entgegenzuwirken, wurden auf globaler Ebene konkrete Klimaschutzziele und 17 Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals – SDGs) definiert. Diese mündeten auf nationaler Ebene in das deutsche Klimaschutzgesetz, den Klimaschutzfahrplan 2050 und das Klimaschutzprogramm 2030. Für den Bausektor gilt hierbei das baurechtlich eingeführte Gebäudeenergiegesetz (GEG), welches das auf europäischer Ebene definierte Ziel von

Niedrigstenergiegebäuden auf nationaler Ebene umsetzt. Allerdings beeinflusst der Bausektor weit mehr SGDs, siehe Abbildung 1.

Abbildung 1 Beeinflussbare UN-Nachhaltigkeitsziele (SDGs) durch den Bausektor (eigene Darstellung basierend auf [Gou19]

Gemäß der Deutschen Umwelthilfe e. V. und der Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv) liefert das GEG keine nennenswerten Beiträge zum Klimaschutz [Deu19-ol; Ver20-ol]. Die zu geringen Anforderungen werden scharf kritisiert und höhere Mindestanforderungen gefordert. Weitere Aspekte, die beim GEG noch gänzlich missachtet werden, sind die Lebenszyklusbetrachtung von Baumaßnahmen sowie der ressourceneffiziente Einsatz von Baumaterialien. In Bezug auf die Umweltrelevanz werden hierbei entscheidende Emissionen und Umweltwirkungen durch die Errichtung des Gebäudes, Austausch und Rückbau von Materialien, Bauteilen und Komponenten der Technischen Gebäudeausrüstung vernachlässigt.

Besonders der fehlende Bezug zum Umweltschutz im Gebäudesektor stellt ein enormes Problem dar. Beispielsweise stellte das Umweltbundesamt fest, dass sich insbesondere Luftschadstoffe negativ auf die Biodiversität von terrestrischen Ökosystemen auswirken. Die fehlende Betrachtung zeigt sich anhand der definierten Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt aus dem Jahre 2007 und der Konvention über die Biologische Vielfalt der Vereinten Nationen [Bun15; Uni20]: Aus den insgesamt 20 definierten Zielen für 2020 wurden 14 nicht erfüllt, 6 teilweise und keines vollständig. In einer Stellungnahme des Naturschutzbundes (NABU) wird konstatiert, dass ein Grundproblem im falschen Einsatz von Steuergeldern liege [Nat22-ol]. Des Weiteren formuliert der NABU folgende Empfehlungen in Bezug auf den Bausektor:

- Städte und Infrastruktur: Förderung „grüner Infrastruktur“: Raum für die Natur in gebauten Landschaften für mehr Gesundheit und Lebensqualität und einen geringeren ökologischen Fußabdruck von Städten und Infrastruktur
- Klimamaßnahmen: naturbasierte Lösungen für den Klimawandel, rascher Ausstieg aus der Nutzung fossiler Brennstoffe
- Süßwasser: ein integrierter Ansatz zur Gewährleistung der nötigen Wasserflüsse und Wasserqualität, Schutz kritischer Lebensräume, [...] Verbindung von Ökosystemen, Wiederherstellung von Süßwassersystemen

1.3. Untersuchungsrahmen

Im Forschungsprojekt *ECO+: Auf dem Weg zu positiven Umweltwirkungen von Quartieren* diente ein die geplante Umsetzung eines Praxisprojekt in Debring bei Bamberg als Grundlage für einen entwurfsbasierten Forschungsprozess . Detaillierte Angaben zum Praxisprojekt sind in Kapitel 3.2 dargestellt. Es wurde erforscht, wie heutige Strategien für zukunftsorientiertes, nachhaltiges Bauen in den Handlungsfeldern Gesellschaft, Energie, Material, Grün, Wasser und Mobilität weiterentwickelt und im Sinne von positivem Bauen ergänzt werden können. Vor dem Zielkonflikt Ökologie-Ökonomie wurden insbesondere die Planungsprozesse detailliert analysiert. Durch frühe Gespräche mit der Gemeinde wurden Stellschrauben und Fallstricke identifiziert und Lösungswege aufgezeigt, wie Bauen mit positiven Umweltwirkungen unter Kostendruck dennoch möglich sein kann. Der Anspruch im Praxisprojekt war zudem der, dass das Projekt nicht über den Zeitraum der Kreditrückzahlung als Investition verstanden und keine reine Renditeoptimierung angestrebt wird. Vielmehr versteht sich das Praxisprojekt als ganzheitliches Pilotprojekt auch für zukünftige Generationen.

1.4. Fragestellung und Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel des Forschungsprojekts bestand darin, aufzuzeigen, wie Umsetzungsstrategien für Bauen mit positiven Umweltwirkungen im Rahmen von bezahlbaren Wohnungsneubauten angewandt werden können. Damit soll ein Beitrag zur Beschleunigung der Nachhaltigkeitstransformation im Bauwesen zu einer Branche mit möglichst positiven Umweltwirkungen geleistet werden.

Das Forschungsprojekt umfasste folgende untergeordnete Ziele:

- Entwicklung einer gemeinsamen Definition und Umsetzungsstrategie von ECO+ im Sinne der gesamtheitlichen, aufeinander abgestimmten Betrachtung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Faktoren

- Entwicklung von Entwurfsparametern und Kenngrößen auf Basis der definierten Grundlagen
- Entwicklung von konkreten Planungs- und Umsetzungsstrategien sowie Bewertungsmethoden der sechs genannten Handlungsfelder
- Integration der Umsetzungsstrategien in den Planungsprozess und Übertragbarkeit auf weitere Bauprojekte

Um den Wissenstransfer zwischen Forschung und Baupraxis zu gewährleisten, gliederte sich das Forschungsprojekt an ein Praxisprojekt an (siehe Kapitel 3.2). Das Praxisprojekt verfolgt folgende Ziele:

- Umsetzung von bezahlbarem Wohnraum unter Berücksichtigung von Umsetzungsstrategien zum positiven Bauen
- Entwicklung eines innovativen, sozio-ökologischen Mobilitätskonzeptes
- Schaffung eines leicht nachahmbaren Beispiels, um damit die weit verbreiteten Narrative „Nachhaltig ist zu teuer“ und „Bauen mit positiver ökologischer Auswirkung ist nicht möglich“ aufzubrechen und so zur sozial-ökologischen Transformation beizutragen

Die genannten Ziele des Forschungsprojekts sowie die Anbindung an das Praxisprojekt sind in Abbildung 2 darstellt.

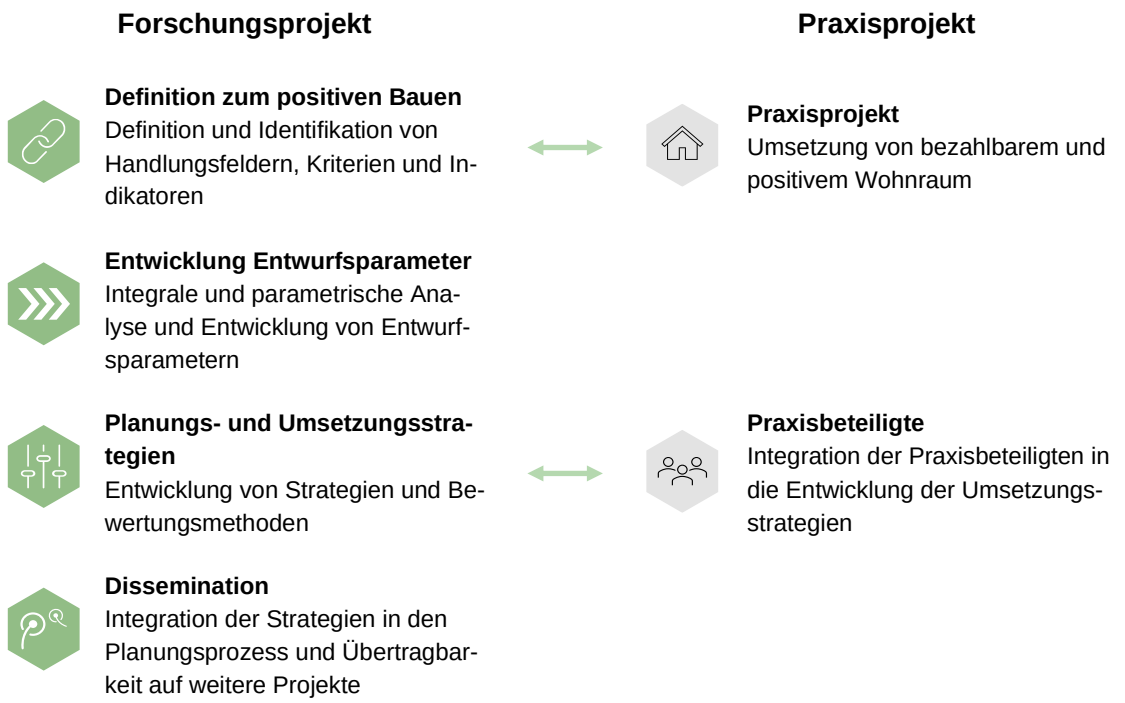

Abbildung 2 Darstellung und Einordnung der Ziele im Forschungsprojekt

Im Rahmen der Begleitforschung wurde anhand der Entwicklung eines kleinen Quartiers im ländlichen Raum untersucht, wie bestehende Umsetzungsstrategien zum positiven Bauen,

beispielsweise gemäß Regenerative Design [CDP+17] oder Cradle to Cradle [BMB07], im bezahlbaren Wohnraum umgesetzt und der ökologische Wandel im Bauwesen beschleunigt werden kann. Hierzu wurden konkrete Umsetzungsstrategien in den Handlungsfeldern Gesellschaft, Energie, Material, Grün, Wasser und Mobilität identifiziert. Das zentrale Ziel des Praxisprojekts ist es trotz steigender Baukosten, Bodenpreise und Inflation bezahlbaren Wohnraum mit ökologischen und solzielen Wirkungen zu schaffen. Dabei liegt der Fokus bewusst auf einem Modellprojekt, das die Baukostenobergrenzen für sozial geförderten Wohnraum einhält und sich leicht auf andere Bauvorhaben übertragen lässt.

2. Grundlagen positives Bauen

2.1. Ausgangssituation

Der aktuelle Stand der Forschung im Gebäudesektor zeigt, dass bisher überwiegend der Effizienzgedanke im Fokus steht, d. h. den Energie- und Materialbedarf zu minimieren und negative Umweltwirkungen zu verringern. Angesichts der drängenden Herausforderungen durch den Klimawandel und dem Umstand, dass durch diesen Ansatz eine weitere Verschlechterung des Zustands unserer Ökosystem nur verlangsamt, aber nicht gestoppt werden kann, ist er als nicht ausreichend anzusehen. Vielmehr ist ein Umdenken hin zu einem positiven Bauen, das einen aktiven Beitrag zur ökologischen Regeneration leistet, dringend erforderlich. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass in Summe positive Wirkungen nur dann erreicht werden können, wenn nicht vermeidbare negative Umweltwirkungen minimiert werden – der Effizienzansatz wird nicht ersetzt, sondern ergänzt.

Im Forschungsprojekt ECO+ wird der konventionelle Ansatz der reinen Effizienzsteigerung weitergedacht hin zum regenerativen bzw. positiven Bauen. „Regenerative Design“ beschreibt einen ganzheitlichen ökologischen Denk- und Designansatz, der nicht nur die Wiederherstellung von Ökosystemen zum Ziel hat, sondern auch deren aktive Unterstützung und Weiterentwicklung fördert (Abbildung 3) [MR17].

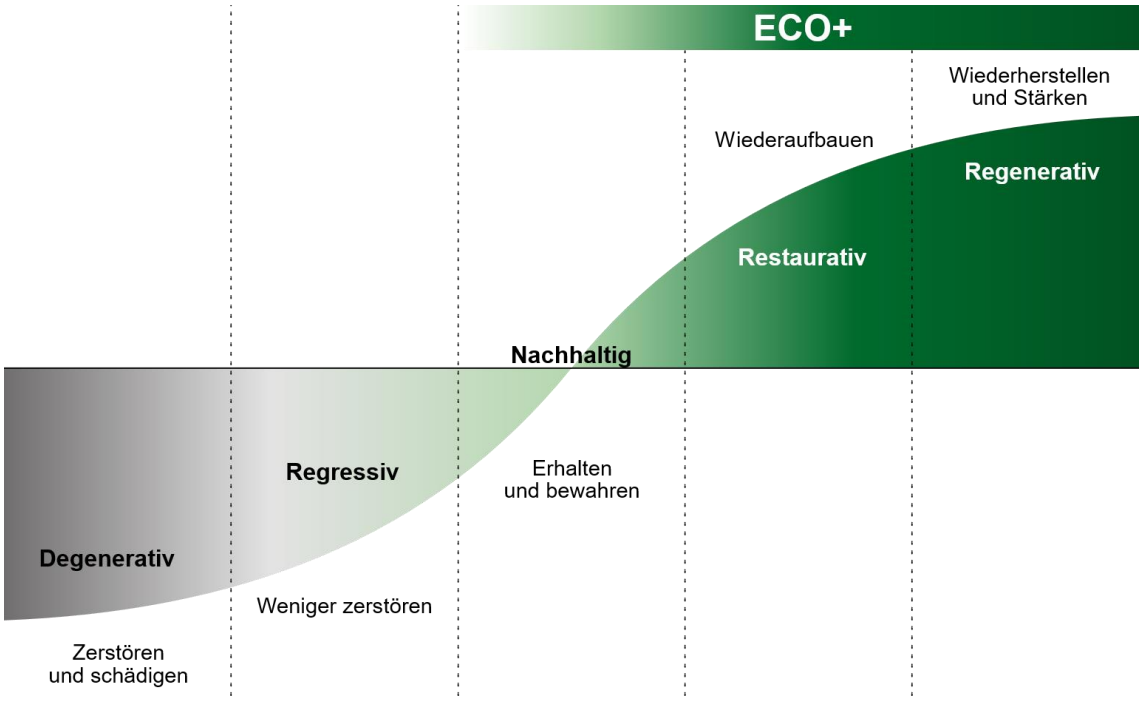

Abbildung 3 Schematische Darstellung und Einordnung von ECO+ basierend auf [MR17]

Initiativen wie das „New European Bauhaus“ reagieren auf die gesellschaftlichen und politischen Forderungen nach einer neuen Baukultur [Eur21-ol; Eur19-ol; Deu19b; Süd21-ol;

Hum21] und sind geprägt von einer lebenszyklusbasierten, ökologischen Bauweise. Ansätze wie das Cradle to Cradle Designkonzept, die Arbeiten der Ellen MacArthur Foundation (Circular Economy) sowie die Forderungen der Initiative „Bauhaus der Erde" gehen hier weiter: Gebäude generieren hierbei Mehrwerte für Mensch und Natur und verschwenden nicht unnötig Ressourcen [Hum21; PDB+19; Ell20; BMB07; MBH13; MB03]. Für Gebäude gibt es bereits Planungshilfen, wie beispielsweise „Creating buildings with positive impacts" [MBH13]. Des Weiteren sind einige Forschungs- bzw. Leuchtturmprojekte wie das „nexus-haus" [SLD+17] oder die „Woodscraper" [Deu19a] bereits umgesetzt. Weitere punktuelle Lösungsansätze, um Barrieren für positives Bauen in sozio-kultureller, technologischer, ökonomischer und rechtliche Hinsicht [GM07; AMH+13] zu überwinden, liefern Forschungsprojekte wie „Buildings as Material Banks (BAMB)" [CFL+19], „Bauen mit WEITBLICK" [LW] sowie „einfach bauen" [JNN18; JNF+21]. Diese beziehen sich jedoch auf einzelne Gebäude.

Im Gegensatz dazu fehlt es an umfassenden Konzepten, die das Prinzip des positiven Bauens auf Quartiersebene ermöglichen. Angesichts des drängenden Bedarfs an bezahlbarem Wohnraum und der Nutzung von Potenzialen der Nachverdichtung bestehender Siedlungsstrukturen, ist es unerlässlich, auch für ganze Quartiere ganzheitliche Ansätze zu entwickeln.

Ein Ansatz für positives Bauen auf Quartiersebene muss daher über den Neubau auf der grünen Wiese hinausgehen. Er sollte vom Zustand der lokalen Ökosysteme und Freiräume ausgehen sowie bestehende Gebäude und Infrastrukturen einbinden, um nachhaltige und resiliente Stadtstrukturen zu fördern. Dabei gilt es, nicht nur die ökologischen, sondern auch die sozialen und ökonomischen Aspekte zu berücksichtigen. Quartiere müssen so gestaltet werden, dass sie die Interaktion zwischen Menschen und Natur unterstützen und Ressourcen in nachhaltigen Kreisläufen halten.

2.2. Handlungsfelder

Aus der Analyse von bestehenden Konzepten wie der Living Building Challenge [Int24], der Veröffentlichung „Regenerative and Positive Impact Architecture" von Attia [Att18], den Handlungsempfehlungen der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. [Ver21] sowie den Forderungen der Initiativen Architects for Future [Arc24-ol] und Cradle to Cradle [NCC24b-ol] lassen sich sechs Handlungsfelder ableiten: Gesellschaft, Energie, Material, Grün, Wasser und Mobilität. Dabei kann unterschieden werden in Umweltwirkungen auf Quartiersebene (Handlungsfelder Energie, Material, Grün, Wasser) und gesellschaftliche Wirkungen (Handlungsfelder Gesellschaft und Mobilität), siehe Abbildung 4.

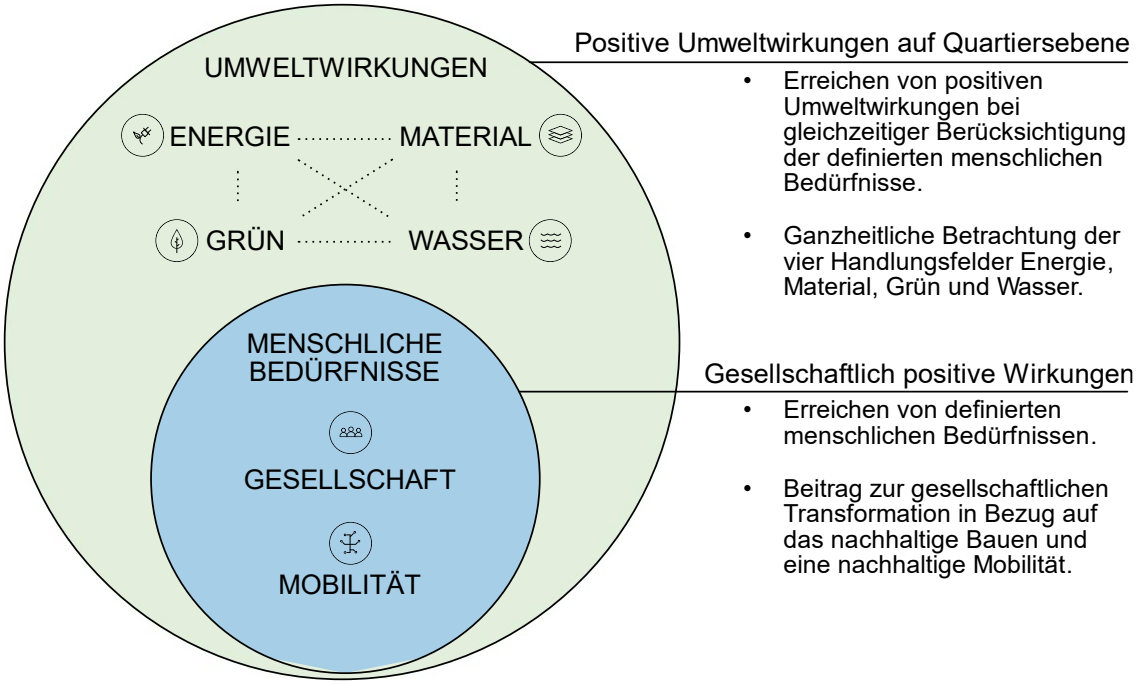

Abbildung 4 Handlungsfelder für positives Bauen im Forschungsprojekt ECO+ (eigene Darstellung)

Gesellschaft Im Handlungsfeld Gesellschaft liegt der Fokus auf der Schaffung von sozialem Mehrwert und nachhaltigem Lebensraum. Dies wird durch die Bereitstellung von bezahlbarem Wohnraum und die Sicherstellung hoher Luftqualität mittels grüner Infrastruktur erreicht, wodurch *SDG 11 (Nachhaltige Städte und Gemeinden)* unterstützt wird. Ein inklusiver Planungsansatz kann zudem die demografische Vielfalt erhöhen und zu einer ausgewogenen Bevölkerungsstruktur beitragen.

Material Das Handlungsfeld Material berücksichtigt wesentliche Umweltentlastungspotenziale durch die Wahl geeigneter Baumaterialien und -methoden. So wird in Bezug auf *SDG 3 (Gesundheit und Wohlergehen)* sichergestellt, dass durch die Verwendung schadstofffreier Materialien gesunde Gebäude geschaffen werden, die keine negativen Auswirkungen auf die Bewohner:innen haben. Darüber hinaus trägt der verantwortungsvolle Umgang mit Ressourcen, wie die Verwendung nachwachsender und ressourceneffizienter Materialien sowie kreislauffähiger Baukonstruktionen, zur Erfüllung von *SDG 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion)* bei. Durch die Implementierung solcher Konzepte wird die Umweltbelastung verringert und der Verbrauch endlicher Ressourcen reduziert. Ein möglicher positiver Beitrag des Handlungsfelds Material liegt in der Unterstützung von *SDG 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz)*. Gebäude, die als Kohlenstoffsenke wirken, leisten einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasen und fördern so den Klimaschutz.

Energie Im Bereich Energie wird das Ziel verfolgt, eine vollständig erneuerbare Energieversorgung zu realisieren. Dies schließen auch die Bereitstellung und Nutzung von erneuerbaren Energien direkt am Standort ein, beispielsweise durch den Einsatz von Photovoltaik-Anlagen. Diese Maßnahmen unterstützen insbesondere *SDG 7 (Bezahlbare und saubere Energie)*, indem sie zur Dekarbonisierung des Energiesektors und zur Förderung einer sauberen, nachhaltigen Energieversorgung beitragen. Eine positive Wirkung kann dadurch erreicht werden, dass vor Ort mehr Energie erzeugt als verbraucht wird.

Grün Die Integration von Grünflächen und grüner Infrastruktur hat einen bedeutenden Einfluss auf die Umwelt und die Lebensqualität. Maßnahmen in diesem Handlungsfeld steigern die Luftqualität und tragen zur Gesundheit der Bewohner bei, was im Einklang mit *SDG 3 (Gesundheit und Wohlergehen)* steht. Weiterhin unterstützt die Implementierung von grüner Infrastruktur *SDG 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz)*, da sie das CO_2-Bindungspotenzial steigert und Bildungsangebote zur Sensibilisierung für Klimathemen schafft. Zudem hat grüne Infrastruktur eine positive Wirkung auf die Biodiversität und verbessert die Bodenqualität, was *SDG 15 (Leben an Land)* adressiert. Die Förderung von Flora und Fauna und die Verbesserung des lokalen Mikroklimas tragen zur Erhöhung der biologischen Vielfalt und der ökologischen Stabilität bei.

