

Rahmenplan Energy City Graz-Reininghaus

Subprojekt 2 des
Leitprojektes
"ECR Energy City Graz -
Reininghaus"

E. Rainer, H. Schnitzer, T. Mach,
T. Wieland, M. Reiter, L. Fickert,
E. Schmutzner, A. Passer, H. Oblak,
H. Kreiner, R. Lazar, M. Duschek,
et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

44/2015

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Rahmenplan Energy City Graz-Reininghaus

Subprojekt 2 des Leitprojektes
"ECR Energy City Graz - Reininghaus"

Ernst Rainer, Hans Schnitzer, Thomas Mach, Thomas Wieland,
Michael Reiter, Ernst Schmutzner, Lothar Fickert,
Alexander Passer, Helmuth Kreiner, Hannes Oblak, Reinhold Lazar,
Markus Duschek, Richard Heimrath, Werner Lerch, Stephan Maier,
Markus Gratzl-Michlmair, Florian Tatzber, Peter Maydl,
Ingo Sonnek, Michael Narodoslawsky, Antonia Nakova,
Michael Malderle, Yvonne Bormes, Martin Schnalzer,
Carlos Varela Martin, Kersten Hofbauer
TU Graz

Graz, Dezember 2014

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“).

Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.HAUSderZukunft.at Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhalt

1 Aufgabenstellung und Vorgangsweise.....	3
1.1 Das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus.....	3
1.2 Das Forschungsprojekt ECR	3
1.3 Strategie des ECR-Projektes	7
2 Rahmenbedingungen und Leitthemen.....	13
2.1 Stadtklimatologische Ausgangslage	13
2.2 Energetische Potenziale in Graz-Reininghaus	14
2.3 Nachhaltigkeit als Leitthema	21
2.4 Bearbeitungsansätze	23
3 Erstellung des städtebaulichen Konzeptes.....	26
3.1 Entwicklung einer Bebauungsstruktur	27
3.2 Entwicklung eines urbanen Nutzungsmixes	32
3.3 Definition von Analysegebieten und Stadtbausteinen	38
3.4 Stadtbaustein Entwicklung der Quartiere Q1 und Q4a.....	40
3.5 Stadtbaustein Parkquartier 5	44
3.6 Stadtbaustein Kern-Quartiere Graz-Reininghaus	46
3.7 Stadtbaustein Plus-Energieverbund Reininghaus Süd.....	52
3.8 Stadtbaustein Altenwohnheim Peter Rosegger	55
3.9 Stadtbaustein Kommunalen Wohnbau Hummelkaserne.....	57
3.10 Stadtbaustein Wohnbau Hummelkaserne Süd.....	58
3.11 Energiebausteine	59
4 Stadtklimatologische Untersuchungen	62
4.1 Datenlage und Methodik	62
4.2 Beurteilung des Oberflächentemperaturverhaltens	63
4.3 Beurteilung der neu gewonnenen Daten aus dem Vertikalprofil	65
4.4 Strömungstechnische Beurteilung von Querbauwerken	67
4.5 Immissionstechnische Beurteilung	68
5 Modellierung des Bedarfs an und der Versorgung mit Wärme und elektrischem Strom.....	71
5.1 Randbedingungen und Bewertungsgrundlagen	72
5.2 Thermische Energiedienstleistungen im primären Analyse-Gebiet.....	73
5.3 Elektrische Energiedienstleistungen im primären Analyse-Gebiet.....	82
5.4 Eigenverbrauchsgrad, Autonomiegrad und dezentraler Deckungsbeitrag	86

6	Ökonomisch- ökologische Optimierung	88
6.1	Urbane Energietechnologien	90
6.2	Das maximale Technologienetzwerk	96