Wasser Das Handlungsfeld Wasser fokussiert sich auf eine effiziente Nutzung und Wiederverwendung von Wasserressourcen. Die Steigerung der Effizienz wird durch die Nutzung von Regen-, Grau- und Gelbwasser sowie die Einbindung der grünen Infrastruktur in den Wasserkreislauf des Gebäudes erreicht. Diese Ansätze adressieren *SDG 6 (Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen)* und tragen dazu bei, Wasserressourcen zu schonen und die Belastung durch Abwasser zu reduzieren. Eine positive Umweltwirkung kann hier dadurch erreicht werden, dass der lokale Wasserkreislauf im Sinne der Grundwasserneubildung und des Oberflächenabflusses verbessert wird.

Mobilität Das Handlungsfeld Mobilität stellt die Bereitstellung eines sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Mobilitätskonzepts in den Vordergrund, das ebenfalls zur Erreichung von *SDG 11 (Nachhaltige Städte und Gemeinden)* beiträgt. Eine nachhaltige Mobilität fördert die Anbindung und Zugänglichkeit, reduziert Emissionen und unterstützt damit eine umweltfreundlichere und inklusivere Infrastruktur.

Durch die Berücksichtigung dieser Handlungsfelder im Forschungsprojekt werden essenzielle Aspekte der SDGs adressiert und direkt oder indirekt nachhaltig positive Effekte auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft erzielt.

3. Methodisches Vorgehen

3.1. Research by Design

Das methodische Vorgehen im Forschungsprojekt folgt einer entwurfsbasierten Methodik, die als Research-by-Design oder auch Research-through-Design bekannt ist. Entwurfsbasierte Forschungsmethoden sind prozessorientiert und eignen sich daher für die Bearbeitung komplexer, nicht-linearer Forschungsansätze [Wei13]. Diese qualitative Vorgehensweise macht den (architektonischen) Entwurf zum zentralen Element der Wissensgenerierung. Dem Entwurfsprozess steht dabei eine konkrete Fragestellung voran, die gestalterisch bearbeitet und abschließend wieder aufgegriffen wird, um zusätzlich zum entwurflichen Ergebnis weitere abstrahierte Erkenntnisse abzuleiten [Unt16]. Durch diese iterative und reflexive Bearbeitung gehen die Ergebnisse über die konkrete untersuchte Situation hinaus [Seg19]. Die enge Verknüpfung des Forschungsprojekts ECO+ mit dem Praxisprojekt in Debring ermöglichte die Anwendung der Research-by-Design-Methodik zur Untersuchung des positiven Bauens. Der methodische Rahmen baut auf der Literaturstudie zur Research-by-Design-Methodik von [Rog16] auf, die mehrere Ansätze in eine dreiphasige Struktur synthetisiert. Darauf aufbauend wurde die Vorgehensweise im ECO+ Forschungsprojekt in Anlehnung an die drei von Roggema definierten Phasen Pre-Design, Design und Post-Design gegliedert (Abbildung 5).

In der Pre-Design-Phase wurde eine Definition für Bauen mit positiven Umweltwirkungen erarbeitet. Für alle Handlungsfelder wurden relevante Kriterien aus der Literatur und bestehenden Bewertungssystemen gesammelt und auf ihre Relevanz geprüft. In der Zusammenstellung wurde eine erste Kategorisierung nach quantitativer und qualitativer Bewertungsart und Bewertungsziel vorgenommen (siehe Anlage *ECO+ Kriterienkatalog*). Diese Übersicht bildete den Ausgangspunkt und die Zielsetzung für den architektonisch-städtebaulichen Entwurf in Debring.

Die Design-Phase umfasste die Bearbeitung des Entwurfs anhand des Praxisprojekts. Am Anfang standen städtebauliche Studien und Analysen zur Dichte des baulichen Konzepts und zum Versiegelungsgrad durch die Bebauung. Die entwickelten Entwürfe wurden im nächsten Schritt lebenszyklusbasiert und im Hinblick auf die ECO+ Handlungsfelder analysiert. Sie wurden hinsichtlich ihres Ressourceneinsatzes, des Energiebedarfs und ihrer Umweltwirkungen gegenübergestellt, anhand einer multikriteriellen Entscheidungsanalyse verglichen und mittels parametrisch-thermischer Simulationen optimiert. Da teilweise keine etablierten quantitativen Entwurfswerkzeuge zur Verfügung standen, wurden z. B. im Bereich Wassermanagement und ökologische Bewertung der Grün- bzw. Freiraumstrukturen einfache Excel-Tools entwickelt und erprobt.

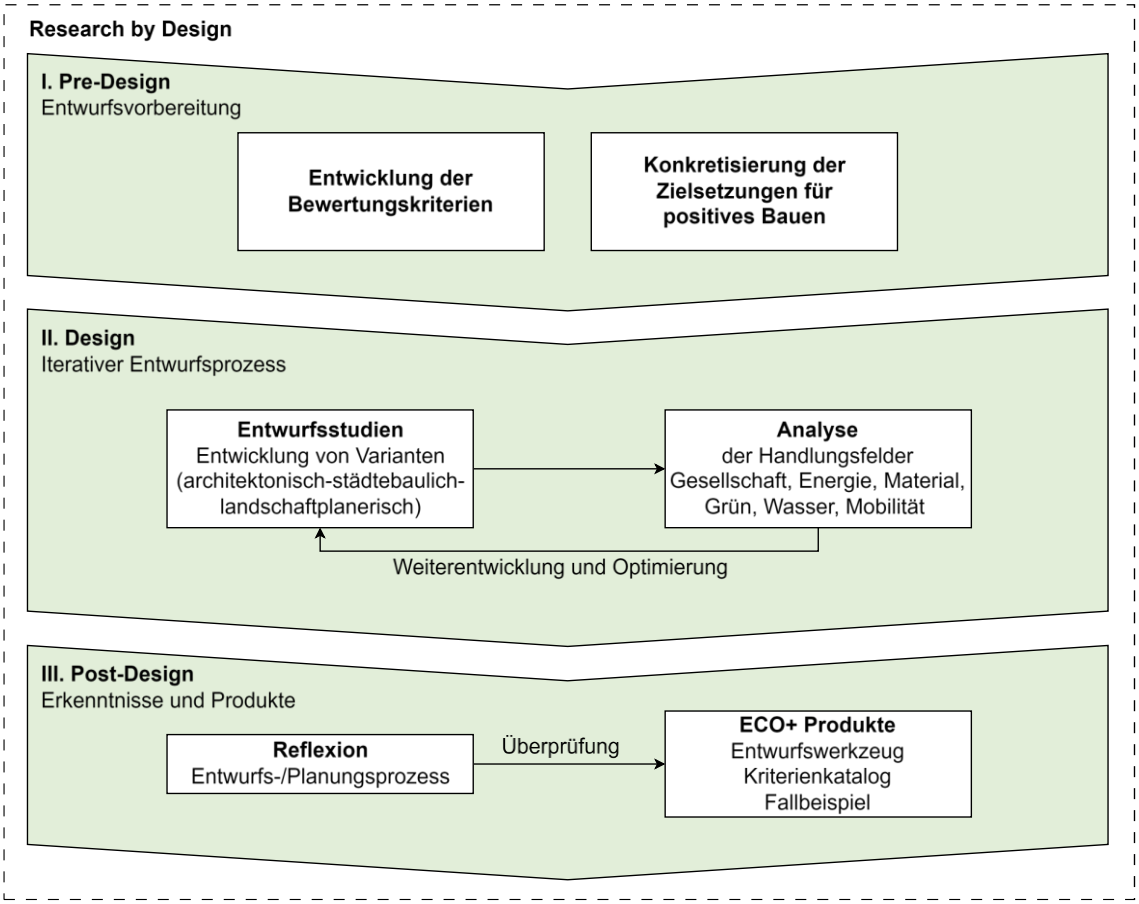

Abbildung 5 Methodisches Vorgehen im Forschungsprojekt ECO+

In der Post-Design-Phase wurden alle spezifischen und generalisierbaren Ergebnisse der Entwürfe gesammelt und aufbereitet. Im Zentrum stand dabei die Vermittlung der wichtigsten Erkenntnisse, um umweltpositives Bauen für Planungsteams konkret anwendbar zu machen (siehe Anlage *ECO+ Fallbeispiel*). Aus der Arbeit an den landschaftsarchitektonischen und architektonischen Entwürfen wurden übertragbare entwurfsrelevante Kriterien abgeleitet, die in einem qualitativen Entwurfswerkzeug (siehe Anlage *ECO+ Entwurfswerkzeug*) zusammengeführt wurden. Hierbei wurde in Anlehnung an [CLE16] eine qualitative Bewertungsmatrix entwickelt.

Im Rahmen der Design-Phase wurde darüber hinaus systematisch die Verbindung von Lehre und Forschung gestärkt. Seitens der TUM GTLA und der Hochschule Bochum wurde das Forschungsprojekt ECO+ in Entwurfsstudios eingebunden, wobei Studierende die Handlungsfelder Gesellschaft, Grün und Wasser analysierten. Von der TUM ENPB wurden Abschlussarbeiten in den Bereichen Energie und Material durchgeführt. Ein besonderer Fokus lag dabei auf parametrischen Analysen sowie der sozialwissenschaftlichen Untersuchung von Chancen und Hürden des positiven Bauens.

3.2. Fallbeispiel

Gegenstand des entwurfsbasierten Forschungsprozesses war das eingangs bereits erwähnte Praxisprojekt in Debring bei Bamberg. Im Rahmen des geplanten Bauvorhabens soll eine Grundstücksfläche von rund 6.000 m² innerhalb eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanes nachverdichtet werden. Dabei wird beabsichtigt, eine Wohnfläche von ca. 5.000 m² mit bis zu ca. 65 Wohneinheiten zu realisieren. Die Wohnungen bilden zusammen ein Quartier mit ökosozialem Mehrwert: neben unterschiedlichen Zuschnitten und Größen der Wohnungen, die eine sozial-gesellschaftliche Bandbreite an Bewohner:innen berücksichtigt, sind weitere Nutzungen wie zum Beispiel eine Kindertagesstätte, Mobilitätsangebote (z. B. Elektrofahrräder, Carsharing, Lastenräder), Zusammenarbeit mit sozialen Trägern, Gemeinschaftsflächen, kleinteilige gewerbliche Erdgeschossnutzungen (z. B. Co-Working, Bistro) und Gästeapartment(s) angedacht.

Wie aus Abbildung 6 ersichtlich, handelt es sich bei dem Grundstück um eine unbebaute, brachliegende Fläche inmitten einer dörflichen Siedlungsstruktur. Eine Teilfläche ist bereits als Wohnbaufläche ausgewiesen.

Abbildung 6 Lage des Baugrundstücks in Debring bei Bamberg (gelb umrandet)

4. Entwurfsvorbereitung (Pre-Design)

4.1. Definition und Bewertungskriterien

In der Pre-Design-Phase wurde in einem Workshop mit den Projektteilnehmenden erörtert, wie positives Bauen in den verschiedenen Handlungsfeldern konkret definiert und bewertet werden kann. Im Rahmen des Workshops wurden erstmals die einzelnen Kriterien der jeweiligen Handlungsfelder ermittelt, die einen starken Einfluss auf die umweltpositive Auswirkung haben. Durch die Gegenüberstellung der Handlungsfelder wurde erörtert inwiefern sich diese gegenseitig beeinflussen. Davon ausgehend wurde festgelegt, welche Kriterien quantitativ und welche qualitativ zu bewerten sind. Hierbei zeigte sich, dass die Handlungsfelder Energie, Material, Grün und Wasser primär quantitativ bewertet werden können, während die Handlungsfelder Gesellschaft und Mobilität eher qualitativ zu erfassen sind. Im Ergebnis wurde ein vorläufiger Ideenkatalog erarbeitet, der die Grundlage für die Bewertung und Weiterentwicklung der Entwürfe in der Design-Phase bildete. Die finalen Fassungen des Entwurfswerkzeugs und des Kriterienkatalogs sind in den Anlagen *ECO+ Entwurfswerkzeug* und *ECO+ Kriterienkatalog* zu finden.

4.2. Konkretisierung der Zielsetzungen für das Fallbeispiel

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden sechs Handlungsfelder für positives Bauen identifiziert: Gesellschaft, Energie, Material, Grün, Wasser und Mobilität.

Die Förderung der sozialen Vielfalt und des Zusammenhalts durch gemeinsame Planung, Bau, Nutzung und Sanierung ist ein zentraler Schwerpunkt im Handlungsfeld **Gesellschaft**. Die Kosteneffizienz soll sichergestellt werden und die Integration von finanziellen Beteiligungsmodellen soll ermöglicht werden. Das Umweltbewusstsein und das Umweltverhalten der Nutzer:innen sollen gefördert werden.

Im Handlungsfeld **Energie** wird ein vollständig erneuerbares Energiesystem angestrebt. Darüber hinaus ist es das Ziel, den Netto-Plusenergie-Standard durch lokal erzeugte erneuerbare Energie zu erreichen. Außerdem wird das gesamte Energiekonzept auf der Grundlage verschiedener Klimaszenarien analysiert und konzipiert. Dies soll zu einem widerstandsfähigen Energiesystem führen, das potenziellen zukünftigen Klimaveränderungen standhält.

Ziel im Handlungsfeld **Material** ist es, möglichst kreislauffähige, d. h. nachwachsende, wiederverwendete und recycelbare, Materialien und Baukonstruktionen zu verwenden. Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass alle verwendeten Materialien nachweislich frei von Schadstoffen sind. Durch die weitgehende Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen soll das

Quartier über seinen gesamten Lebenszyklus als Kohlenstoffspeicher fungieren und schon heute zum Klimaschutz beitragen.

Im Handlungsfeld **Grün** sollen positive Effekte erzielt werden, indem sichergestellt wird, dass der ökologische Wert des Planungsgebiets nach den Baumaßnahmen höher ist als zuvor. Lebensräume geschützter Arten sollen erhalten und weiterentwickelt werden. Durch verbesserte Beschattung und Verdunstung soll der thermische Komfort im Planungsgebiet steigen, während eine multifunktionale Gestaltung eine enge Interaktion zwischen Menschen und Natur ermöglicht.

Im Handlungsfeld **Wasser** wurde als Ziel festgelegt, dass mehr Grundwasser neu gebildet werden soll, als Trinkwasser verbraucht wird. Da Grundwasser in Deutschland die primäre Quelle für Trinkwasser ist, kann diese Relation für eine potenziell positive Trinkwasserbilanz herangezogen werden. Darüber hinaus sollen die Grundwasserneubildung, das für Pflanzen verfügbare Wasser und die Verdunstung (Kühlung) im Vergleich zum natürlichen Zustand erhöht werden, während der Abfluss reduziert wird. Insgesamt soll der absolute Trinkwasserbedarf minimiert und die Qualität des infiltrierenden Abflusswassers optimiert werden. Die Abwassermenge soll reduziert und Abwasserteilströme sollen soweit möglich aufgefangen und lokal behandelt werden.

Die Entwicklung eines sozial-ökologischen **Mobilitätskonzepts** unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen dem Mobilitätskonzept und den genannten Handlungsfeldern, z. B. in Bezug auf die Zugänglichkeit (Grün, Wasser, Gesellschaft) oder das Ressourcenmanagement (Material, Energie) war und ist Bestandteil im Praxisprojekt.

5. Iterativer Entwurfsprozess (Design)

5.1. Städtebaulich-architektonische Entwurfsstudien

Zur Beantwortung der Frage aus der Pre-Design-Phase wurden entsprechend der Research-by-Design-Methodik Entwurfsvarianten für das Grundstück des Praxispartners erstellt und in iterativen Bearbeitungsschleifen den jeweils im Entwurfsprozess gewonnenen Erkenntnissen angepasst. Zu Beginn des Entwurfsprozesses wurde eine Analyse des Grundstücks und seiner Umgebung durchgeführt, um die vorhandene Bebauung, infrastrukturelle Anbindung und Nahversorgung zu erfassen. Erste Volumenstudien auf dem Grundstück zeigten, dass die im Projekt angestrebte bauliche Dichte mit einer BGF von 6.000 m² nicht im Einklang mit einem nachhaltigen, sozial und ökologisch positiven Ziel steht. Verschiedene konzeptionelle Ansätze und weitere Bebauungsstudien führten zur Erkenntnis, dass sich eine lockere Anordnung einzelner Baukörper bei deutlicher Reduktion der baulichen Dichte harmonischer in den überwiegend aus Ein- und Zweifamilienhäusern bestehenden städtebaulichen Kontext einfügt. Zeitgleich musste eine iterative Annäherung an ein günstiges A/V-Verhältnis stattfinden, das bei kompakten Baukörpern mit großem Volumen positiver ausfällt als bei kleineren Strukturen. Basierend auf den Ergebnissen der Entwurfsstudien wurde eine Anordnung von zwei bis vier mittelgroßen Gebäuden mit maximal drei Geschossen als die Variante mit dem größten Potenzial zur Erfüllung der holistischen Projektziele identifiziert.

Bei der Grundstücksbelegung und -gestaltung erwies sich der Stellplatzschlüssel der Gemeinde Debring als stark limitierender Faktor (siehe Handlungsfeld Gesellschaft), so dass im weiteren Projektverlauf mit einem Stellplatzschlüssel von einem Stellplatz pro Wohneinheit gerechnet und im Handlungsfeld Mobilität mögliche Kompensationsmaßnahmen durch nachhaltige Mobilitätsangebote erarbeitet wurden. Als weitere Entwurfseinschränkung wurde das angestrebte Wassermanagement auf dem Grundstück identifiziert. Es wurde ermittelt, dass für positive Umwelteffekte auf den lokalen Wasserhaushalt eine maximale Anzahl an Bewohner:innen von 50 Personen im Quartier nicht überschritten werden darf (siehe Handlungsfeld Wasser und Grün). Diese Erkenntnisse wurden schließlich in zwei Entwurfsvarianten umgesetzt, anhand derer für die zuvor festgelegten Handlungsfelder Entwurfsparameter für das Planen und Bauen mit positiven Umweltwirkungen bestimmt, validiert und präzisiert werden wurden.

Die entwickelten Entwurfsvarianten sind in der Anlage *ECO+ Fallbeispiel* dargestellt (Lageplan, Schnitte, Grundrisse) und im Folgenden erläutert.

Die Entwurfsvariante V1 zeichnet sich durch zwei lange Gebäuderiegel aus, die entlang der nördlichen Hauptstraße und der westlichen Grundstücksgrenze orthogonal zueinander angeordnet sind (Abbildung 7). Die Erschließung erfolgt über Laubengänge. Deren Konstruktion und die vorgesehenen Balkonsysteme sind als Rankhilfen und Zonen für eine zusätzliche Begrünung nutzbar.

Abbildung 7 Finaler Stand der Entwurfsvariante V1

Die Entwurfsvariante V2 sieht drei Gebäude auf dem Grundstück vor, die über innenliegende Treppenhäuser erschlossen werden, siehe Abbildung 8. Die Gebäude orientieren sich an den Grundstücksgrenzen und sind dabei leicht zueinander verdreht, wodurch der Freiraum in mehrere Außenräume zoniert wird. Beim Gebäuderiegel entlang der westlichen Grundstücksgrenze handelt es sich um zweigeschossige Reihenhäuser. Die anderen zwei Gebäude sind als Mehrfamilienhäuser geplant. In beiden Varianten sind die Wohnbereiche nach Westen und Süden zum großzügigen Grünraum ausgerichtet.

Abbildung 8 Finaler Stand der Entwurfsvariante V2

Aufbauend auf diesen Vorstudien wird im Folgenden dargestellt, wie die Entwurfsvarianten bezogen auf die einzelnen Handlungsfelder entwickelt, analysiert und im Hinblick auf positive Umweltwirkungen iterativ optimiert wurden.

5.2. Gesellschaft

5.2.1. Dokumentation des architektonischen Entwurfsprozesses

Im Handlungsfeld Gesellschaft wurden die Einflüsse der Entwürfe auf der sozialen Ebene untersucht. Dabei wurden sowohl die Bedürfnisse der Nutzer:innen als auch die der unmittelbaren Nachbarschaft und der Gemeinde berücksichtigt. Ziele einer nachhaltigen Regional-, Stadt- und Quartiersentwicklung sind vielfältig und umfassen unter anderem die soziale Gerechtigkeit, Barrierefreiheit und Nutzungsmischung, Förderung der Gesundheit, Steigerung des Sicherheitsempfindens und Gestaltung [BGA18]. Der Mehrwert auf gesellschaftlicher Ebene lässt sich nur teilweise quantitativ erfassen. Quantitative Richtwerte basieren unter anderem auf dem Wohnwert-Barometer, einem System zur Bewertung der nachhaltigen Wohnqualität von Bestandsgebäuden im städtischen Kontext [HD10]. Das Bewertungssystem umfasst 43 Kriterien, die den vier Aktionsradien Wohnung, Haus/Umfeld, Standort und Prozess zugeordnet sind und mittels einer qualitativen Skala bewertet werden. Hierdurch lassen sich quantitative und qualitative Daten erfassen und verarbeiten sowie Wechselwirkungen und Abhängigkeiten transparent darstellen.

Zur Bewertung gesellschaftlicher Auswirkungen der Quartiersentwicklung wurden im Rahmen der Forschungsarbeit projektspezifische Kennwerte, wie die Grundflächen,

Wohnflächen, Dachflächen oder das A/V-Verhältnis, verwendet und verglichen. Kriterien wie Gestaltung oder Gesundheit wurden hingegen qualitativ beurteilt.

Wie in Kapitel 5.1 dargestellt, wurden zwei bis vier Gebäude mit maximal vier Geschossen favorisiert. Dadurch blieben ca. 67–75 % der Grundstücksfläche unbebaut. Die bayerische Wohnraumförderung macht hierzu keine Vorgaben, jedoch fordert beispielsweise die öffentlichen Wohnraumförderung des Landes Nordrhein-Westfalen, ein Drittel der Grundstücksfläche als Grünfläche (ohne Stellplätze) zu gestalten [Min24]. Mit mehr als zwei Drittel unbebauter Grundstücksfläche liegen die Entwürfe deutlich darüber. Neben den positiven Auswirkungen auf die Grüne und Blaue Infrastruktur wirkt sich dies auch positiv für die Bewohner:innen aus: es entsteht ein nutzbarer und gestaltbarer Freiraum, dessen Mikroklima für den Wohnraum positiv einzuordnen ist. Durch typologische Untersuchungen wurde deutlich, dass sich das Quartier auf Basis der geforderten 6.000 m² BGF (5.000 m² WF) im Hinblick auf die Bebauungsdichte stark vom städtebaulichen Kontext unterscheidet. Dies könnte zu einer ablehnenden Haltung bei der Gemeinde und den Bewohner:innen führen und die Akzeptanz langfristig negativ beeinträchtigen; durch eine Reduktion der geforderten BGF auf 4.500 m² konnte die Bebauung harmonischer in die vorhandene Bebauungsstruktur eingefügt werden. Durch die Aufteilung der BGF auf mehrere Baukörper wurden jedoch mögliche Synergieeffekte in Bezug auf Erschließung und Gebäudetechnik reduziert. An diesen Stellen zeigte sich erstmals das Spannungsfeld zwischen gesellschaftlichen Kriterien und wirtschaftlichen Überlegungen.

Die in Kapitel 5.1 beschriebene Einschränkung durch den Stellplatzschlüssel der Gemeinde Debring resultierte aus der vorgeschriebenen Anzahl von einem Stellplatz für Wohnungen mit bis zu 50 m² Wohnfläche, zwei Stellplätzen bis 100 m² Wohnfläche und drei Stellplätzen bis 150 m² Wohnfläche. Gleichzeitig bestand der Anspruch, zur Reduktion schädlicher Umwelteinflüsse weitgehend auf den Einsatz von Stahlbeton zu verzichten, sodass die Option einer Tiefgarage entfiel. Mehr Wohnraum führt zwangsläufig zu einer höheren Belegung der freien Außenflächen durch Stellplätze und schränkt die Potenziale für die Erzielung positiver Umweltwirkungen in den Handlungsfeldern Wasser und Grün stark ein. Diesem Konflikt wurde mit der Reduktion des Stellplatzschlüssels auf einen Stellplatz je Wohneinheit begegnet, was nur durch die Planung zusätzlicher nachhaltiger Mobilitätsangebote im Quartierskonzept möglich ist.

Um bei dem leicht hanglagigen Grundstück aufwendige Erdbewegungen und damit einhergehende Kosten sowie Treibhausgasemissionen zu reduzieren, wurden die weiterhin benötigten Stellplätze entlang der Zufahrtsstraße im Norden und der Grundstücksgrenze im Osten angeordnet. Dort weist das Gelände nur geringe topographische Veränderungen auf. Aus

den gleichen Überlegungen heraus wurden die Baukörper aufgeständert, was zusätzlich Versickerungsoptionen für Niederschlagswasser eröffnete.

Die ebenfalls in Kapitel 5.1 beschriebene iterative Annäherung an ein günstiges A/V-Verhältnis führte in V1 zu einem Wert von 0,49 und in V2 von 0,53. Dies ist einerseits auf die verschiedene Anzahl der Baukörper und andererseits auf die unterschiedliche Ausbildung von Loggien zurückzuführen.

Beide Varianten erreichen eine Flächeneffizienz von über 70 % (Nutzfläche zu BGF). V1 ist mit ca. 81 % effizienter als V2 mit 74 %, was vor allem auf die mehrgeschossigen Reihenhäuser mit innenliegenden Treppenhäusern zurückzuführen ist. Der Vergleich der innenliegenden Erschließung (Spänner-Erschließung) bei V2 mit der außenliegenden Erschließung (Laubengang) bei V1 zeigt, dass die Verkehrsfläche bei V1 zwar um ca. 320 m² größer ist, sich jedoch im Außenraum befindet und nicht zur BGF dazugerechnet wird, solange der Laubengang nicht konstruktiv mit dem Gebäude verbunden ist. Neben der Reduzierung der Grundfläche des Gebäudes dient der Laubengang bei großzügiger, offener Gestaltung auch als informeller Ort der Begegnung, Erweiterung des Innenraums und klimatische Pufferzone, was sich positiv auf das soziale Empfinden, dem Wohnkomfort und die Gesundheit der Bewohner:innen auswirken kann. Zusätzlich kann eine Begrünung des Laubengangs die positiven Auswirkungen auf die Gesundheit der Bewohner und das Mikroklima sowie den ökologischen Charakter des Quartiers stärken. Maisonette-Wohnungen oder Reihenhäuser mit innenliegender Erschließung sind grundsätzlich kritisch zu hinterfragen, da sie die barrierefreie Erschließung behindern, zu einem höheren Flächenverbrauch beitragen und die spätere Umnutzung von Gebäuden erschweren.

Die geringe bebaute Grundfläche, die bei V1 ca. 861 m² und bei V2 ca. 1.158 m² beträgt, sowie die Anordnung der Gebäude erhöhen die mögliche Gestaltungsvielfalt der Außenflächen, wo unterschiedliche Nutzungen und Zonierungen möglich werden. Öffentliche, halböffentliche und private Bereiche können geschaffen und als Orte des Verweilens und der Aktivität genutzt werden. Sie fördern die Kommunikation, unterstützen die Gesundheit und begünstigen die Akzeptanz durch die Bewohnerschaft.

Die Unterschiede in den Grundflächen setzen sich in den Geschossflächen fort. Bei V2 resultiert für die gleiche Anzahl an Bewohner:innen aufgrund der gewählten Wohntypologie im Durchschnitt eine höhere Wohnfläche pro Person. Während der Flächenbedarf je Person bei V2 27 m² beträgt, liegt dieser bei V1 um ca. 24 m². Bei einer Belegung der Wohnungen mit der vorgesehenen Personenzahl würde der Flächenbedarf in beiden Varianten deutlich unter dem bundesweiten Schnitt von ca. 47,4 m² liegen [PGL+21]. Dadurch wird ein

entscheidender Beitrag zur Steigerung der Flächeneffizienz geleistet, was bei einer bundesweit zunehmenden Verknappung bebaubarer Flächen als besonderer Gewinn erachtet wird.

Die Wahl eines geeigneten Achsabstands oder Rasters für die Grundrissentwicklung hängt neben der Flächeneffizienz auch von den Grundrisstypen, der Barrierefreiheit, einer Nutzungsflexibilität und dem Vorfertigungsgrad von Bauteilen ab. Die Barrierefreiheit bringt Anforderungen an die Bewegungsfläche innerhalb der jeweiligen Räume mit sich, woraus sich, je nach Grundrisstyp, unterschiedliche Mindestabmessungen von Räumen und daraus abgeleitete geeignete Achsabstände ergeben. Die Anforderungen der Barrierefreiheit an Wohnungen gemäß DIN 18040-2 [DIN 18040-2] stehen hier dem Wunsch der Flächeneffizienz gegenüber. In vorliegendem Fall ergab sich aus diesen Überlegungen heraus ein Achsraster von 3,85 m. Bei der Ausbildung von Wohneinheiten für zwei bis fünf Personenhaushalte zeigt sich, dass die Ziele der Flächeneffizienz für geförderten Wohnraum [Bay24b] nicht immer eingehalten werden können. Insbesondere die Reihenhäuser zeigen hier große Nachteile auf, da die Notwendigkeit einer internen Treppe zur Erhöhung der Verkehrsfläche führt.

Durch die vorausschauende Wahl eines Achsabstands kann das Gebäude mit einem hohem Vorfertigungsgrad (Skelettbauweise, Schottenbauweise, Raumzellenbauweise usw.) geplant werden, was die Bauzeit und die Baukosten reduziert [Sch22]. Betriebs- und Rückbaukosten können durch einen hohen Vorfertigungsgrad und einer Lebenszyklusbetrachtung der Bauteile im Hinblick auf eine flexible Umnutzbarkeit und sortenreine Trennbarkeit reduziert werden. Zusätzlich kann die Wahl größerer lichter Raumhöhen (2,75 m statt 2,50 m) den Lebenszyklus durch eine optimierte Anpassungsfähigkeit an Anforderungen der Nutzungsänderung (z. B. Wohn- zu Büronutzung) erweitern.

Alle Wohneinheiten wurden mit privaten Außenflächen ausgestattet, was die Wohnqualität deutlich verbessert. Die Wahl von Loggien oder Balkonen wirkt sich auf die Effizienz der Gebäudehülle aus. Balkone haben dabei Vorrang vor Loggien, die in die Kubatur des Gebäudes eingreifen und das A/V-Verhältnis verschlechtern. Die vom Gebäude unabhängige Gerüstkonstruktion der Balkone in V1 ermöglicht anpassbare Balkonabmessung je nach Wohnungsgröße und Bedarf und können gleichzeitig für Fassadenbegrünung genutzt werden.

Bei der Dachform wurde das Flachdach gewählt. Dieses kann entweder für die Energiegewinnung mit Photovoltaik-Anlage, Dachbegrünung zur Verbesserung des Mikroklimas oder als gemeinschaftlicher Außenraum genutzt werden. Insgesamt verfügt V1 über ca. 751 m² Dachfläche, wovon ca. 330 m² durch die Bewohner:innen genutzt werden können. Im Gegensatz dazu verfügt V2 über ca. 850 m² Dachfläche, wovon nur ca. 75,06 m² den Bewohner:innen zur Verfügung stehen.

5.2.2. Lebenszykluskosten

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden für die beiden Entwurfsvarianten V1 und V2 vier Varianten von Baukonstruktionen entwickelt (siehe Kapitel 5.4 bzw. Anlage). Hierfür wurden die Investitionskosten der Kostengruppen (KG) 300 und 400 gemäß DIN 276:2018 ermittelt. Hierfür wurde eine Mengenermittlung der Flächen vorgenommen und mit Bauteilkosten versehen. Die Kosten wurden anhand von Vergleichsobjekten für den mehrgeschossigen Wohnungsbau mit mindestens 14 Wohneinheiten sowie von Vergleichsobjekten im mehrgeschossigen Wohnungsbau in Holzbauweise gemäß Baukosteninformationszentrum-Datenbank (BKI) 2024 [Bau24] angesetzt. Für innovative Bauteile, wie beispielsweise Lehmbauprodukten, liefert BKI oft keine Bauproduktpreise. Daher wurden hier eigens Hersteller von Lehmbauprodukten angefragt und deren Preise angesetzt. Grundsätzlich wurden mittlere Baukosten angesetzt. Um eine Vergleichbarkeit mit den Erkenntnissen der vorherigen Kapitel zu gewährleisten, wurden die Baukosten in der KG 300 für den Rohbau (Bodenplatte, Außenwände, Innenwände, Decken, Dach, Fenster) und für die KG 400 (Wärmeerzeugungsanlage, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe, Photovoltaik) ermittelt.

Die Dachaufbauten und die Gebäudetechnik sind bei allen Konstruktionsvarianten identisch. Daher wurden zusätzlich die Betriebs- und Instandsetzungskosten betrachtet. Hierfür wurden für wartungsfreundliche und wartungsaufwändige Wohngebäude mit mehr als 9 Wohneinheiten Vergleichswerte aus den BKI herangezogen [Bau20].

Für den geförderten Wohnungsbau ist gemäß dem Merkblatt „Förderung von Mietwohnraum in Mehrfamilienhäusern“ des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr [Bay24b] eine Kostenobergrenze für die KG 300 und 400 in Höhe von 2.250 € je m² Wohnfläche einzuhalten (Stand März 2021). Aufgrund deutlicher Baupreissteigerungen und der Inflation seit 2021 wurde dieser Wert auf den Stand der Ermittlung der Baukosten in Q3 2023 angepasst. Entsprechend einer Indexierung dieses Werts nach dem statistischen Bundesamt resultiert eine Baupreissteigerung von rund 23,62 % [Sta24-ol]. Dies entspricht einzuhaltenden Baukosten von rund 2.773 € je m² Wohnfläche. Dies ist bei den betrachten Kosten der Kostengruppe nur in der Kalksandstein-Variante eingehalten.

Aufbauend auf den Investitionskosten bzw. Baukosten wurden Lebenszykluskostenanalysen (Life Cycle Costing, LCC) durchgeführt. Durch die LCC wurden die lebenszyklusbasierten Kosten der untersuchten Varianten, einschließlich Betriebs-, Wartungs- und Entsorgungskosten, detailliert analysiert. Die Kosten basieren auf den zuvor beschriebenen Kostenberechnungen für die KG 300 und 400. Zudem wurden die Betriebskosten basierend auf den ermittelten Energiebedarfen ermittelt. Die LCC wurden über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach der Barwertmethode unter Einbezug eines Diskontierungszinses von 1,5 %, einer jährlichen Preissteigerung von 2 % für Bau- und Dienstleistungen sowie einer jährlichen

Preissteigerung für Energie von 5 % berechnet. Entsorgungskosten und mögliche Gutschriften aus Recycling oder Wiederverwendung wurden aufgrund fehlender einheitlicher Daten nicht berücksichtigt.

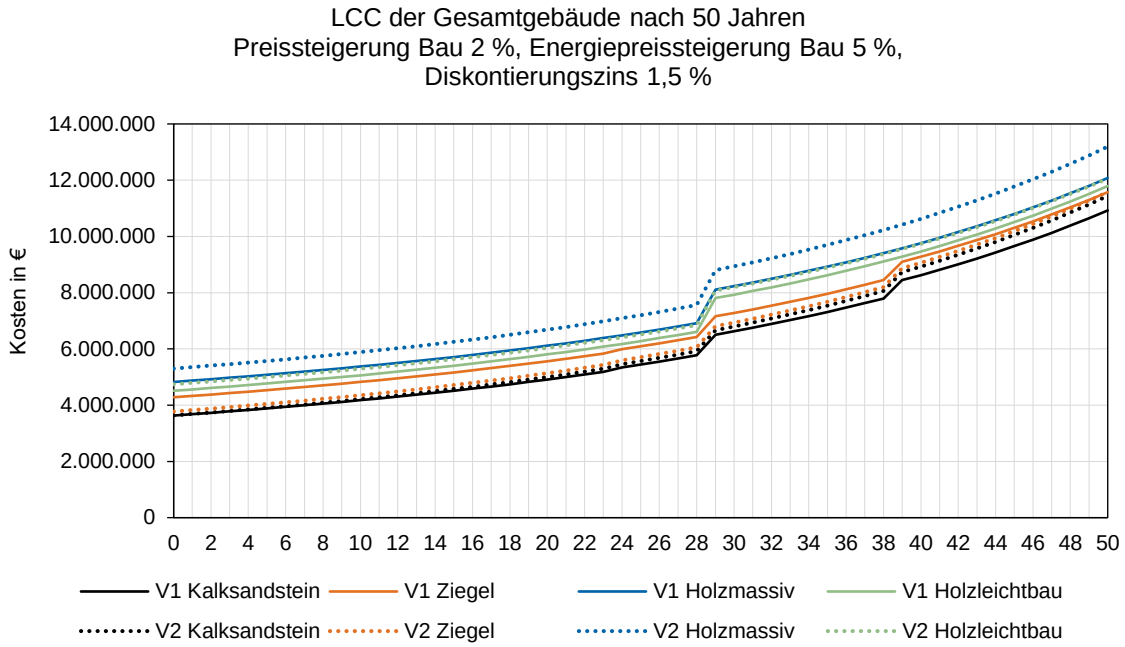

Abbildung 9 Vergleich der Lebenszykluskosten für die analysierten Entwurfsvarianten

Die Auswertung der Lebenszykluskostenanalyse (LCC) in Abbildung 9 zeigt die Unterschiede in den Kosten zwischen den verschiedenen Bauweisen und Varianten. Bei der Entwurfsvariante V1 erweist sich die Bauweise mit Kalksandstein als die kostengünstigste Option. Die Bauweise mit Ziegel ist in etwa um 6 % teurer und die Holzmassiv-Konstruktion stellt die teuerste Bauweise mit etwa 11 % höheren Kosten. Der Holzleichtbau liegt mit etwa 8 % knapp über der Ziegel Variante. In der Entwurfsvariante V2 zeigt sich ebenfalls, dass Kalksandstein die wirtschaftlichste Bauweise ist. Die Ziegelbauweise ist in etwa 1 % teurer. Holzmassiv weist höhere Lebenszykluskosten von etwa 15 %, eine Holzleichtbauweise liegt damit 5 % über der Kalksandsteinvariante. Insgesamt zeigt die Auswertung, dass Kalksandstein in beiden Varianten unter Berücksichtigung aktueller Kostensätze die kosteneffizienteste Bauweise ist, gefolgt von Ziegel. Ein Holzmassivbau weist die höchsten Kosten auf, während Holzleichtbau eine günstigere Alternative zum Holzmassivbau darstellt.

Die lange Haltbarkeit der untersuchten Bauweisen zeigen, dass keine wesentlichen Ersparnisse bezüglich der Lebenszykluskosten genutzt werden können. Dies deutet auf die Notwendigkeit von Kosteneinsparung durch Effizienzsteigerung bei der Planung (kollaborative, effiziente Prinzipien und agile Methoden der Integrierten Projektabwicklung), Bauherstellung (Vorelementierung, Standardisierung der Ausführung, Baumängelreduktion), Materialeinsatz (Sekundärbauteile, kostengünstige regionale Materialien, Low Tech) und Betriebskosten

(Energieüberschussproduktion, Minimierung von Instandhaltung- und Entsorgungskosten in Sanierungsfällen) hin. Die Nutzung solcher Einsparungspotentiale setzt eine kontinuierliche lebenszyklusorientierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung begleitend zu allen Planungsphasen voraus, die in der Gestaltung der Planungsprozesskette und in einem kollaborativem Anreizsystem (Integrierte Projektabwicklung (IPA) und Mehrparteienvertrag) ermöglicht werden können. Auch Mietmodelle für Bauteile stellen einen innovativen Ansatz dar, mit dem Qualitäten gesteigert und Kosten gesenkt werden könnten.

5.2.3. Mieten und Kaufen aus Perspektive von Lebenszykluskosten

Ausgehend von der Herausforderung der Praxis, in der klassische Bauweisen meist kostengünstiger sind als innovative und besonders nachhaltige Bauweisen, stellt sich die Frage, ob neue Geschäftsmodelle wie „Product as a Service“ (im folgenden „Mietmodelle“) wirtschaftliche Beiträge bei der Bauwerkserrichtung und im Betrieb leisten können, um höhere ökologische Qualitäten zu erzielen. Besonders bei zirkulären Konstruktionsformen, Bauteilen und Materialverwendung wirken Mietmodelle vielversprechend. Die Praxis zeigt jedoch, dass bisher die nötige Datengrundlage fehlt, um in allen Gebäudeebenen und Planungsphasen die Lebenszykluskosten von Mietmodellen und Kaufmodellen von Gebäudekomponenten valide zu vergleichen. Vergleichbare Modelle inklusive relevanter Daten zur Verfügung zu stellen und zu verarbeiten sind derzeit für Planende und Bauteilanbieter ein Mehraufwand in Zeit und Kosten. Dieser Effekt wird verstärkt, da in der Regel zu jeder Bauteilebene von mehreren Produktherstellern einzeln Mietpreise eingeholt und ggf. Angebote verhandelt werden müssten, bis belastbare Kennzahlen und Kosten vorliegen. Für das Praxisprojekt wurde daher ein vereinfachtes und übertragbares Vorgehen entwickelt, das per Ausschlussverfahren die grundsätzliche Sinnhaftigkeit von Mietmodellen eingrenzt, deren konstruktive Eignung prüft, Varianten per Kostenschätzung und Kosten pro Anbieter vergleicht und Kosten für wirtschaftlich vorteilhafte Varianten festlegbar macht (siehe Abbildung 10).

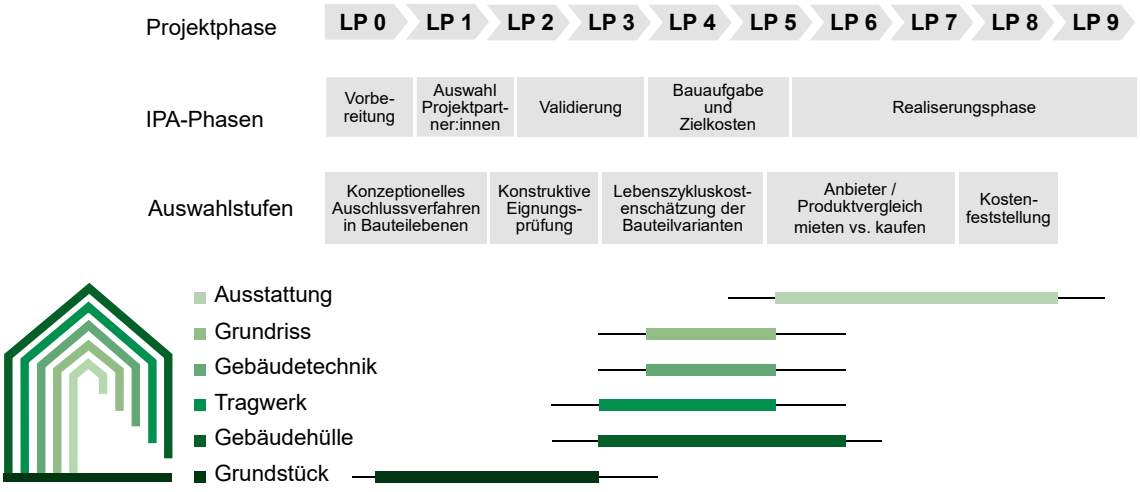

Abbildung 10 Auswahlstufen für Mietmodelle (eigene Darstellung angelehnt an Schichtenmodell nach Steward Brand [Bra94])

Für das Praxisprojekt wurden Mietmodelle in den folgenden Gebäudeschichten ausgeschlossen bzw. für eine vertiefte Betrachtung während der Leistungsphasen 2 und aufwärts eingeschlossen [NCC24a-ol]:

Grundstück: Für die langfristige Sicherung des Nutzungskonzepts der Gebäude bietet sich ein Kauf prinzipiell an. Es wurde jedoch ein Erbpachtmodell gewählt, um das Projekt von der Aufbringung des Kaufpreises zu entlasten.

Gebäudehülle: Für Fassaden sind Mietmodelle und Kostenkalkulationen verfügbar. Jedoch bedingen die ECO+ Ziele im Projekt eine naturbasierte und zirkuläre Konstruktionsweise, die auf eine langfristige und pflegeleichte Nutzung und Haltbarkeit ausgelegt ist, was den Vorteilen der Austauschbarkeit von Mietmodellen weitestgehend widerspricht.

Tragwerk: Auch hier ist ein möglichst zirkulärer, naturbasierter und langlebiger Ansatz, der bevorzugte Weg um ECO+ Ziele und das Leben in sieben Generationen zu ermöglichen. Zirkuläre Planung und Konstruktion für ein Design for Repairability ist jedoch nicht an Mietmodelle gekoppelt.

Gebäudetechnik: Die Gebäudetechnik soll grundsätzlich durch Low-Tech-Lösungen minimiert werden, um insbesondere Herstellungs- und Betriebsemissionen zu reduzieren. Bei der verbleibenden Gebäudetechnik sollte auf eine möglichst lange Haltbarkeit gesetzt werden, jedoch entwickelt sich Technologie stets weiter und deshalb kann es vorteilhaft sein, technologische Komponenten regelmäßig dem aktuellen Stand der Technik anzupassen. Dabei können Mietmodelle vorteilhaft sein (PV, Solarthermie, Speicher, Wasseraufbereitung, Lüftung, Steuerung, etc.).

Grundriss: Diese Ebene ist für Mietmodelle im Praxisprojekt in Debring ein nicht eindeutig zuordenbarer Graubereich. Für die Ausgestaltung der Grundrisse und Räume sind zwar viele Materialien und Bauteile notwendig, für die grundsätzlich viele zirkuläre Angebote bestehen und gut zu einer anpassbaren Raumaufteilung über die Zeit passen. Da jedoch das Gebäude grundsätzlich einer möglichst langfristigen Nutzung verschrieben ist, ergibt sich ein Widerspruch im Hinblick auf die meisten Mietmodelle.

Ausstattung: Die Ausstattungsebene ist der höchsten Fluktuation von Bedürfnissen der Bewohner:innen und Abnutzung ausgesetzt. Mietmodelle können einerseits für das gesamte Quartier, aber auch für einzelne Parteien attraktiv sein. Der Aufwand für eine genauere Betrachtung und Vergleichsberechnung der Lebenszykluskosten ist erst in späteren Planungsphasen gerechtfertigt und wird in vielen Fällen den individuellen Nutzerparteien überlassen.

Fazit LCC: Die unzureichende Datenverfügbarkeit zu Lebenszykluskosten von unterschiedlichen Bauteilebenen macht eine Vergleichsrechnung aufwändig und teilweise unmöglich. Für das auf Langfristigkeit ausgelegte Nutzungskonzept der ECO+ Modellsiedlung in Debring bietet sich daher für den Projektentwickler Öko Bau fast ausschließlich eine genauere Betrachtung von Mietmodellen für die Ebenen Gebäudetechnik und Grundrisse an. Der Aufwand einer vergleichenden Lebenszykluskostenberechnung ist für das Praxisprojekt erst gerechtfertigt, sobald eine validierte Entwurfsplanung vorliegt.

5.3. Energie

Der Energiebedarf für den Gebäudebetrieb wurde durch thermische Simulationen unter Verwendung von Rhino Grasshopper mit den Plugins Dragonfly und Colibri ermittelt [Rob24; Lad23-ol]. Die Simulationen decken ein breites Spektrum an Parametern ab, darunter architektonische Merkmale, Materialeigenschaften und wichtige Gebäudeparameter. Mittels parametrischer Simulationen wurde untersucht, wie sich Parametervariationen auf die ökologische Qualität auswirken. Die Sensitivität einzelner Parameter wurde mithilfe der lokalen Sensitivitätsanalyse nach der One-Step-at-a-Time-Methode (OAT-Methode) bestimmt [Mor91]. Bei diesem Ansatz werden einzelne Parameter innerhalb des definierten Bereichs variiert und ihr Einfluss auf die Zielvariable bewertet, während alle anderen Parameter konstant gehalten werden. Zur Vereinfachung wurde im ersten Schritt nur das Treibhauspotenzial (GWP) berücksichtigt. Die Parameter mit Einheiten und deren untersuchte Variationsbereiche sind in Tabelle 1 aufgeführt. Für den Strommix ist der Anteil erneuerbarer Energien von entscheidender Bedeutung. Die Szenarien wurden daher anhand von Daten für den aktuellen Strommix in Deutschland, einer Prognose für 50 Jahre (2020 bis 2070) gemäß ÖKOBAUDAT und einem Szenario für erneuerbaren Ökostrom analysiert [BMW23-ol]. Für das Energiesystem wurden folgenden Varianten untersucht: Brennwertkessel (Gas, Holzpellets und Holzhackschnitzel), Fernwärme (deutscher Mix, Biomasse, Biogas und Abfall) und Wärmepumpe (Luft-Wasser und Wasser-Wasser).

Tabelle 1 Mittels thermischer Simulationen untersuchte Parameter

Nr.	Parameter	Einheit	Variationsbereich
1	Dicke Wärmedämmung Außenwand	m	0,02–0,50
2	Dicke Wärmedämmung Dach	m	0,02–0,50
3	Fläche Photovoltaik	m²	0–500
4	Fläche Solarthermie	m²	0–100
5	Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster (g-Wert)	-	0,30–0,75
6	U-Wert Fenster	W/m²K	0,60–2,90

Nr.	Parameter	Einheit	Variationsbereich
7	Strommix	-	3 Varianten
8	Energiesystem	-	9 Varianten
9	Baukonstruktion	-	4 Varianten
10	Gutschrift Photovoltaik-Strom	-	2 Varianten
11	Fensterflächenanteil	%	25–60

Basierend auf den Ergebnissen der parametrischen Simulationen wurde für die Entwurfsvarianten eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit ca. 40 kW in Kombination mit einem Wärmespeicher von 2.500 l verwendet. Als Wärmeübertragungssystem wurde eine Fußbodenheizung angesetzt. Für die lokale Erzeugung erneuerbarer Energien wurde eine PV-Anlage mit 500 m² berücksichtigt.

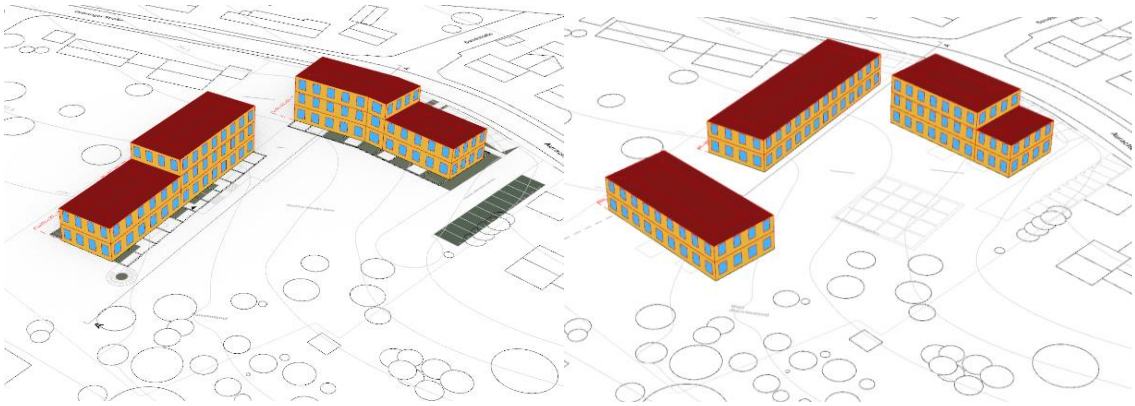

Abbildung 11 Darstellung der beiden Simulationsmodelle für die Varianten V1 (links) und V2 (rechts)

Die Simulationsmodelle sind in Abbildung 11 dargestellt. Die Entwurfsvariante V1 umfasst zwei langgezogene Baukörper mit einer Bruttogeschossfläche von etwa 2.200 m². Variante V2 weist eine Bruttogeschossfläche von 2.450 m² auf und besteht aus drei Gebäuden. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in Abbildung 12 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen auf, wie groß der Einfluss der untersuchten Gebäudeparameter auf das Treibhauspotenzial ist.

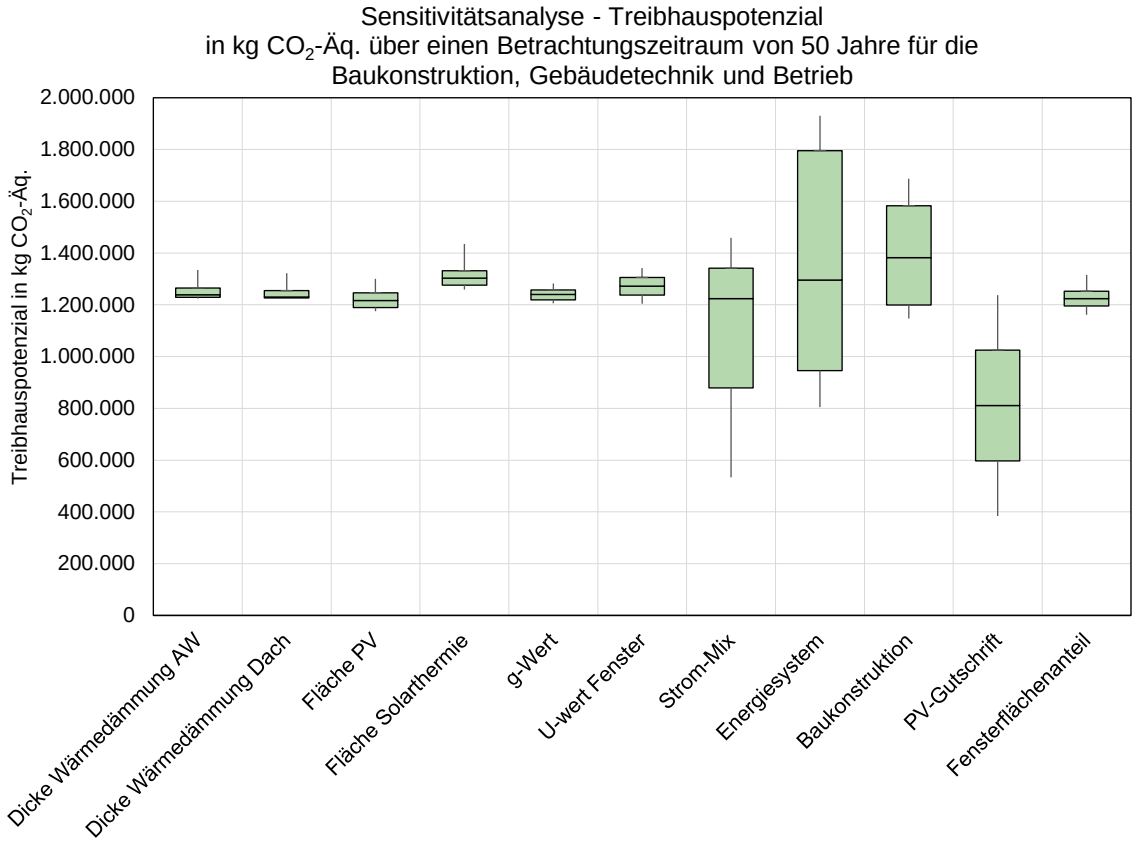

Abbildung 12 Sensitivitätsanalyse zu ausgewählten Gebäudeparametern und deren Einfluss auf das Treibhauspotenzial

Den größten Einfluss hat dabei das Energiesystem. An zweiter Stelle steht der Strommix, der die Emissionen während der Nutzungsphase maßgeblich reduziert. Auf Platz drei folgt die PV-Gutschrift, die durch die Einspeisung von überschüssigem Solarstrom ins öffentliche Netz die Gesamtbilanz positiv beeinflusst. Die Baukonstruktion zeigt ebenfalls einen großen Einfluss auf das Treibhauspotenzial. Insbesondere die Materialwahl und die damit verbundenen Herstellungsprozesse wirken sich stark auf die Emissionsbilanz aus. Insgesamt verdeutlicht die Analyse, dass sowohl energetische Maßnahmen wie die Optimierung des Energiesystems und Strombezugs, als auch die Materialwahl in der Baukonstruktion zentrale Ansatzpunkte für die nachhaltige Optimierung der Treibhausgasemissionen darstellen.

Im Rahmen der Arbeit von [Dal24] wurde die Sensitivität verschiedener Gebäudedesignparameter hinsichtlich ihrer Klimaresilienz und Anpassungsfähigkeit an zukünftige Klimabedingungen analysiert. Hierzu wurden parametrische Simulationen durchgeführt, die wichtige Parameter wie Sonnenschutz, Verglasungseigenschaften, Gebäudegeometrie, Materialien und Gebäudeausrichtung untersuchten. Zur Durchführung der Simulationen kamen die Tools Rhino Grasshopper, Ladybug, Metahopper, TTToolbox und Colibri zum Einsatz [Rob24; Lad23-ol; And-ol; Tho-ol].

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere der Sonnenschutz, Fensterflächenanteil und Glaseigenschaften eine zentrale Rolle bei der Verbesserung der Klimaanpassungsfähigkeit und der Resilienz gegenüber Hitzewellen spielen. Im Gegensatz dazu wiesen Materialien und Gebäudeausrichtung eine geringere Bedeutung auf. Des Weiteren blieb die Bedeutung der Parameter hinsichtlich ihrer Einflüsse bei der Betrachtung verschiedener Klimaszenarien konstant. Um eine hohe Klimaresilienz zu gewährleisten, zeigt sich, dass ein hochwertiger außenliegender Sonnenschutz, ein geringer Fensterflächenanteil (etwa 20–30 %) und die Verwendung von leichten Sonnenschutzgläsern (g-Wert etwa 0,4) sinnvoll sind.

Im Hinblick auf den Klimawandel sind Anpassungsstrategien in der Stadtplanung notwendig, um auch in Zukunft thermischen Komfort in Außenbereichen zu gewährleisten. Insbesondere Bäume bieten durch verschiedene Ökosystemdienstleistungen ein großes Potenzial. Wie sich die geplante Vegetation unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen entwickelt und in Zukunft den thermischen Komfort beeinflusst, wurde mithilfe des CityTree-Baum-Modells und numerischen Simulationen mit ENVI-met untersucht [RRM+19; ENV].

Bei der Modellierung mit verschiedenen Klimaszenarien wurden für den Standort keine signifikanten Unterschiede im Baumwachstum festgestellt, da die lokalen Klimaszenarien ähnliche Niederschlagsmuster für die Zukunft aufzeigen. Die Modellierung urbaner Bäume bietet jedoch weiterhin großes Entwicklungspotenzial, insbesondere in der langfristigen Dynamisierung. Die Ergebnisse der ENVI-met-Simulationen zeigen, dass der thermische Komfort ohne Bäume in einem unakzeptablen Bereich liegt. Durch die Berücksichtigung von Bäumen wird die durchschnittlich empfundene Temperatur (UTCI) im Außenraum um etwa 2,2–2,9 °C verbessert. Die Position der Bäume sollte an die Orientierung der Gebäude angepasst werden, insbesondere an Südfassaden, wo die Reduzierung des Hitzestresses durch Vegetation gering ist, siehe Abbildung 13.

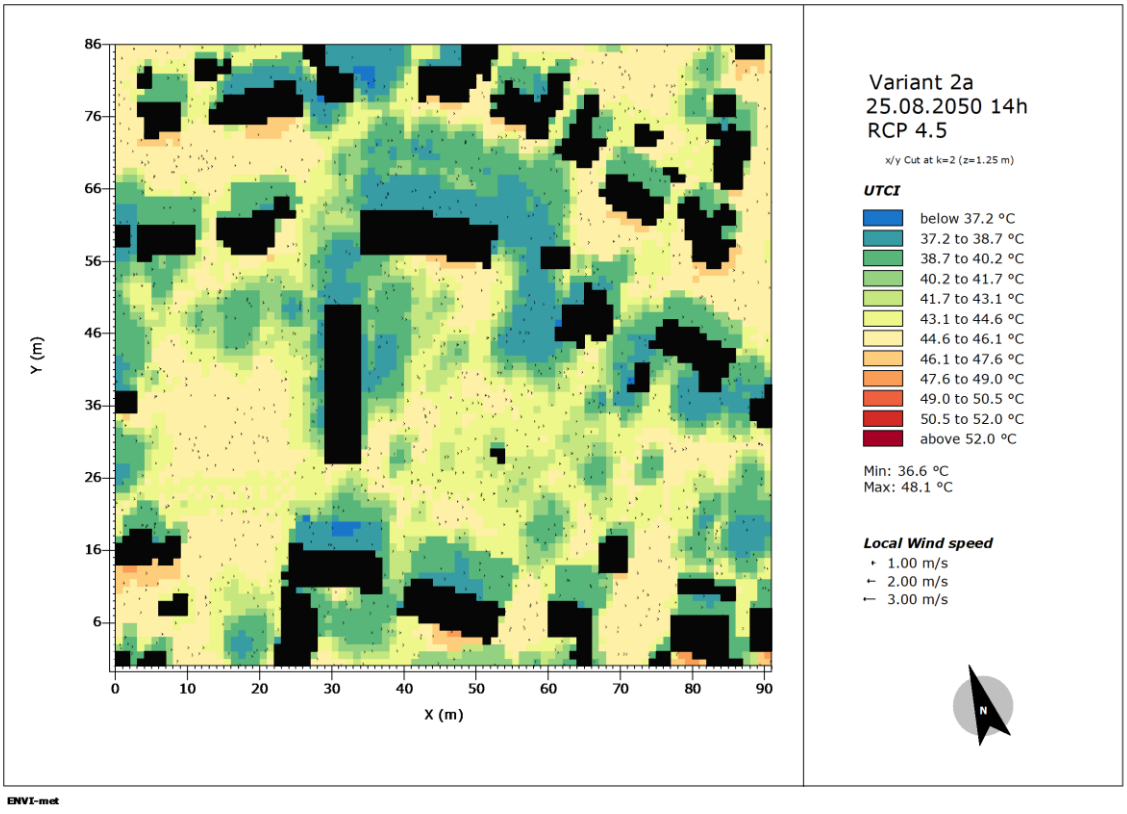

Abbildung 13 Darstellung einer ausgewählten Entwurfsvariante hinsichtlich den empfundenen Außenraumtemperaturen (UTCI) [Lüt24]

Die Ergebnisse bestätigen allgemeine Richtlinien in Bezug auf grüne Infrastruktur und thermischen Komfort, zeigen jedoch, dass eine standortspezifische Analyse wichtig ist und dass die derzeitigen Maßnahmen gegen die Entwicklung des Klimawandels nicht ausreichen.

5.4. Material

Die Baukonstruktion (KG 300) und technische Gebäudeausrüstung (KG 400) der Entwurfsvarianten wurden lebenszyklusbasiert hinsichtlich des Ressourceneinsatzes und den damit verbundenen Umweltwirkungen untersucht. Vorausgesetzt wurde eine schadstofffreie Zusammensetzung der Materialien. Insgesamt wurden folgende elf Kriterien berücksichtigt, siehe Tabelle 2:

Tabelle 2 Analysierte Kriterien

Nr.	Kriterium	Einheit
1	Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT)	kWh
2	Gesamtprimärenergie (PET)	kWh
3	Relativer Anteil der Primärenergie erneuerbar	%
4	Treibhauspotenzial total (GWP-total)	kg CO_2-Äq.
5	Treibhauspotenzial biogen (GWP-biogen)	kg CO_2-Äq.
6	Versauerungspotenzial (AP)	mol H+-Äq.
7	Eutrophierungspotenzial (EP)	mol N-Äq.
8	Ökologischer Flächenbedarf (ELD)	ha/a
9	Gesamtbaumasse	t
10	Urban Mining Indicator (UMI)	%
11	Gesamtendenergiebedarf	kWh

Die Kriterien PENRT, PET, Anteil Primärenergie erneuerbar, GWP, AP und EP wurden mittels Ökobilanzierung gemäß DIN EN ISO 14040 [DIN EN ISO 14040] und DIN EN ISO 14044 [DIN EN ISO 14044] basierend auf der Datenbank ÖKOBAUDAT Version 2023-I-A2 ermittelt. Dabei wurden die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4), Betrieb (B6) und End-of-Life (C3–C4) gemäß DIN EN 15978 [DIN EN 15978] berücksichtigt. Der ökologische Flächenbedarf in Hektar pro Jahr, entwickelt von Vollmer [Vol23], stellt die Fläche der landesweiten natürlichen Ökosysteme dar, die erforderlich ist, um alle Emissionen zu binden, die mit der Produktion, dem Betrieb, dem Austausch von Komponenten und dem Rückbau eines Gebäudes verbunden sind. Die entwickelte Methode berücksichtigt die Indikatoren GWP, EP und AP. Das Kreislaufpotenzial wurde mit der von A. Rosen [Ros21] entwickelten Urban Mining Index (UMI)-Methode bewertet. Die eingesetzten Materialien (Pre-Use) und die daraus resultierenden Wert- und Reststoffe (Post-Use) wurden anhand der Qualitätsstufen ihrer Nachnutzung berechnet und bewertet. Der Gesamtenergiebedarf des Gebäudebetriebs wurde basierend auf den Berechnungen im Handlungsfeld Energie (Kapitel 5.3) berücksichtigt.

Um den Einfluss verschiedener Materialien auf die genannten Kriterien zu untersuchen, wurden für beide Entwurfsvarianten vier Varianten von Baukonstruktionen entwickelt und analysiert (siehe Anlage):

- Kalksandstein: Massivbauweise mit Kalksandstein (Außenwände), Stahlbeton (Decken, Fundament, Dach), Metallständerwand mit Gipskartonplatten (Innenwände), Kunststofffenster
- Ziegel: Monolithische Bauweise mit Ziegel (Außenwände), Stahlbeton (Decken, Fundament, Dach), Metallständerwand mit Gipskartonplatten (Innenwände), Kunststofffenster
- Holzmassivbau: Massivholzbauweise (Außenwände, Decken, Dach), Stahlbeton (Fundament), Metallständerwand mit Lehmbauplatten (Innenwände), Holzfenster
- Holzleichtbau: Holzrahmenkonstruktionen (Außenwände, Decken, Dach), Stahlbeton (Fundament), Metallständerwand mit Lehmbauplatten (Innenwände), Holzfenster

Für die Bauteile der thermischen Gebäudehülle wurde der Effizienzstandard EH 40 gemäß KfW festgelegt. Daraus ergeben sich folgende U-Werte: Außenwände U = 0,14 W/m²K, Fenster U = 0,84 W/m²K, Dach U = 0,12 W/m²K und Fundament U = 0,17 W/m²K.

Um die genannten Kriterien gleichzeitig für die jeweiligen Varianten zu berücksichtigen, wurde die Nutzwertanalyse angewandt. Diese Methode zur multikriteriellen Entscheidungsfindung (en: multi-criteria decision-making, MCDM) ist in anderen Fachbereichen weit verbreitet [RS92; Küh19] und hat sich auch bei Entscheidungsproblemen in der Architektur und im Bauwesen bewährt [Sch01; SF23; VTH+24; TMB+24]. Das allgemeine Vorgehen basiert auf [BEJ+24; Zan70; KS09; Küh21], bei dem die Nutzwerte für jede Alternative berechnet werden. Das detaillierte Verfahren zur Auswahl von Baukonstruktionen wird in [TMB+24] dargestellt und wie folgt zusammengefasst: Zunächst werden die berücksichtigten Kriterien und ihre Gewichtung festgelegt. Anschließend werden die Kriterien für jede Alternative (*hier:* Entwurfsvariante) bestimmt. Die Kriterienergebnisse werden auf eine Skala von 1 (schlechteste) bis 10 (beste) skaliert. Damit wird der Teilnutzwert für jede Alternative und jedes Kriterium durch Multiplikation der Kriteriengewichtung mit dem jeweils skalierten Kriterienergebnis bestimmt. Schließlich wird der Nutzwert für jede Alternative als Summe der jeweiligen Teilnutzwerte berechnet. Die beste Alternative zeichnet sich durch den höchsten Nutzwert aus, der maximal 10 betragen kann. Als Ergebnis kann aus der Menge der Alternativen (*hier:* Entwurfsvarianten V1 und V2 mit jeweils unterschiedlichen Baukonstruktionen) eine Entwurfsvariante für den weiteren Planungsprozess ausgewählt werden. Alle elf Kriterien wurden gleichgewichtet, um eine einheitliche Berücksichtigung aller Kriterien zu gewährleisten. Die Anwendung einer Gleichgewichtung unterstreicht damit den Ansatz einer unvoreingenommenen Bewertung über alle Kriterien hinweg und trägt zu einer umfassenden und objektiven Analyse bei.

Unter Berücksichtigung aller festgelegten Kriterien zeigt Abbildung 14 die Ergebnisse der Nutzwerte für jede Entwurfsvariante.

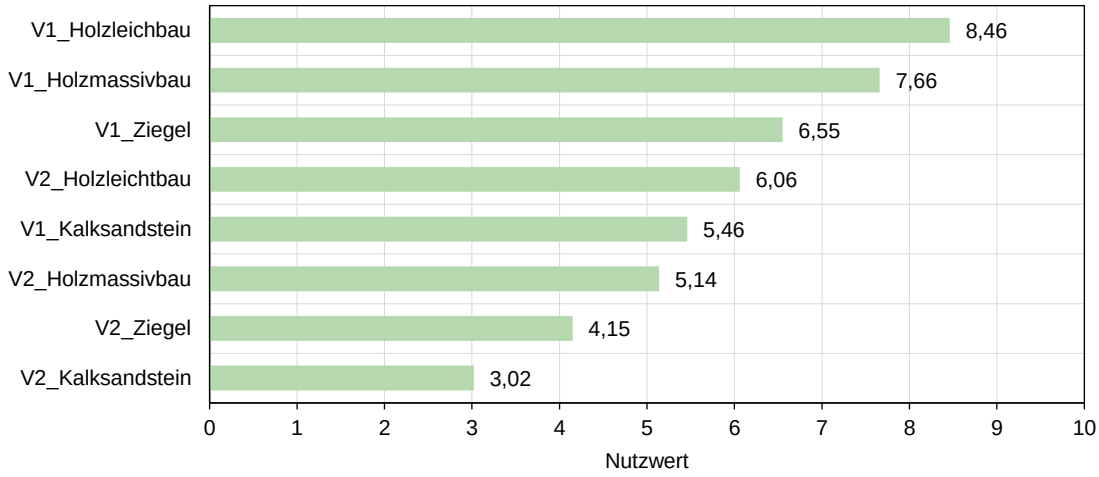

Abbildung 14 Nutzwerte der finalen Entwurfsvarianten V1 und V2

Insgesamt weisen die Nutzwerte für den architektonischen Entwurf V1 tendenziell höhere Werte auf als für V2, was ein besseres Verhalten im Hinblick auf die zuvor beschrieben Kriterien bedeutet. Die Rangfolge der Baukonstruktionen ist für die Varianten V1 und V2 gleich (von der besten zur schlechtesten): Holzleichtbau, Holzmassivbau, Ziegel und Kalksandstein. Die Holzleichtbau-Variante von V2 ist jedoch immer noch besser als die schlechteste Variante von V1, V1_Kalksanstein. Das beste Ergebnis wird von der Variante V1_Holzleichbau mit einem Nutzwert von 8,46 erzielt, gefolgt von der Variante V1_Holzmassivbau mit 7,66. Mit einem Nutzwert von 3,02 schneidet die Variante V2_Kalksandstein am schlechtesten ab.

Gründungsvarianten

Neben den oberirdischen Baukonstruktionen wurden drei Gründungsvarianten hinsichtlich ihres Treibhauspotenzials untersucht: Flachgründung ohne Keller (Bodenplatte aus 20 cm Stahlbeton mit unterseitiger Wärmedämmung), Flachgründung mit vollunterkellertem Erdgeschoss (Bodenplatte wie Flachgründung, erdberührte Außenwände aus Stahlbeton mit Wärmedämmung), Gründung über Schraubfundamente und unterer Gebäudeabschluss als unterseitig gedämmte Massivholzdecke. Für die Gebäude in Kalksandstein- und Ziegelbauweise wurde für die erdberührte Wärmedämmung 14 cm XPS angesetzt, bei den Holzbauweisen 20 cm Schaumglas.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 15 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass von allen untersuchten Bauweisen die Holzleichtbauweise das geringste Treibhauspotenzial (GWP) aufweist und mit einer Holzbauweise, verglichen mit einer mineralischen Bauweise, eine GWP-Einsparung von bis zu 38 % möglich sind. Bei den Gründungsvarianten schneidet eine Flachgründung sowohl bei den mineralischen Bauweisen als auch den Holzbauweisen am besten ab. Eine Vollunterkellerung verursacht die höchsten Treibhausgasemissionen, was eine

Erhöhung des oberirdischen GWP um ca. 25 % bei den mineralischen Bauweisen bedeutet. Bei den Holzbauweisen ist dieser Anteil mit 53–62 % sehr hoch und macht mehr als ein Drittel der gesamten Treibhausgasemissionen aus.

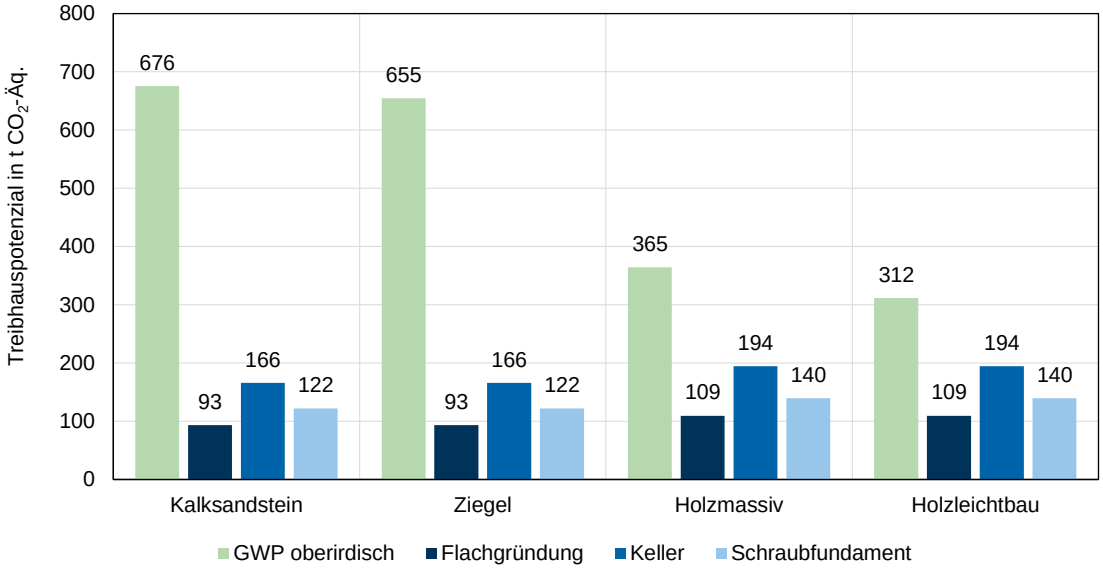

Abbildung 15 Treibhauspotenzial (GWP) für verschiedene Gründungsvarianten und Bauweisen, dargestellt für Entwurfsvariante V1

Im Kontext der lebenszyklusbasierten Klimaneutralität kommt der Gründung eine essenzielle Rolle zu. Auch hier gilt es, Emissionen konsequent zu reduzieren. Die Umsetzung einer Tiefgarage oder eines Kellers widerspricht den Zielen von ECO+, insbesondere im Hinblick auf die Bodenverdichtung und die ökologische Qualität. Dies muss bei der Planung und Realisierung von Praxisprojekten entsprechend berücksichtigt werden, um die Prinzipien einer nachhaltigen und klimafreundlichen Bauweise sicherzustellen.

5.5. Grün

Im Handlungsfeld Grün wurden in einem Entwurfsprozess die gestalterische, multifunktionale und ökologische Qualität und deren Synergien im Freiraum in mehreren Entwurfsvarianten untersucht.

Im gesamten Entwurfsprozess wurde stets darauf geachtet, zuerst einen hochwertigen Freiraum zu entwerfen. Dabei lag der Fokus darauf, vielfältig nutzbare Flächen für Bewegung und Erholung zu schaffen. Wo möglich, wurden sinnvolle Synergien erzeugt und multicodierte Räume gestaltet (Erschließung, Bewegung, Aufenthalt, Treffen, Infrastruktur). Im nächsten Schritt wurden Aspekte der ökologischen Qualität als integrativer Bestandteil der Freiraumgestaltung und als Beitrag zur Steigerung der Aufenthaltsqualität berücksichtigt. So dienen neugeplante Bäume nicht nur als Schattenspender und Raumbildner, sondern auch

als ästhetische hochwertige Freiraumelemente und tragen, je nach Baumartenauswahl z. B. bei der Obsternte, auch zum Naturerlebnis der Bewohnenden bei. Artenreiche Blühwiesen wiederum können in einem gewissen Maße als Bewegungsfläche und Aufenthaltsort dienen und durch ihre Blütenpracht und Insektenreichtum eine weitere Synergie zwischen multifunktionaler und ökologischer Qualität darstellen (Abbildung 16).

Die Gebäudesetzung hat maßgeblichen Einfluss auf die Größe einer zusammenhängenden Freiraumfläche und somit auf den Grünflächenanteil im Projektgebiet. So konnte in V1 (Abbildung 16) eine große zusammenhängende Fläche zwischen Gebäuden bis zu den Grundstücksgrenzen im Süden und Osten für eine enge Verzahnung von verschiedenen Nutzungsangeboten gestaltet werden. In V2 (Abbildung 16) ist der Freiraum durch die Gebäudesetzung stärker zerschnitten und somit fällt die zusammenhängende Fläche zwischen Gebäuden kleiner aus. Durch die Gebäudesetzung wird ein Innenhof gebildet, was die Einbindung der südlichen Grundstücksfläche, insbesondere des Baumbestands, einschränkt. Eine ausreichende Verzahnung der unterschiedlichen Nutzungen ist jedoch ausreichend möglich.

Abbildung 16 Entwurfsvarianten V1 (links) und V2 (rechts)

Die ökologische Qualität der Entwurfsvarianten V1 und V2 wurde mithilfe der aktuellen Ökokonto-Verordnung von Baden-Württemberg [Lan10] durchgeführt. Die Ökokonto-Verordnung von Baden-Württemberg berücksichtigt in ihrer Bewertungsmatrix auch den Boden und bietet somit einen umfangreichen Bewertungsansatz. Die Verordnung konzentriert sich auf die Bewertung von Biotopen (Flora). Die Bewertung von Habitaten (Fauna) ist nur für spezifische Arten möglich. Daher wurde in der Bewertung der ökologischen Qualität der verschiedenen

Entwurfsvarianten nur Boden und Biotope berücksichtigt. Da die Bewertung von Fassadenbegrünung und Dachbegrünung nicht in der verwendeten Version der Ökokonto Verordnung integriert ist, wurde die Bewertung der Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen basierend auf der Bachelorarbeit von Rösler [Rös22] durchgeführt. Die Bewertung von Dachbegrünung erfolgte durch die Expertise von Prof. Dr. Christian Küpfer. Zudem wurde darauf geachtet, dass Möglichkeiten zur Anrechnung von Herstellungskosten von Biotopen, zum Beispiel bei Trockenmauern, nicht mit in die Bewertung eingeflossen sind. Damit ist gewährleistet, dass es auf sehr geringer Fläche zu einer Verzerrung der Bewertung kommen kann. Die Gesamtbewertung der ökologischen Qualität ist maßgeblich durch die Bewertung des Bodens geprägt, worauf der Versiegelungsgrad signifikanten Einfluss hat, sowie die vorhandenen und geplanten Biotope. Die Bewertung von wertvollen Habitaten erfolgt über die Kartierung von geschützten Tierarten und deren Habitate im Projektgebiet. Zur Bewertung von geplanten Biotopen wurde das Planungsmodul der Ökokonto Verordnung verwendet. Ökopunkte des Planungsmodul beziehen sich stets auf den Biotopzustand 25 Jahre nach dessen Herstellung.

Die Bewertung der ökologischen Qualität des Bestands erfolgte durch fachkundige Studierende im Rahmen des Entwurfsprojektes „Umweltpositives Quartier Debring". Die Studierenden wurden bei der Bewertung durch die Verfasser des vorliegenden Forschungsprojektes betreut. Zur Bewertung des Bestandes wurde das Feinmodul der Ökokonto Verordnung verwendet. In Abbildung 17 ist abzulesen, dass es sich mit einer Gesamtbewertung von 119.589 Ökopunkten bei dem Projektgebiet um eine ökologisch wertvolle und unversiegelte Brachfläche innerhalb der Ortschaft Debring handelt.

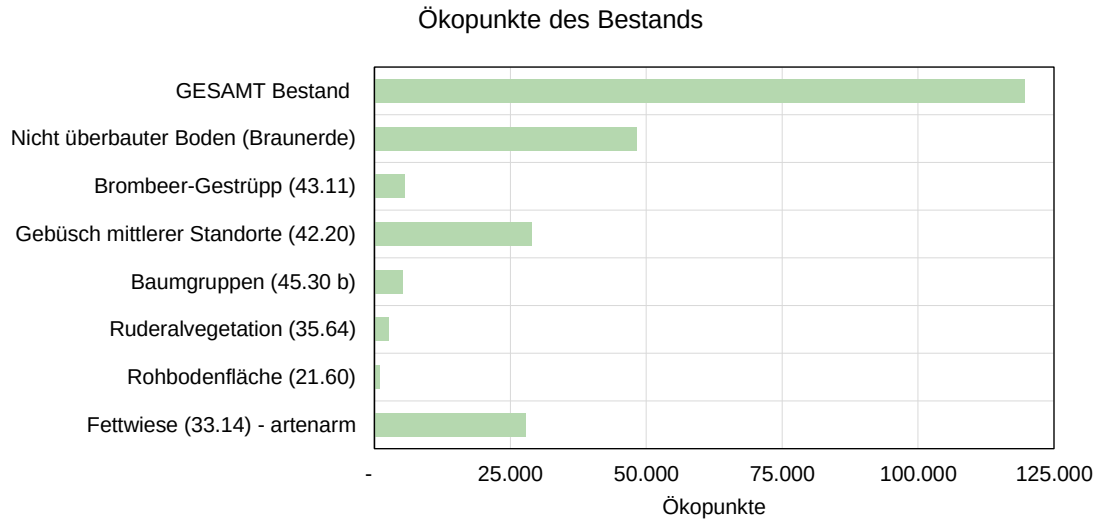

Abbildung 17 Bewertung des Biotopbestands des Projektgebietes nach der Ökokonto-Verordnung Baden-Württemberg

Zum Zeitpunkt der Kartierung konnten keine geschützte Tierart mit einem dauerhaften Habitat im Projektgebiet gefunden werden. Somit wurde der Erhalt und die Erweiterung von Habitaten geschützter Tierarten im Entwurfsprozess nicht berücksichtigt.

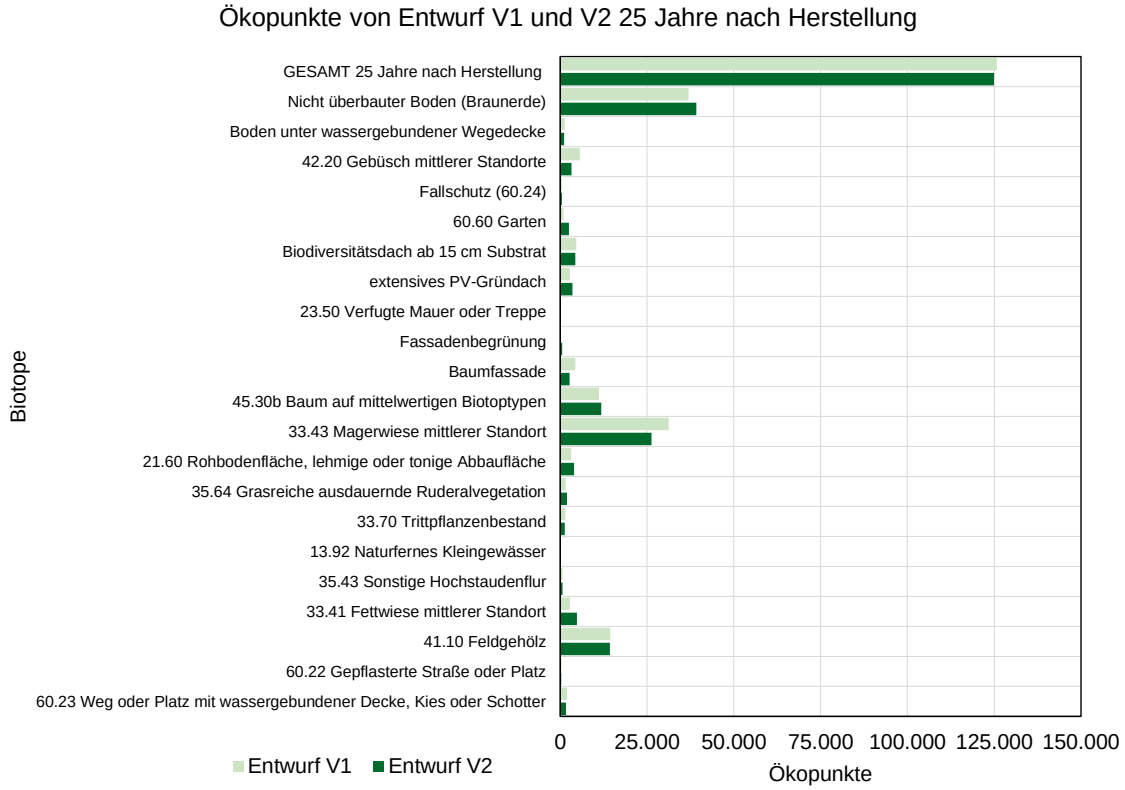

Abbildung 18 Vergleich von Fassadenbegrünungen mit Baumfassaden (Entwurf V1a) und Kletterpflanzen (Entwurf V1b) 25 Jahre nach Herstellung.

Abbildung 18 stellt die ökologische Bewertung 25 Jahre nach Herstellung beider Entwurfsvarianten V1 und V2 gegenüber. Dabei weist V1 125.792 Ökopunkte auf und somit 1.973 Ökopunkte mehr als V2 mit 123.819 Ökopunkten. Damit ergibt sich für V1 ein Mehrwert an Ökopunkten von 6.203 Punkten und für V2 ein Mehrwert von 4.230 Ökopunkten im Vergleich zum Ausgangszustand. Zudem wurde betrachtet, welche Entwicklungsdauer der Biotope notwendig ist, um eine ökologische Bewertung zu erhalten, die oberhalb des Bestands angesetzt wird. In allen Entwurfsvarianten wurde ersichtlich, wie wichtig der Erhalt von Bestandgehölzen und die Neupflanzung von Bäumen und Gebüschen sowie deren Entwicklungsförderung für ökologische Qualität sind. So wurden die Gehölze in V1 mit insgesamt 31.168 Ökopunkten und in V2 mit 29.382 Ökopunkten bewertet. Artenreiche Wiesenflächen wurden in V1 mit 31.262 und in V2 mit 26.297 Ökopunkten bewertet. Die Begrünung der Gebäudehülle erhält eine Bewertung von insgesamt 11.681 Ökopunkten für V1 und für V2 11.121 Ökopunkte.

Abbildung 19 verdeutlicht im Vergleich der Varianten V1 und V2, dass der Wert der Ökopunkte des Bestandes erst 25 Jahre nach Herstellung der Biotope übertroffen wird.

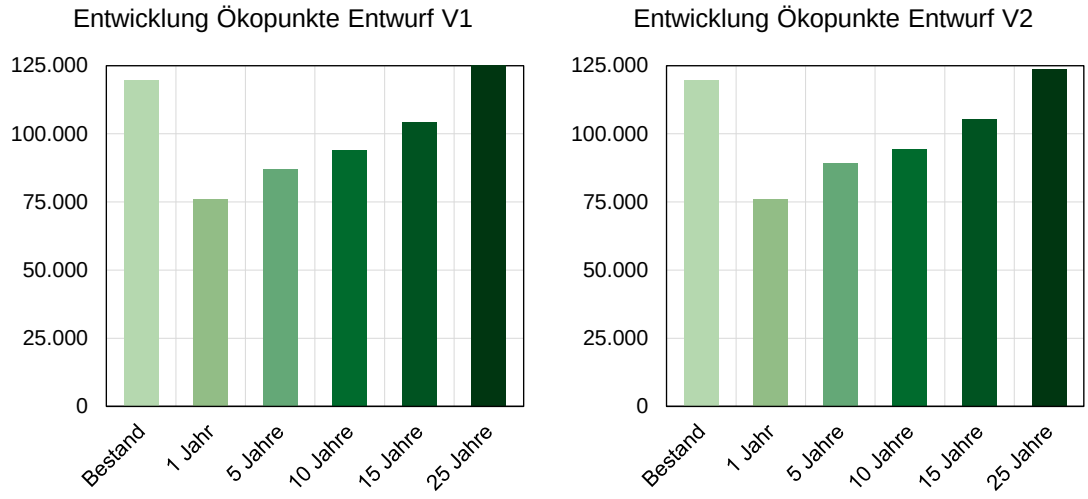

Abbildung 19 Vergleich der Entwicklung der Ökopunkte über 25 Jahre nach Herstellung von Entwurfsvariante V1 (links) und V2 (rechts) sowie Bilanzierungsvergleich zwischen Bestand und Planung

Die Angaben zur Bewertung von Gehölzen und Wiesen verdeutlichen die besondere Wichtigkeit des Erhalts bzw. der Neuplanung von großen Grünflächen zur Steigerung der ökologischen Qualität eines Bauprojektes. Die Bewertung der Gebäudehülle zeigt das ökologische Potenzial von Fassaden- und Dachbegrünungen auf und dass sie einen wesentlichen Beitrag zur ökologischen Qualität eines Quartiers beitragen können.

5.6. Wasser

Im Handlungsfeld Wasser wurde der Ansatz verfolgt, die Wasserbewirtschaftung möglichst lokal im Projektgebiet durchzuführen und als einen integrativen Bestandteil des Freiraums zu gestalten. Dazu zählte die Integration einer Pflanzenkläranlage mit Teich zur Aufbereitung von Grauwasser zu Brauchwasser für Toilettenspülung und Bewässerung. Zudem wurde darauf geachtet, dass Starkregenereignisse auf dem Grundstück zurückgehalten werden und es somit zu keinem Oberflächenabfluss kommt. Für den Regenrückhalt wurden in beiden Entwurfsvarianten neben dem Teich zusätzlich Versickerungsmulden unter den aufgeständerten Gebäuden geplant. Das Ziel der Integration der Wasserbewirtschaftung in die Freiraumgestaltung ist es, diese für die Bewohner:innen erlebbar zu machen und somit ein Verständnis für den Wasserkreislauf zu entwickeln.

Um den Wasserkreislauf mit den einzelnen Wasserströmen (Regenwasser, Frischwasser, Grauwasser, Betriebswasser, Schwarzwasser, Oberflächenablauf, Versickerung, Grundwasserneubildung und Verdunstung) im Fallbeispiel in jeder Entwurfsphase zu simulieren, wurde im Rahmen einer Masterthesis eine ausführliche Analyse von 14 verschieden

Simulationsmodellen zur Quantifizierung der einzelnen Wasserströme durchgeführt [Elmashak 2023]. Dabei stellte sich heraus, dass es kein Simulationsmodell auf dem Markt gibt, dass die Quantifizierung aller erforderlichen Wasserströme in einem Modell vereint.

Zur Quantifizierung der einzelnen Wasserströme wurde somit ein eigenes Excel-Tool entwickelt, um die Wasserbilanz der einzelnen Entwurfsstadien während des Entwurfsprozesses zu erstellen. Die Berechnung der Wasserbilanz bezieht sich auf ein Kalenderjahr mit der Darstellung der Tageswerte. Dabei wird aus den Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der letzten 20 Jahre ein Durchschnittsjahr für die Niederschlagsmenge erstellt. Zur Berechnung der Versickerungsrate von Regenwasser im Boden wurde anhand der Bodenkarte des Bayern Atlas als überwiegende Bodenart Braunerde identifiziert [Bay23a] und der kf-Wert für Braunerde nach Schultze und Muhs [SM67] mit 10^{-6} festgelegt. Die Berechnung der Verdunstung unterschiedlicher Vegetationstypen und Belagsoberflächen basiert auf den Angaben von Vulova et al. [VRM+23], Hoelscher et al. [HNJ+16] und der Online-Simulation FReWaB der Professur für Hydrologie der Universität Freiburg [Pro13-ol]. Die Berechnung des Oberflächenablaufs wurde basierend auf den Angaben zu Abflussbeiwerten der DIN 1986-100:2016-12 [DIN 1986-100] durchgeführt. Zur Berechnung der Grundwasserneubildung wurde der Einfachheit halber von der Menge des versickerten Wassers die Menge des verdunsteten Wassers abgezogen. Der aktuelle Stand des Excel-Tools lässt aufgrund der ungenauen Datengrundlage zu Verdunstungsraten verschiedener Belagsoberflächen und Vegetationen sowie fehlender Bodenproben und der damit auch fehlenden Ermittlung des kf-Wertes im Projektgebiet noch keine präzise Berechnung der Wasserbilanz zu. Die Ergebnisse sind jedoch ausreichend aussagekräftig, um damit plausible Abschätzungen zu treffen, ob das Ziel von Wasser-positiv erreicht werden kann.

Zur Berechnung des Frischwasserbedarfs wurde der Datensatz zum Frischwasserverbrauchs in Deutschland von 2021 des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft [Bun22-ol] verwendet (Tabelle 3). Zur Berechnung des Frischwasserbedarfs in den Entwurfsvarianten wurde mit Hilfe des Wasserverbrauchsrechners des Hamburg Water Cycle ein plausibles Einsparpotential ermittelt [Hamburg Wasser 2024]. Der daraus resultierende Frischwasserbedarf wurde etwa 30 % unter der Durchschnittsangabe angesetzt. Zusätzlich wurde ein Anteil für Kleingewerbe berücksichtigt, um die Nicht-Wohnnutzung abzubilden (z. B. Kita etc.). Die Berechnung von anfallendem Grauwasser und daraus gewonnenem Betriebswasser ergeben sich aus den Verbrauchsangaben zu Körperpflege, Wäschewaschen und Geschirrspülen. Die Menge an Schwarzwasser setzt sich aus den Angaben zur Toilettenspülung und der Raumreinigung zusammen.

Tabelle 3 Durchschnittlicher Trinkwasserverbrauch pro Person in Deutschland (Stand 2021)

Tätigkeit	Durchschnitt in Liter	Reduziert in Liter
Körperpflege (Baden, Duschen)	45,7	30,9
Toilettenspülung	34,3	0,0
Wäschewaschen	15,2	10,3
Geschirrspülen	7,6	5,2
Raumreinigung, Autopflege, Garten	7,6	5,2
Essen, Trinken	5,1	5,1
Anteil Kleingewerbe	11,4	11,4
Summe	**127**	**68,1**

Für den Bestand des Projektgebietes wurde ein durchschnittlicher Jahresniederschlag von ca. 3.770 m³ ermittelt. Für den Bestand wurde eine hohe Grundwasserneubildung von ca. 1.356 m³/Jahr und eine Verdunstung von ca. 2.414 m³/Jahr berechnet (Abbildung 20). Dies spielet wieder, dass es sich beim Projektgebiet um eine unversiegelte Brachfläche mit einem hohen Anteil an offener Wiesenfläche handelt.

Für die Entwurfsvariante V1 wurde eine Grundwasserneubildung aus Regenwasser von ca. 1160 m³ und eine Verdunstung von ca. 2.474 m³ berechnet (Abbildung 20). Zusammen mit der Nutzung von Wasser aus dem Oberflächenablauf und Betriebswasser, das zum Gießen zur Verfügung steht, kann die Grundwasserneubildung auf ca. 1.315 m³/Jahr erhöht werden. Dem gegenüber steht ein Frischwasserbedarf von ca. 1.242 m³/Jahr bei einer Anzahl an Bewohnenden von 50 Personen. Daraus resultiert ein Überschuss an neugebildetem Grundwasser von ca. 73 m³/Jahr. Für die Entwurfsvariante V2 wurde eine Grundwasserneubildung aus Regenwasser von ca. 1.094 m³ und eine Verdunstung von ca. 2.560 m³ berechnet (Abbildung 20). Zusammen mit der Nutzung von Wasser aus dem Oberflächenablauf und Betriebswasser, das zum Gießen zur Verfügung steht, kann die Grundwasserneubildung auf ca. 1.245 m³/Jahr erhöht werden. Dem gegenüber steht ein Frischwasserbedarf von ca. 1.242 m³/Jahr bei einer Anzahl an Bewohner:innen von 50 Personen. Daraus resultiert ein Überschuss an neugebildetem Grundwasser von ca. 3 m³/Jahr.

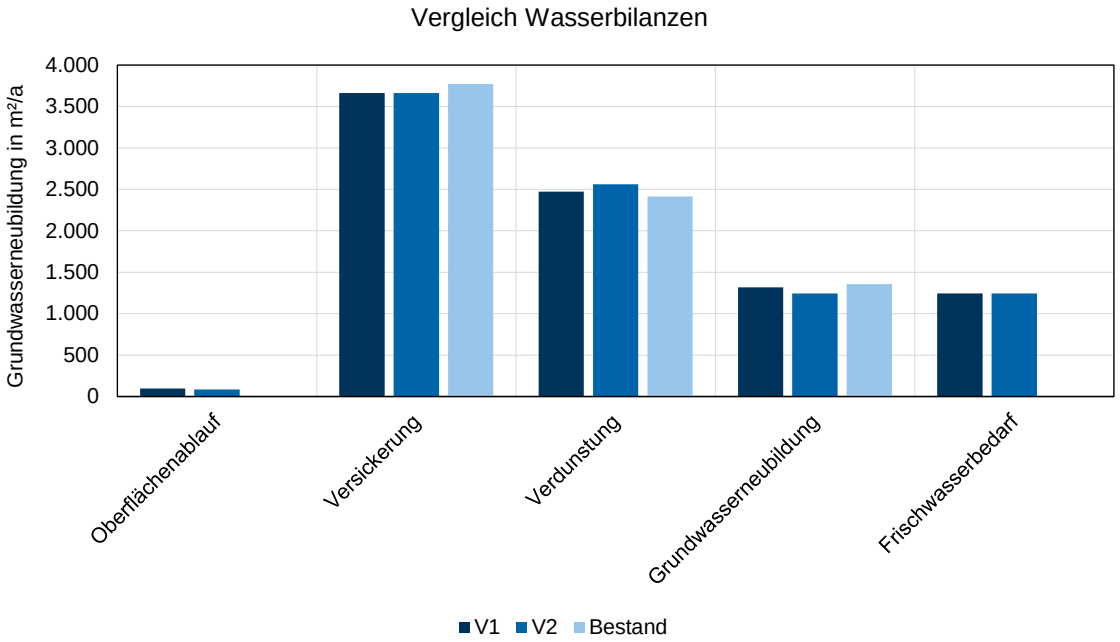

Abbildung 20 Vergleich der Wasserbilanzierungen für ein Kalenderjahr des Bestands und der Entwurfsvarianten V1a, V1b und V2

Für den Entwurfsprozess war das studentische Entwurfsprojekt „Umweltpositives Quartier Debring" äußerst hilfreich, da durch die Vielzahl unterschiedlicher Entwürfe, insgesamt 27, eine große Bandbreite an Einflussfaktoren auf die Wasserbilanzierung ermittelt werden konnten (in diesem Bericht nicht enthalten). Als maßgeblicher Faktor hat sich die Bewohnerzahl herausgestellt, gefolgt von Grauwasserbewirtschaftung, Oberflächenversiegelung und Baumpflanzungen. Die zentrale Erkenntnis für die Wasserbilanz aus dem Entwurfsprozess ist, dass mit Grauwasserbewirtschaftung 50 Personen im Projektgebiet wohnen können, um noch einen Überschuss von Grundwasserneubildung gegenüber Frischwasserbedarf zu erzielen. Diese Erkenntnis bildete im weiteren Entwurfsprozess für alle Handlungsfelder einen festen Rahmen, innerhalb dessen ermittelt wurde, welche bauliche Dichte möglich ist, wie die Energieversorgung bereitgestellt werden kann und welche Auswirkung dies auf die Freiraumgestaltung sowie die ökologische Qualität im Projektgebiet hat.

Aus dem weiteren Entwurfsprozess wurde ersichtlich, dass sich der Einfluss der Wasserbilanz bzgl. baulicher Dichte und Freiraumgestaltung nur noch auf die Größe des Überschusses an Grundwasserneubildung beschränkt, sobald die maximal mögliche Bewohnerzahl ermittelt wurde. Dies wird durch die beschriebenen Entwurfsvarianten V1 und V2 verdeutlicht.

5.7. Mobilität

Die Gemeinde Stegaurach befindet sich im ländlichen Raum, der vom deutschen Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung als Region mit weniger als 1.000 Einwohner:innen pro km²

definiert wird. Stegaurach ist mit seinen 297 Einwohner:innen pro km² per Definition diesem Raum zuzuordnen, jedoch mit einer Entfernung von rund 7 km zum Bamberger Hauptbahnhof sehr gut an den städtischen Raum angeschlossen [Bay24-ol].

Die Betrachtung der vorhandenen Mobilitätsangebote und der Infrastruktur ist wichtig, um geeignete Maßnahmen vorsehen zu können. Folgende Mobilitätsangebote und Infrastruktur konnte in der Gemeinde Stegaurach identifiziert werden:

- ÖPNV in weniger als 10 min fußläufig (Stadtbus)
- E-Ladeinfrastruktur vor dem Rathaus Stegaurach in 1 km verfügbar
- Bürgermobil seit 2017
- Nahversorger fußläufig in weniger als 10 min
- Kindertagesstätte in der Gemeinde vorhanden
- Kooperation mit Carsharing-Anbieter Mejaudo in Bamberg vorstellbar

Mit der geltenden Stellplatzsatzung der Gemeinde Stegaurach sind bei je angefangener 50 m² Wohnfläche pro Wohneinheit (WE) ein Stellplatz herzustellen. Dies führt dazu, dass in den Entwurfsvarianten und einer Annahme von rund 100 m² Wohnfläche/WE in Variante V1 mit 14 WE 42 Stellplätzen und in V2 mit 15 WE 45 Stellplätzen herzustellen sind. Die Untersuchungen zu Gründungsvarianten (siehe Kapitel 5.4) zeigen, dass dies ohne die Herstellung einer konventionellen Tiefgarage zu realisieren ist. Die Anordnung dieser großen Anzahl an Stellplätzen an der Oberfläche hat wiederum Auswirkungen auf die Handlungsfelder Grün und Wasser. Im Folgenden werden daher Maßnahmen aufgezeigt, die zur Reduktion des Stellplatzschlüssels innerhalb eines Mobilitätskonzeptes führen können.

Auswirkungen auf den Entwurf

Ein Mobilitätskonzept bildet die Grundlage für die Reduktion der örtlich geltenden Stellplatzsatzung und ist wechselwirkend ein großer Hebel für positive Wirkungen in den Handlungsfeldern Material und Grüne Infrastruktur. Das Mobilitätskonzept soll im Folgenden erläutert werden, da sich viele der konzeptionellen Maßnahmen nicht in den Entwurfsvarianten planerisch ablesen lassen.

Der Entwurf des Mobilitätskonzeptes gilt als erste Gesprächsgrundlage mit der Gemeinde und den Trägern öffentlicher Belange. Für die Region wird die Reduktion auf 1 Stellplatz pro WE als sinnvoll, allerdings seitens der Gemeinde als ambitioniert eingeschätzt. Die Bedenken richten sich oftmals dagegen, dass die zukünftigen Bewohner mehr als einen Stellplatz benötigen, die zusätzlichen PKWs auf der öffentlichen Straße abstellen und so die Parkraumknappheit verschärfen.

- Ein Stellplatz pro Wohneinheit
- Rückfallebene: Stellplätze sind planerisch nachzuweisen, um ggf. notwendige Stellplätze zukünftig nachweisen zu können.
- 80 % der Stellplätze sind als oberirdische, am besten überdachte Stellplätze vorzusehen.
- 20 % der Stellplätze können über Pedelecs und Lastenräder abgebildet werden.
- Zwei Carsharing-Stellplätze mit Ladeinfrastruktur sind vorzusehen und lokale Kooperationspartner einzubinden (Mejaudo).
- Infrastruktur: Gemeinschaftsraum, Paketbox, gemeinschaftliche Veranstaltungen, Gästewohnung, gewerblich vermietbare Einheiten.

Der Bauherr kann sich als Sicherheit für die Gemeinde über den städtebaulichen Vertrag und der Erläuterung zum B-Plan zu der Umsetzung und Einhaltung des Mobilitätskonzeptes verpflichten. Eine weitere Sicherheit stellt eine Rückfallebene dar, falls es sich in der Entwicklung des B-Planes doch zu weiteren Hürden oder Konflikten kommt. Die für das Konzept angedachte Rückfallebene bildet eine Stellplatzablöse für einen Teil der Stellplätze.

Einordnung der Entwürfe anhand der wechselwirkenden Kriterien

Folgende Einflussbereich der Mobilität lassen sich identifizieren, in denen positive Wirkungen auf Quartiersebene erreicht werden können:

- **Umweltwirkungen (1):** Berücksichtigung der Erschließungssituation des Grundstücks und der Verkehrsführung zur Lärm- und CO_2-Emissionsreduzierung im Quartier und Reduzierung der Stellplätze durch ein Mobilitätskonzept [Bun23-ol]
- **Infrastruktur (2):** Reduktion der Wege durch Schaffung von Infrastruktur auf Quartiersebene und Anschließung an ÖPNV-Anbindungen
- **Soziale Auswirkungen (3):** Berücksichtigung von Sharing-Angeboten im Mobilitätskonzept und Maximierung positiver sozialer Auswirkungen [Tec23-ol]

Zu (1) Umweltwirkungen

Beide Entwürfe sehen aufgrund der Wechselwirkungen mit dem Handlungsfeld Material keine Tiefgarage vor und sehen oberirdische Stellplätze vor. Für die Erschließung der Stellplätze ist in beiden Entwürfen eine Stichstraße auf das Grundstück vorgesehen, welche die Aufenthaltsqualität im Gegensatz zu einer Tiefgarage in diesem Grundstücksbereich verringert. Dafür können in den Handlungsfeldern Material und grüne Infrastruktur positivere Ergebnisse erzielt werden.

Die Variante 1 bietet 25 oberirdische Stellplätze, während Variante 2 20 hat. Es wird deutlich, dass die notwendige Anzahl an Stellplätzen gemäß der Stellplatzsatzung für V1 von 42 und

V2 von 45 nicht erreicht werden kann, sodass in Abstimmung mit der Gemeinde Stegaurach diese über ein funktionierendes Mobilitätskonzept mit Rückfallebene zur Reduktion der Stellplätze erbracht werden können.

Das Ziel des Mobilitätskonzeptes setzt daran an, den zweiten Pkw im ländlichen Raum zu ersetzen. In Gesprächen mit der Gemeinde wird ersichtlich, dass bei einer Reduzierung des Stellplatzschlüssels die öffentliche Straße als Abstellort genutzt wird. Eine mögliche Lösung ist es, die Reduzierung für die späteren Bewohner über eine Verpflichtung für den Bauherren im städtebaulichen Vertrag sowie den vorhabenbezogenen Bebauungsplan zu regeln.

Im Folgenden soll auf die unterschiedlichen Mobilitätslösungen innerhalb eines Mobilitätskonzeptes eingegangen werden, welche die Reduktion der Umwelteinwirkungen und einer Maximierung der positiven sozialen Auswirkungen zum Ziel haben.

Es gibt in der Gemeinde Stegaurach bereits Ladesäulen vor dem Rathaus, allerdings sind diese nicht überdacht und mit einer Entfernung von 1 km für eine Quartierslösung unpraktikabel. Daher sollte auf dem Grundstück eigene Ladeinfrastruktur vorgehalten werden. Deren Herstellung könnte über den städtebaulichen Vertrag und B-Plan mit der Gemeinde festgehalten werden.

Bei beiden Entwurfsvarianten ist keine Rückfallebene vorgesehen, sodass zukünftig bei Bedarf keine weiteren Stellplätze vorgehalten werden könnten.

Zu (2) Infrastruktur

In vielen ländlichen Regionen sind Lebensmittelgeschäfte, Post oder Banken – Einrichtungen, die oft auch eine wichtige soziale Funktion als Treffpunkt haben – nicht mehr in jedem Ort vorhanden. Daher ist es Ziel, den Zugang zu Mobilität für die Menschen zu ermöglichen, die nicht selbst fahren können oder keine finanziellen Mittel besitzen. Dazu gehören Kinder und Jugendliche, Ältere, die nicht mehr fahren können oder wollen, Menschen mit Mobilitätseinschränkungen und körperlichen Beeinträchtigungen, Personen ohne Führerschein und Menschen, die sich kein Auto leisten können [BKM16]. In Stegaurach ist mit einer Arztpraxis, einer Kindertagesstätte und einem Nahversorger für die täglichen Wege bereits eine gute Infrastruktur vorhanden. Des Weiteren befindet sich ein ÖPNV-Anschluss in unmittelbarer Nähe des Bürgermobils, weniger als 10 Gehminuten bzw. 1 km entfernt. Für den Bereich Infrastruktur werden Lösungen betrachtet, die auf Quartiersebene geschaffen werden können.

Die Herstellung einer eigenen Infrastruktur in dem Quartier ermöglicht es, Wege zu Reduzieren und gleichzeitig die Gemeinschaft zu fördern. Die Berücksichtigung eines

Gemeinschaftsraumes, der von allen Bewohnern genutzt werden kann, ist eine Möglichkeit. Hier kann direkt im Quartier ein Freizeitangebot geschaffen werden oder es können Feiern durchgeführt werden, was zusätzliche Wege vermeidet. Als weitere planerische Lösungen bietet es sich an Paketboxen auf dem Grundstück oder eine Gästewohnung anzubieten. Kleine Gewerbeflächen für den Einzelhandel anzubieten oder auch Coworking-Flächen sind weitere Lösungen, die auch für die Nachbarschaft und Öffentlichkeit Mehrwerte generieren können.

Zu (3) Soziale Auswirkungen

Viele Bewohnerinnen und Bewohner auf dem Land sind einerseits stark auf ihr Auto angewiesen und auf der anderen Seite der Meinung, dass neue Mobilitätsangebote nicht bei ihnen in deren Umgebung entstehen werden [MHJ+21]. Ein Ziel der Mobilitätswende ist es daher, ÖPNV- und Sharing-Angebote nach Möglichkeit attraktiver als den autonomen Individualverkehr zu gestalten [Tec23-ol]. Daher ist es wichtig, zur bereits vorhandenen Infrastruktur neue Angebote zu schaffen, die den sozialen Austausch in der Gemeinschaft fördern und die Wahl der Mobilität ermöglichen, die unabhängig von den Kosten und im Einklang mit den eigenen Werten steht. Ein zentraler Ansatzpunkt ist es, ein gemeinsam nutzbares Carsharing-Angebot zu schaffen, das die gleichen Bedürfnisse wie das eigene Auto erfüllt. Hierzu bieten sich insbesondere gemeinschaftliche Wohnformen an, die über das Teilen des Pkws auch Fahrräder und Lastenräder beinhalten sollte. Für die Nutzung dieser Angebote ist es wichtig, dass sie für die Bewohner:innen gut erreichbar sind und ein barrierefreier Zugang ermöglicht wird. Die Entwurfsvarianten V1 und V2 bieten neben einer guten Erreichbarkeit für die Bewohner:innen auch eine hohe Sichtbarkeit von der Straße und könnten somit auch von der Öffentlichkeit genutzt werden.

Die Investitionskosten für die Mobilitätsangebote sind von den Bewohner:innen zu tragen und lassen sich gegenüber individuell zu leistenden Kosten reduzieren und ermöglichen einen breiteren Zugang zu Mobilität. Alternativ ist die Kooperation mit Carsharing-Anbietern sinnvoll, welche die Infrastruktur bereitstellen könnten.

6. Erkenntnisse und Produkte (Post-Design)

6.1. Schlüsselerkenntnisse aus dem Entwurfsprozess

Bei der Entwicklung der Entwurfsvarianten zeigte sich, dass die Zusammenarbeit von Architekt:innen und Landschaftsarchitekt:innen zu Projektbeginn etabliert werden sollte, um möglichst große Synergieeffekte zwischen Freiraumgestaltung und Gebäudesetzung zu erzielen. Auf diese Weise können die Aspekte der ökologischen Qualität und der Wasserbewirtschaftung frühzeitig in den Entwurfsprozess integriert werden. Dadurch wird ein Rahmen geschaffen, der die Entwicklung eines umweltpositiven Entwurfs plausibel und gut umsetzbar macht. Im Anschluss daran sollten weitere Fachplanende, unter anderem aus den Bereichen Bauphysik, Brandschutz, Gebäudetechnik und Tragwerksplanung in den Entwurfsprozess integriert werden, um die Plausibilität eines umweltpositiven Entwurfs weiter zu festigen. Der optimierte Planungsablauf für weitere Projekte ist in Abbildung 21 dargestellt.

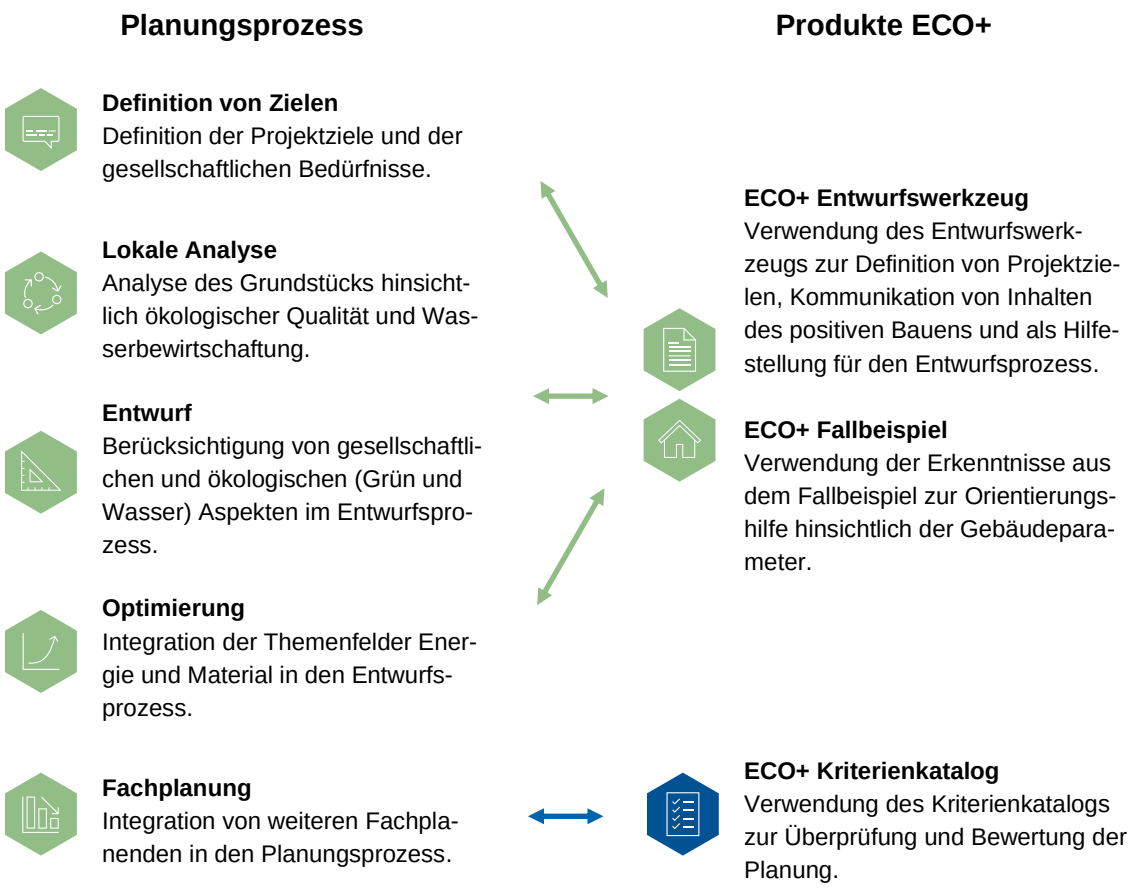

Abbildung 21 Optimierter Planungsablauf für positives Bauen basierend auf dem Forschungsprojekt ECO+

Im Entwurfsprozess der Varianten V1 und V2 wurde sehr früh deutlich, dass die im Handlungsfeld Gesellschaft zu treffenden Entscheidungen stets zu Konsequenzen im gleichen oder in anderen Handlungsfeldern führten. Beispiele hierfür sind die bauliche Dichte im

Hinblick auf die Schaffung von dringend erforderlichem Wohnraum und die damit verbundene Flächeninanspruchnahme auf dem Grundstück (Freiflächen, Wasserhaushalt, Stellplätze usw.), gestalterische Entscheidungen und die Balance zwischen Energieeffizienz (A/V-Verhältnis, Ausrichtung usw.) und städtebauliche Integration oder konstruktive Entscheidungen sowie der Einfluss auf die flexible Umnutzbarkeit und Gestaltbarkeit der Wohnungen, Gebäude und Quartiere. Zudem zeigte sich, dass der ortsübliche Stellplatzschlüssel vom Fallbeispiel in Debring vor dem Hintergrund der ECO+ Ziele in den Handlungsfeldern Material, Grün und Wasser nicht anwendbar war, wenn gleichzeitig eine relativ hohe Dichte an Bewohner:innen erreicht werden soll. Der Stellplatzschlüssel von Debring fordert einen PKW-Stellplatz pro 50 m² Wohnfläche einer Wohneinheit. Die Anwendung dieses Stellplatzschlüssels würde im Vergleich zu einem Stellplatz pro Wohneinheit in den Entwurfsvarianten die doppelte bis dreifache Stellplatzanzahl bedeuten. Folglich kann der Stellplatzschlüssel für umweltpositive Bauvorhaben nicht höher sein als eins, da sonst zu viel Fläche verdichtet und/oder versiegelt würde bzw. äußerst CO_2- und materialintensive Lösungen wie Tiefgaragen erforderlich wären. Vor diesem Hintergrund sind die Erstellung und Umsetzung eines ausgereiften Mobilitätskonzepts essenziell, um eine gute Mobilität der Bewohner:innen auch bei einem reduzierten Stellplatzschlüssel zu gewährleisten.

Für den Gebäudebetrieb konnte eine Versorgung mit ausschließlich erneuerbaren Energien (Wärmepumpe bzw. erneuerbare Fernwärme, Photovoltaik) in beiden Entwurfsvarianten nachgewiesen werden. Die Nutzung von am Standort erzeugtem Solarstrom war ein elementarer Bestandteil zum Erreichen der ECO+ Ziele im Handlungsfeld Energie. Des Weiteren konnte der thermische Komfort für aktuelle (Jahr 2024) und zukünftige (Jahr 2100, RCP8.5) Klimaszenarien nachgewiesen werden. In den Entwurfsvarianten wurden hierfür passive Maßnahmen berücksichtigt (außenliegender Sonnenschutz, bauliche Auskragungen, Nachtlüftung) sowie gebäudenahe grüne Infrastruktur, die darüber hinaus das Mikroklima positiv beeinflusst (Quelle: Masterarbeit Agatha?).

Im Hinblick auf das lebenszyklusbasierte Treibhauspotenzial wurde eindeutig, dass mit einer Holzbauweise gegenüber einer mineralischen Bauweise etwa 34 % Treibhausgasemissionen eingespart werden können. Das größte Einsparpotenzial ergab sich durch die Vermeidung einer Unterkellerung. Bezogen auf die Baukonstruktion und Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung war eine Klimaneutralität jedoch auch mit nachwachsenden Rohstoffen nicht möglich, da für die Herstellung nach wie vor fossile Energien verwendet werden. Rechnerisch konnte eine Klimaneutralität im gesamten Lebenszyklus erst unter Berücksichtigung der am Standort erzeugten erneuerbaren Energie durch Photovoltaik mit einer Fläche von 0,2 m² pro m² BGF nachgewiesen werden.

Um vor dem Hintergrund der definierten Ziele einer positiven Wasserbilanz (Grundwasserneubildung größer als Frischwasserbedarf der Bewohner:innen) eine angemessene Dichte an Bewohner:innen zu ermöglichen und dabei innerhalb der Wasserressourcen des Projektgebietes zu bleiben, war die Integration der Grauwasserbewirtschaftung essenziell. Im Forschungsprojekt konnte aufgezeigt werden, dass sich die notwendigen Maßnahmen zur Grauwasserbewirtschaftung (Pflanzenfilter, Teich, etc.) in die Freiraumgestaltung des Quartiers integrieren lassen und somit auch für die Aufenthaltsqualität der Bewohner:innen einen Mehrwert darstellen können. Weitere Maßnahmen zur Reduktion des Frischwasserbedarfs bzw. des Abwasseraufkommens wurden im Fallbeispiel nicht erörtert. Trockentoiletten oder Abwasseraufbereitung wären technisch möglich und auch im Rahmen des Fallbeispiels umsetzbar, wurden jedoch aufgrund von Unabwägbarkeiten bzgl. der Wohnqualität (Trockentoiletten) oder Kosten (Schwarzwasseraufbereitung) nicht weiterverfolgt.

Neben der Betrachtung der Aspekte der Wasserbewirtschaftung war für die Entwurfsentwicklung die Bewertung der vorhandenen ökologischen Qualität des Projektgebietes essenziell. Diese hatte einen maßgeblichen Einfluss auf den maximalen Versiegelungsgrad und verlangt im weiteren Entwurfsprozess nach einer qualitativ hochwertigen Freiraumgestaltung, um Nutzungsansprüche und eine Steigerung der ökologischen Wertigkeit (Ökopunkte) in Einklang zu bringen. Die enge Zusammenarbeit von Landschaftsarchitekt:innen, Architekt:innen und weiteren Fachplanenden hat sich besonders in der symbiotischen Nutzung der Gebäudehülle für Energieproduktion und Begrünung sowie Frei- und Wohnraumerweiterung zur Steigerung der ökologischen und der Lebensqualität des Quartiers als maßgeblich erwiesen.

Im Vergleich der Entwurfsvarianten V1 und V2 zeigte sich, dass bei einer höheren baulichen Dichte (V2) die Nutzung der Gebäudehülle als erweiterter Freiraum eine wichtigere Rolle einnahm und sich dadurch weniger große zusammenhängende Flächen im Freiraum ergeben als in V1. Gleiches gilt für den Aspekt der ökologischen Qualität. Es wurde festgestellt, dass die Art der Fassadenbegrünung im betrachteten Entwicklungszeitraum der Biotope von 25 Jahren die Ökopunktebilanzierung nur geringfügig beeinflusst. Durch die Nutzung der Gebäudehülle zur Begrünung entstand bei einer höheren baulichen Dichte eine größere Vegetationsfläche und somit eine größere Verdunstung. Zusätzliche Dachgärten boten zudem das Potenzial, dass größere Mengen Regenwasser im Substrat auf dem Dach zurückgehalten werden, das dann nicht mehr im Boden versickert. Beide Entwurfsentscheidungen führten dazu, dass der Überschuss an Grundwasserneubildung gegenüber Frischwasserbedarf in V2 deutlich niedriger als in V1 ausfiel. Mit der Verringerung der Vegetationsfläche an anderer Stelle könnte gegebenenfalls darauf reagiert werden. Dies ist jedoch nur in einem sehr geringen Umfang möglich, da sich dies meist negativ auf die ökologische Qualität bzw. die Ökopunktebilanzierung auswirkt.

Das Handlungsfeld Gesellschaft blieb häufig ein qualitativer und teilweise subjektiv bewerteter Aspekt der Nachhaltigkeit. Durch die entwickelten Entwurfsparameter und Umsetzungsstrategien im Forschungsprojekt kann jedoch gewährleistet werden, dass im Planungsprozess auf möglichst viele Aspekte in diesem Handlungsfeld eingegangen wird. Wechselwirkungen mit anderen Handlungsfeldern bleiben im Fokus und führen dazu, dass grundlegende Entscheidungen bewusster getroffen werden.

6.2. Überprüfung von Übertragbarkeit und Umsetzbarkeit

In der zweiten Hälfte des Forschungszeitraums wurde vom Praxispartner ein Architekturbüro für Vorstudien einer Bebauung des Praxisprojekts beauftragt. In mehreren Austauschtreffen wurden die im Forschungsprojekt entwickelten Entwurfsvarianten V1 und V2 mit dem Planungsteam diskutiert und als Grundlage für die weitere Planung und Umsetzung bereitgestellt. Anhand der Entwurfsvarianten V1 und V2 wurde erläutert, welchen Einfluss die jeweiligen ECO+ Kriterien auf den Entwurf haben und wie sie in Wechselbeziehungen zueinanderstehen. Die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt konnten somit direkt in den Planungsprozess des Praxisprojekts überführt werden. In den Gesprächen zeigte sich auch, dass die für ECO+ notwendige Verzahnung und Berücksichtigung vieler maßgeblicher Kriterien, wie beispielsweise Grundwasserneubildung, ökologische Qualität, Energiebedarf, Flächenbedarf (bauliche Dichte), Dichte Bewohner:innen, Stellplatzschlüssel, etc., eine Herausforderung für den Entwurfsprozess und somit für die Entwicklung umweltpositiver Vorstudien darstellte. Eine klare Definition und Erläuterung von ECO+ war daher notwendig.

Während der Erstellung der Vorstudien gab das Planungsteam auch Feedback bezüglich der Zusammenstellung und Aufbereitung der ECO+ Ziele und entwurfsrelevanten Kriterien. Dies half dem Forschungsteam, Formulierungen zu präzisieren und in iterativen Überarbeitungsschritten für eine Praxistauglichkeit zu optimieren. Durch das Feedback wurde außerdem der Bedarf einer präzisen Anleitung zur Anwendung von ECO+ deutlich, um Missverständnisse bei der Bewertung von „positiv“ zu vermeiden. Des Weiteren unterstrich das Feedback die Komplexität der Aufgabe, ein umweltpositives Quartier zu entwerfen.

Als weitere Grundlage für die Aufbereitung der Forschungsergebnisse diente eine bundesweite Umfrage zum positiven Bauen, an der sich 268 Personen aus den Bereichen Planung und Beratung, ausführendes Gewerbe, öffentliche Verwaltung, Forschung sowie Nutzer:innen und Eigentümer:innen beteiligten; ergänzt wurden die Umfrageergebnisse durch Expert:innen-Interviews [Ame23]. Die Umfrageergebnisse zeigen, dass ein Wissensdefizit und ein Mangel an praxisorientierten Informationen, insbesondere in Bezug auf positives Bauen, eine große Herausforderung für die Umsetzung von nachhaltigen und positiven Bauweisen

in Deutschland darstellt. Diese Erkenntnis konnte auch durch die Feedbackrunden mit den Praxisbeteiligten bestätigt werden.

6.3. ECO+ Produkte

Basierend auf den Gesprächen und Feedbackrunden mit den Praxisbeteiligten sowie den Umfrageergebnissen und Expert:innen-Interviews wurden für die ECO+ Ergebnisse drei Dokumentationsformen für unterschiedliche Planungsphasen entwickelt (Abbildung 22):

- ECO+ Entwurfswerkzeug: Qualitative Beschreibung der ECO+ Ziele je Handlungsfeld und Kriterium
- ECO+ Kriterienkatalog: Zusammenstellung der Kriterien je ECO+ Handlungsfeld inkl. qualitativer und quantitativer Indikatoren, Art der Nachweisführung und Zielsetzung
- Fallbeispiel: Grafische Aufbereitung der Erkenntnisse aus den Entwurfsvarianten im Forschungsprojekt und Beschreibung der wesentlichen Merkmale für die Übertragbarkeit und Anwendung in weiteren Projekten

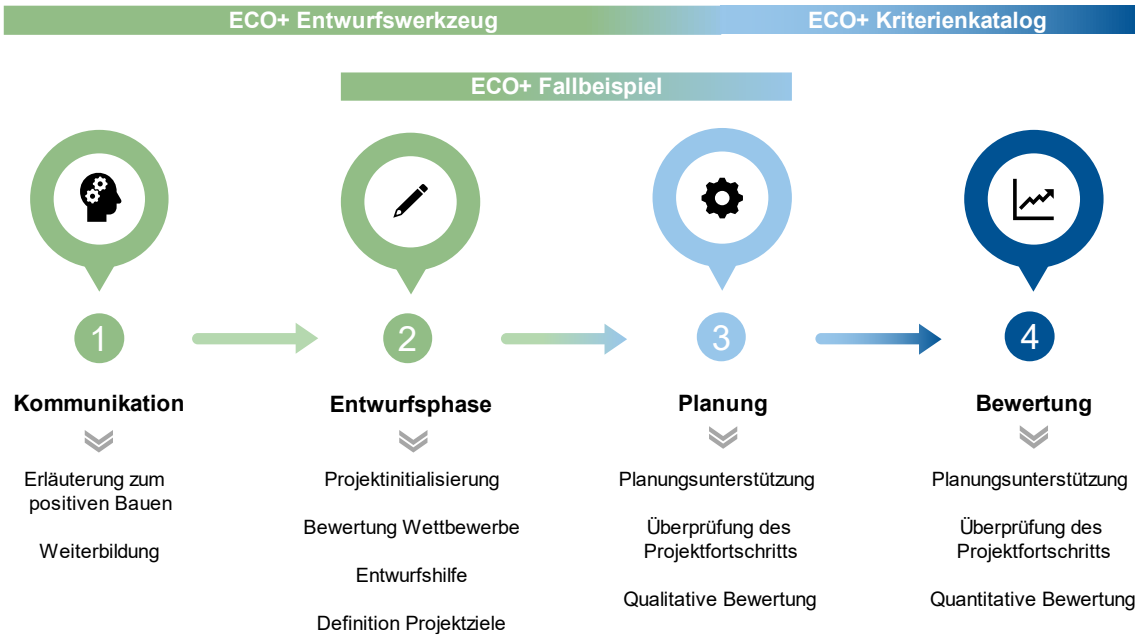

Abbildung 22 ECO+ Entwurfswerkzeug, Kriterienkatalog und Fallbeispiel: Anwendung in Bauprojekten

Die ECO+ Dokumentationsformen dienen grundsätzlich zur Kommunikation für positives Bauen. In frühen Planungsphasen kann das ECO+ Entwurfswerkzeug zur Initialisierung und Zielsetzung von Projekten verwendet werden. Ergänzend kann das Fallbeispiel als Übersicht und zur Ideenfindung für positives Bauen herangezogen werden. In der fortschreitenden Planung ermöglicht der ECO+ Kriterienkatalog Architekt:innen und Fachplanenden eine qualitative und quantitative Bewertung des Entwurfs und dient damit auch der Überprüfung des Projektfortschritts.

7. Fazit

Im Rahmen des Forschungsprojekts ECO+ wurde ein entscheidender Beitrag zur Übertragung der bisher theoretischen und oft schwer greifbaren Ansätze zum positiven Bauen in die Planungspraxis erarbeitet. Am Beispiel eines Neubauquartiers wurde untersucht, was positives Bauen bedeutet und welche Umsetzungsstrategien es für einen ganzheitlichen Planungsansatz bedarf. Hierzu wurden bestehende ökologische Denk- und Gestaltungsansätze auf konkrete, praktisch umsetzbare Strategien heruntergebrochen, wodurch eine Anwendung in der Planungspraxis erreicht wurde. Nachhaltiges Bauen stellt dabei eine essenzielle Grundlage für die notwendige Transformation des Bausektors dar, der aufgrund seiner massiven ökologischen Auswirkungen und seines hohen Ressourcenverbrauchs eine Schlüsselrolle im globalen Kampf gegen den Klimawandel einnimmt. Positives Bauen beschreibt darauf aufbauend einen ganzheitlichen ökologischen Denk- und Designansatz, der nicht nur die Wiederherstellung von Ökosystemen zum Ziel hat, sondern auch deren aktive Unterstützung und Weiterentwicklung fördert. Für die Planung von Bauprojekten bedeutet dies nicht nur die Reduktion des Energiebedarfs im Gebäudebetrieb und die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen, sondern weitere Zielsetzungen in den Handlungsfeldern Gesellschaft, Energie, Material, Grün, Wasser und Mobilität.

Basierend auf den Forschungsergebnissen wird deutlich, dass positives Bauen insbesondere im geförderten Wohnungsbau (noch) sehr ambitioniert ist. Investitionskosten stehen oft im Fokus, während die Lebenszykluskosten (Life Cycle Costs, LCC) weitgehend unberücksichtigt bleiben. Dadurch wird der Blick auf ökologische und gesellschaftliche Mehrwerte, wie die Einspeisung erneuerbarer Energien ins öffentliche Netz oder die Förderung der Biodiversität, systematisch vernachlässigt. Das führt dazu, dass positives Bauen planerisch zwar möglich, wirtschaftlich jedoch oft nicht umsetzbar ist, ohne bestehende Förderrichtlinien grundlegend zu überdenken.

Eine weitere Herausforderung liegt in der Tatsache, dass der anthropozentrische Ansatz die bisherige Baupraxis weiterhin dominiert. Dies zeigt sich insbesondere in der Gewichtung von gesellschaftlichen Faktoren gegenüber ökologischen Kriterien, wie es im aktuellen Baurecht noch verankert ist. Um nachhaltig zu bauen, müssen ökologische Themen wie beispielsweise die Umsetzung grüner Infrastruktur und ein ganzheitliches Wassermanagement stärker in den Fokus rücken.

Im dargestellten Fallbeispiel hat sich das Verhältnis von Grundwasserneubildung zu Frischwasserbedarf als das maßgebende Kriterium für die Dichte an Bewohner:innen und somit auch der baulichen Dichte herausgestellt. Die Grundwasserneubildung ist jedoch sehr ortsspezifisch und muss daher für jedes Projektgebiet neu berechnet werden. In Gegenden mit

geringem jährlichem Niederschlag hat die Grundwasserbildung einen größeren Einfluss auf den gesamten Entwurfsprozess als in Gegenden mit hohem jährlichem Niederschlag. Dieser Umstand wirkt sich auch auf die Herstellung einer ökologischen Qualität mit regenerativer Bewertung aus, da ggf. nicht ausreichend Wasser für die adäquate Versorgung von Vegetation und Mensch zur Verfügung steht. Daher ist eine Reduzierung des Frischwasserbedarfs durch die Integration eines Wassernutzungskonzepts essenziell, das alle Wasserströme im Projektgebiet erfasst, um eine ökologisch verträgliche und ökonomisch tragfähige, bauliche Dichte an Bewohner:innen zu realisieren.

Der anthropozentrische Ansatz zeigt sich weiterhin in der Formfindung und Architekturgestaltung. Neu zu errichtende Gebäude und Quartiere müssen auf die umgebenden, natürlichen Randbedingungen reagieren, anstatt diese dem formalästhetischen Gestaltungswillen anzupassen. Hierfür dienen Entwurfsparameter für energieeffizientes Bauen, wie beispielsweise ein günstiges A/V-Verhältnis und eine optimierte Gebäude- und Raumausrichtung nach Himmelsrichtungen, als erster, mittlerweile anerkannter Ansatz. Unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit und dem Ziel positiver Umweltwirkungen müssen diese Parameter jedoch deutlich erweitert werden. So muss zum Beispiel das Gebäude auf den Gebäudeverlauf reagieren und nicht der natürliche Geländeverlauf an das geplante Gebäude angepasst werden. Dieses Beispiel zeigt, dass es häufige Abwägungsprozesse benötigt, da viele Versprünge in der Gebäudekubatur wiederum zu einem ungünstigeren A/V-Verhältnis und damit verbundenen Nachteilen führen. Es ist eine fokussierte Auseinandersetzung mit diesen Wechselwirkungen erforderlich. Diese wurden im Forschungsprojekt erarbeitet und in das ECO+-Entwurfswerkzeug übernommen. Um die Wechselwirkungen zwischen Natur und gebauter Umwelt umfassend zu betrachten, ist es erforderlich, dass Landschaftsarchitekt:innen beginnend mit den ersten Planungsschritten in die Standort- und Potenzialanalyse involviert werden. Dies wird aktuell in den meisten Planungsprozessen nicht kontinuierlich abgebildet.

Zudem ist die avisierte Energiewende sektorübergreifend, statt sektorgekoppelt, zu betrachten. So muss beispielsweise zur Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz der angestrebten Mobilitätswende auch ein Umdenken in den behördlichen Vorgaben beim Bauen stattfinden. Ökologisch verträgliche Mobilitätsalternativen müssen dazu beitragen, gesetzliche Regelungen von Stellplatzschlüsseln zu reduzieren.

Ein zentrales Ergebnis des Forschungsprojekts ECO+ ist die Entwicklung konkreter Umsetzungsstrategien für positives Bauen in den Handlungsfeldern Gesellschaft, Energie, Material, Grün, Wasser und Mobilität für unterschiedliche Planungsphasen (siehe Anlage). Das ECO+ Entwurfswerkzeug und der ECO+ Kriterienkatalog unterstützen Planungsbeteiligte, um Entwürfe für das positive Bauen zu entwickeln und zu prüfen. Im Rahmen des Praxisprojekts wurden die Werkzeuge praktisch erprobt und dahingehend optimiert. Anhand der

entwickelten Entwürfe und durchgeführten Planungsprozesse zeigte sich, dass positives Bauen anspruchsvoll ist und nur dann erfolgreich umgesetzt werden kann, wenn alle Beteiligten frühzeitig ein gemeinsames Verständnis für die Ziele und Methoden entwickeln. Ein Kick-Off-Workshop, in dem das gesamte Planungsteam auf das notwendige Wissensniveau gebracht wird, ist daher essenziell. Das ECO+-Entwurfswerkzeug ermöglicht dabei eine durchgängige Unterstützung und fördert ein integratives Arbeiten, das die Prinzipien des positiven Bauens über alle Planungsphasen hinweg verankert.

Um das Potenzial des positiven Bauens voll auszuschöpfen, ist ein Paradigmenwechsel erforderlich: Investitionskosten dürfen nicht mehr isoliert betrachtet werden. Stattdessen müssen Förderrichtlinien die gesamten Lebenszykluskosten und potenzielle Restwerte der Gebäude berücksichtigen, die durch zirkuläre Bauweisen entstehen können. Positives Bauen muss als langfristige Investition verstanden werden, die nicht nur ökologische, sondern auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Vorteile bietet. Dazu gehört auch, Mehrwerte wie Energieeinspeisung und Ökosystemdienstleistungen zu quantifizieren und sichtbar zu machen.

Letztlich zeigt das Projekt, dass positives Bauen machbar ist, sofern ein Umdenken stattfindet. Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt ECO+ schaffen eine Grundlage für positives Bauen. Es liegt jedoch an Politik und Gesellschaft, die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen, und an allen am Bau Beteiligten, diese Ansätze auch flächendeckend umzusetzen. Nur so kann der Bausektor im Einklang mit den planetaren Grenzen nachhaltig transformiert werden.

Literatur

[Ame23] AMELUNXEN, Alina: *A Positive Change. Herausforderungen und Potenziale bei der Planung und Umsetzung von nachhaltigen und positiven Bauweisen in Deutschland.* Technische Universität München. Masterthesis. 2023

[AMH+13] ANKRAH, Nii A. ; MANU, Emmanuel ; HAMMOND, Felix N. ; AWUAH, Kwasi Gyau B. ; TANNAHILL, Kim: *Beyond Sustainable Buildings: Eco-Efficiency to Eco-Effectiveness Through Cradle-to-Cradle Design.* In: *Sustainable Building Conference* (2013)

[And-ol] ANDREW HEUMANN: *Metahopper - a tool for controlling Grasshopper with Grasshopper.* URL https://www.grasshopper3d.com/group/metahopper

[Arc24-ol] ARCHITECTS FOR FUTURE: *10 Forderungen für eine Bauwende.* URL https://www.architects4future.de/forderungen

[Att18] ATTIA, Shady: *Regenerative and Positive Impact Architecture.* Cham : Springer International Publishing, 2018

[Bau20] BAUKOSTENINFORMATIONSZENTRUM DEUTSCHER ARCHITEKTENKAMMERN GMBH: *BKI Nutzungskosten Gebäude 2020/2.* 2020

[Bau24] BAUKOSTENINFORMATIONSZENTRUM DEUTSCHER ARCHITEKTENKAMMERN GMBH: *BKI Baukosten : Gebäude Neubau, Bauelemente Neubau, Positionen Neubau, Regionalfaktor.* 2024

[Bay23a] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR FINANZEN UND HEIMAT: *Bayern Atlas : Übersichtsbodenkarte von Bayern 1:25000.* 2023

[Bay24b] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WOHNEN, BAU UND VERKEHR: *Merkblatt: Förderung des Schaffens von Mietraum in Mehrfamilienhäusern im Bayerischen Wohnungsbauprogramm - Einkommens- und Aufwendungsorientierte Förderung.* München, 2024

[Bay24-ol] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK: *Tabelle Bevölkerung: Gemeinden, Geschlecht, Stichtag*

[BEJ+24] BLÖMER, Theresa ; EHLERS, Nico ; JANTZEN, Katja ; MERK, Dominik ; PAULI, Jonas ; THEILIG, Kathrin ; BIRK, Stephan ; WINTER, Stefan ; LANG, Werner: *EDUwood – Klimaschutzpotenzial Holzbau am Campus der Technischen Universität Nürnberg : Forschungsbericht.* 2024

[BGA18] BOTT, Helmut ; GRASSL, Gregor C. ; ANDERS, Stephan: *Nachhaltige Stadtplanung : Lebendige Quartiere, smart Cities, Resilienz.* Zweite Auflage (überarbeitet und aktualisiert). München : Edition Detail, 2018

[Bir08] BIRKELAND, Janis: *Positive Development : From vicious circles to virtous cycles through built environment design,* 2008

[BK16] BIRKELAND, Janis ; KNIGHT-LENIHAN, Stephen: *Biodiversity offsetting and net positive design.* In: *Journal of Urban Design* 21 (2016), Nr. 1, S. 50–66

[BKM16] BURGDORF, Markus ; KRISCHAUSKY, Gesine ; MÜLLER-KLEIßLER, Renate; MEINEL, Gotthard (Mitarb.); FÖRTSCH, Daniela (Mitarb.); SCHWARZ, Steffen (Mitarb.); KRÜGER, Tobias (Mitarb.) : *Flächennutzungsmonitoring VIII : Flächensparen - Ökosystemleistungen - Handlungsstrategien.* Berlin, 2016 (IÖR Schriften)

[BMB07] BRAUNGART, Michael ; MCDONOUGH, William ; BOLLINGER, Andrew: *Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design.* In: *Journal of Cleaner Production* 15 (2007), 13-14, S. 1337–1348

[BMW23-ol] BMWSB: *ÖKOBAUDAT : Informationsportal Nachhaltiges Bauen.* Version 2023-I-A2

[Bra94] BRAND, Stewart: *How Buildings Learn : what happens after they're built :* Viking, 1994

[Bun15] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (Hrsg.): *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt : Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007.* 4. Aufl. 2015

[Bun22-ol] BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT: *BDEW-Wasserstatistik : Trinkwasserverwendung im Haushalt 2021.* URL https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/trinkwasserverwendung-im-haushalt/. – Aktualisierungsdatum: 08.03.2023

[Bun23-ol] BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU: *Auswirkungen der Mobilität auf die Umwelt.* URL https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/ernaehrung-wohnen-mobilitaet/mobilitaet/mobilitaet-auswirkungen.html – Überprüfungsdatum 13.12.2024

[CDP+17] CRAFT, W. ; DING, L. ; PRASAD, D. ; PARTRIDGE, L. ; ELSE, D.: *Development of a Regenerative Design Model for Building Retrofits.* In: *Procedia Engineering* 180 (2017), S. 658–668

[CFL+19] CAPELLE, Teodora ; FARNETANI, Mirko ; LOWRES, Flavie ; BALSON, Kiruthiga ; DURMISEVIC, Elma ; BRANCART, Stijn ; PADUART, Anne ; ELSEN, Stijn ; LANKRIET, Wesley ; POPPE, Jeroen ; DEBACKER, Wim: *BUILDINGS AS MATERIAL BANKS (BAMB) : TESTING BAMB RESULTS THROUGH PROTOTYPING AND PILOT PROJECTS.* 2019

[CLE16] CLEAR: *The LENSES Rubrics.* 2016

[COL] CHENG, Renée (Hrsg.); OSBURN, Laura (Hrsg.); LEE, Linda (Hrsg.); ALLISON, Markku (Mitarb.); ASHCRAFT, Howard (Mitarb.); CHENG, Renée (Mitarb.); KLAWANS, Sue

(Mitarb.); PEASE, James (Mitarb.) : *Integrierte Projektabwicklung : Ein Leitfaden für Führungskräfte.* Deutsche Übersetzung. – Deutsche Übersetzung

[Dal24] DALACH, Agata: *Analyzing Climate Adaptation and Heatwave Resilience in the Early-Stage Building Design.* 2024

[Deu19a] DEUTSCHEN BUNDESSTIFTUNG UMWELT (Hrsg.): *WOODSCRAPER - Entwicklung einer Strategie zur wirtschaftlichen Errichtung ressourcenpositiver Gebäude : Abschlussbericht des Forschungsprojektes AZ: 34252/01.* Berlin, 2019

[Deu19b] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)* (in Kraft getr. am 2019)

[Deu19-ol] DEUTSCHE UMWELTHILFE E.V.: *Gebäudeenergiegesetz im Bundeskabinett: Angekündigtes Ölheizungsverbot entlarvt sich als Luftnummer.* URL https://www.duh.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/gebaeudeenergiegesetz-im-bundeskabinett-angekuendigtes-oelheizungsverbot-entlarvt-sich-als-luftnummer/. – Aktualisierungsdatum: 22.10.2019 – Überprüfungsdatum 15.02.2022

[DIN 1986-100] DIN 1986-100. 2016. *Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke*

[DIN EN ISO14040] DIN EN ISO 14040. *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020*

[DIN EN ISO14044] DIN EN ISO 14044. *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020*

[DIN EN15978] DIN EN 15978. 2012-10. *DIN EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode*

[DIN18040-2] DIN 18040-2. 2023. *Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 2: Wohnungen*

[Ell20] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION: *10 circular investment opportunities for a low-carbon and prosperous recovery.* 2020

[ENV] ENVI-MET GMBH: *Software für urbane Kühlung und Klimaanpassung: Software für urbane Kühlung und Klimaanpassung.* URL https://envi-met.com/de/

[Eur19-ol] EUROPÄISCHE KOMMISSION: *Europäischer Grüner Deal.* URL https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de. – Aktualisierungsdatum: 19.03.2021 – Überprüfungsdatum 25.03.2021

[Eur20] EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.): *Mehr Ehrgeiz für das Klimaziel Europas bis 2030 : In eine klimaneutrale Zukunft zum Wohl der Menschen investieren.* Brüssel, 2020

[Eur21-ol] EUROPÄISCHE UNION: *New European Bauhaus: beautiful, sustainable, together.* URL https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_en. – Aktualisierungsdatum: 10.05.2021 – Überprüfungsdatum 10.05.2021

[Eur22-ol] EUROPEAN COMISSION: *Buildings and construction.* URL https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/buildings-and-construction_en – Überprüfungsdatum 03.01.2022

[GM07] GUY, Simon ; MOORE, Steven A.: *Sustainable Architecture and the Pluralist Imagination.* In: *Journal of Architectural Education* 60 (2007), Nr. 4, S. 15–23

[Gou19] GOUBRAN, Sherif: *On the Role of Construction in Achieving the SDGs.* In: *Journal of Sustainability Research* 1 (2019), Nr. 2

[Hamburg Wasser 2024] HAMBURG WASSER: *Wasserverbrauchsrechner.* URL https://www.hamburgwasser.de/wasser/umgang-mit-wasser/wasserverbrauchsrechner#c2262 – Überprüfungsdatum 26.11.2024

[HD10] HEGGER, Manfred ; DAMMASCHK, Lutz: *Wohnwert-Barometer : Erfassungs- und Bewertungssystem nachhaltiger Wohnqualität.* Stuttgart, 2010 (Bauforschung für die Praxis 90)

[HNJ+16] HOELSCHER, Marie-Therese ; NEHLS, Thomas ; JÄNICKE, Britta ; WESSOLEK, Gerd: *Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation.* In: *Energy and Buildings* 114 (2016), S. 283–290

[Hum21] HUMBERG, Kerstin: *Bauhaus der Erde : FAQ.* 2021

[Int24] INTERNATIONAL LIVING FUTURE INSTITUTE: *Living Building Challenge 4.1 : Program Manual.* A Visionary Path to a Regenerative Future (2024)

[JNF+21] JARMER, Tilmann ; NIEMANN, Anne ; FRANKE, Laura ; VARGA, Zsofia ; DIEWALD, Fabian ; NAGLER, Florian ; AUER, Thomas; FICHT, Roman (Mitarb.); DEBACCO, Arthur Coelho (Mitarb.); OTT, Stephan (Mitarb.); FLEXEDER, Nina (Mitarb.) : *Einfach Bauen 2 – Planen, Bauen, Messen : Anwendung integraler Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen mit Holz, Leichtbeton und hochwärmedämmendem Mauerwerk in Pilotprojekten anhand der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt Einfach Bauen 1.* München, Juli 2021

[JNN18] JARMER, Tilmann ; NIEMANN, Anne ; NAGLER, Florian: *Einfach Bauen : Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen – Untersuchung der Wechselwirkung von Raum, Technik, Material und Konstruktion.* 2018

[KS09] KRANEFELD, Anja (Hrsg.); STAUSBERG, Michael (Hrsg.): *QM-Methoden in der Praxis : Nutzwertanalyse (en: QM methods in practice: utility value analysis).* 2009

[Küh19] KÜHNAPFEL, Jörg B.: *Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb (en: Utility value analyses in marketing and sales).* Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019

[Küh21] KÜHNAPFEL, Jörg B.: *Scoring und Nutzwertanalysen : Ein Leitfaden für die Praxis (en: Scoring and utility value analyses: A guideline for practice).* Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021

[Lad23-ol] LADYBUG TOOLS LLC: *Ladybug Tools: Making environmental design knowledge and tools freely accessible to every person, project and design process.* URL www.ladybug.tools

[Lan10] LAND BADEN-WÜRTTEMBERG - MINISTERIUM DES INNEREN, FÜR DIGITALISIERUNG UND KOMMUNEN: *Verordnung des Umweltministeriums über die Anerkennung und Anrechnung vorzeitig durchgeführter Maßnahmen zur Kompensation von Eingriffsfolgen* (in Kraft getr. am 2010) (2010). URL https://www.landesrecht-bw.de/bsbw/document/jlr-%C3%96koKVBWV4Anlage2-G8 – Überprüfungsdatum 14.11.2024

[Lüt24] LÜTTICH, Alexandra: *Modeling and Evaluation of the Outdoor Comfort of a Residential Area taking into account Climate Change and the Dynamic Growth of Green Infrastructure.* 2024

[LW] LECHNER, Markus ; WINTER, Stefan: *Bauen mit WEITBLICK - Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau*

[LWM+21] LUDWIG, Ferdinand ; WELL, Friederike ; MOSELER, Eva-Maria ; EISENBERG, Bernd ; DEFFNER, Jutta ; DRAUTZ, Silke ; ELNAGDY, Mohamed Tarek ; FRIEDRICH, Renate ; JAWORSKI, Till ; MEYER, Sebastian ; MINKE, Ralf ; MORANDI, Carlo ; MÜLLER, Hans ; NARVAÉZ VALLEJO, Alejandra ; RICHTER, Philipp ; SCHWARZ-VON RAUMER, Hans-Georg ; STEGER, Lotta ; STEINMETZ, Heidrun ; WASIELEWSKI, Stephan ; WINKER, Martina: *Integrierte Planung Blau-Grüner Infrastrukturen : Ein Leitfaden.* München, 2021

[MB03] MCDONOUGH, William ; BRAUNGART, Michael: *Towards a sustaining architecture for the 21st century: the promise of cradle-to-cradle design.* In: *UNEP Industry and Environment* (2003), S. 13–16

[MBH13] MULHALL, Douglas ; BRAUNGART, Michael ; HANSEN, Katja: *Creating Buildings with Positive Impacts.* 2013-2019

[MHJ+21] MAIER, Moritz Julian ; HARLES, Lynn ; JÜTTING, Malte ; HEIMISCH-RÖCKER, Alexandra ; MIZERA, Karolina ; KAISER, Simone ; SCHRAUDNER, Martina: *STADT.LAND.CHANCEN – Wünsche und Sorgen von Bürgerinnen und Bürgern in Stadt und Land : Ergebnisse der Onlinebefragung (acatech KOOPERATION)).* München, 2021

[Min24] MINISTERIUM FÜR HEIMAT, KOMMUNALES, BAU UND DIGITALISIERUNG DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN: *Öffentliche Wohnraumförderung des Landes Nordrhein.Westfalen* (in Kraft getr. am 2024)

[Mor91] MORRIS, Max D.: *Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments.* In: *Technometrics* 33 (1991), Nr. 2, S. 161

[MR13] MANG, Pamela ; REED, Bill: Regenerative Development and Design. In: LOFTNESS, Vivian; HAASE, Dagmar (Hrsg.): *Sustainable Built Environments.* New York, NY : Springer New York, 2013, S. 478–501

[MR17] MANG, Pamela ; REED, Bill: *Regenerative Design and Development : Chapter 303, Encyclopedia Sustainability Science & Technology, 2nd Edition* (2017)

[Nat22-ol] NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND E.V.: *Ein verlorenes Jahrzehnt - Globaler Bericht zum Zustand der Biodiversität.* URL https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/naturschutz/weltweit/globale-biodiversitaetspolitik/28653.html – Überprüfungsdatum 11.02.2022

[NCC24a-ol] NORDAKADEMIE-STIFTUNG ; CRADLE TO CRADLE NGO ; C2C BÜNDNIS BAU UND ARCHITEKTUR: *C2C im Bau: Orientierung für Kommunen : Kapitel 10.1 C2C in den Gebäudebereichen.* URL https://c2c-bau.org/10-planung/10-1-gebaeudebereiche/. – Aktualisierungsdatum: 10.03.2022 – Überprüfungsdatum 18.12.2024

[NCC24b-ol] NORDAKADEMIE-STIFTUNG ; CRADLE TO CRADLE NGO ; C2C BÜNDNIS BAU UND ARCHITEKTUR: *C2C im Bau: Orientierung für Kommunen : Kapitel 3: Grundlagen für C2C-inspiriertes Bauen.* URL https://c2c-bau.org/3-grundlagen-c2c-bau/3-1-c2c-inspirierte-gebaeude/

[PDB+19] PERETTI, Giulia ; DRUHMANN, Carsten K. ; BLEIZIFFER, J. ; BROWN, M. ; CAMPAMA PIZARRO, R. ; DEL RÍO MERINO, M. ; GREMMELSPACHER, J. ; KONTOVOURKIS, O. ; NENONEN, S. ; PURS, I. ; VILLORIA SÁEZ, P. ; VULA RIZVANOLLI,, B.: *Regenerative CONSTRUCTION AND OPERATION. COST Action CA16114 RESTORE, Working Group Three Report: REGENERATIVE CONSTRUCTION AND OPERATION. : Bridging the gap between design and construction, following a Life Cycle Approach consisting of practical approaches for procurement, construction, operation and future life.* 2019

[PGL+21] PURR, Katja ; GÜNTHER, Jens ; LEHMANN, Harry ; NUSS, Philip: *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität : RESCUE - Studie.* 2. Aufl. 2021

[Pro13-ol] PROFESSUR FÜR HYDROLOGIE - ALBERT-LUDWIGS UNIVERSITÄT FREIBURG I. BR.: *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung für nachhaltigere Städte : Simulation FreWab.* URL http://www.naturnahe-regenwasserbewirtschaftung.info/index.php?page=simulation. – Aktualisierungsdatum: 2013 – Überprüfungsdatum 14.11.2024

[Rob24] ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES: *Rhinoceros 3D: Rhinoceros 3D.* 2024

[Rog16] ROGGEMA, Rob: *Research by Design: Proposition for a Methodological Approach.* In: *Urban Science* 1 (2016), Nr. 1, S. 2

[Ros21] ROSEN, Anja: *Urban Mining Index : Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung.* Bergische Universität Wuppertal. Dissertation. 2021

[Rös22] RÖSLER, Sarah: *Die ökologische Bedeutung und Bewertung von Vegetationswänden.* Nürtingen-Geislingen, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fakultät Umwelt Gestaltung Therapie (FUGT). Bachelorthesis. 03.08.2022

[RRM+19] RÖTZER, T. ; RAHMAN, M. A. ; MOSER-REISCHL, A. ; PAULEIT, S. ; PRETZSCH, H.: *Process based simulation of tree growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions.* In: *The Science of the total environment* 676 (2019), S. 651–664

[RS92] RINZA, Peter ; SCHMITZ, Heiner: *Nutzwert-Kosten-Analyse : Eine Entscheidungshilfe (en: Benefit-cost analysis: A decision-making guide).* 2. Aufl. Düsseldorf : VDI, 1992 (Betriebswirtschaft und Betriebspraxis)

[SB21-ol] SCHOBER, Kai-Stefan ; BÜCHELE, Ralph: *It's time for construction to embrace the circular economy : How circular economy can drive greater sustainability and new business opportunities in construction. – Aktualisierungsdatum:* 04.03.2021 – Überprüfungsdatum 04.03.2021

[Sch01] SCHUH, Heiko: *Entscheidungsverfahren zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung.* 2001 (Dresdner Beiträge zur Betriebswirtschaftslehre 45/01)

[Sch22] SCHOOF, Jakob: *Modulbau : Planen und Bauen Mit Raummodulen - Erfahrungen Aus der Praxis Für Die Praxis.* 1st ed. München : Detail Business Information GmbH The, 2022

[SF23] STRUCK, Franziska ; FLAMME, Sabine: *Measuring recyclability - a key factor for resource efficiency evaluation.* In: *Detritus* (2023), Nr. 22, S. 27–40

[SLD+17] SALFNER, Simone ; LANG, Werner ; DOTZLER, Christina ; SCHARF, Philipp: *Entwicklung und Bewertung eines Cradle to Cradle® inspirierten Plusenergiehauses am Beispiel des Wettbewerbsbeitrages Solar Decathlon 2015.* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2017 (Forschungsinitiative Zukunft Bau F 3046)

[SM67] SCHULTZE, Edgar ; MUHS, Heinz: *Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten.* Zweite völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg, s.l. : Springer Berlin Heidelberg, 1967

[Sta24-ol] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Baukostenindizes für Wohngebäude.* URL https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Preise/bpr110.html#241648

[Süd21-ol] SÜDDEUTSCHE ZEITUNG: *Deutsches Klimaschutzgesetz ist in Teilen verfassungswidrig*

[Tec23-ol] TECHNISCHE UNIVERSITÄT HAMBURG, INSTITUT FÜR VERKEHRSPLANUNG UND LOGISTIK: *Soziale Dimension von Mobilität und Verkehr.* URL https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/507109/ – Überprüfungsdatum 13.12.2024

[Tho-ol] THORNTON TOMASETTI: *TT Toolbox.* URL https://www.thorntontomasetti.com/core-studio

[TMB+24] THEILIG, K. ; MERK, D. ; BLÖMER, T. ; LANG, W. ; WINTER, S. ; BIRK, S.: *Multi-criteria decision making for timber constructions: analysis of ceiling types using utility analysis.* In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1363 (2024), Nr. 1, S. 12096

[Uni20] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (Hrsg.): *Convention on Biological Diversity : Update of the zero draft of the post-2020 global biodiversity framework.* 2020

[Uni21] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (Hrsg.): *2021 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION : Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector.* Nairobi, 2021

[Ver20-ol] VERBRAUCHERZENTRALE BUNDESVERBAND: *Gebäudeenergiegesetz ist kein großer Wurf.* URL https://www.vzbv.de/pressemitteilungen/gebaeudeenergiegesetz-ist-kein-grosser-wurf. – Aktualisierungsdatum: 18.06.2020 – Überprüfungsdatum 15.02.2022

[Ver21] VEREINIGUNG DER BAYERISCHEN WIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.): *Constructing Our Future. Planen. Bauen. Leben. Arbeiten. : Handlungsempfehlungen des Zukunftsrats der Bayerischen Wirtschaft.* 2021

[Vol23] VOLLMER, Michael: *Methode zur Ermittlung und Optimierung des ökologischen Flächenbedarfs von Gebäuden basierend auf Lebenszyklusanalysen (LCA) und thermischen Gebäudesimulationen.* Technische Universität München. Dissertation. 2023

[VRM+23] VULOVA, Stenka ; ROCHA, Alby Duarte ; MEIER, Fred ; NOURI, Hamideh ; SCHULZ, Christian ; SOULSBY, Chris ; TETZLAFF, Doerthe ; KLEINSCHMIT, Birgit: *City-wide, high-resolution mapping of evapotranspiration to guide climate-resilient planning.* In: *Remote Sensing of Environment* 287 (2023), S. 113487

[VTH+24] VOLLMER, M. ; THEILIG, K. ; HOPE, G. ; AKCA, N. ; LANG, W. ; ALBUS, J.: *Combining parametric life cycle assessment (LCA) and multi-criteria decision making (MCDM) for*

developing sustainable residential neighborhoods. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1363 (2024), Nr. 1, S. 12064

[WL21] WELL, Friederike ; LUDWIG, Ferdinand: *Development of an Integrated Design Strategy for Blue-Green Architecture.* In: *Sustainability* 13 (2021), Nr. 14, S. 7944

[Zan70] ZANGEMEISTER, Christof: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik : eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen (en: Utility value analysis in systems engineering a methodology for multidimensional evaluation and selection of project alternatives).* 1. Aufl. München : Wittemannsche Buchhandlung, 1970

Anlagen

ECO+ Produkte, bestehend aus:

- ECO+ Entwurfswerkzeug
- ECO+ Kriterienkatalog
- ECO+ Fallbeispiel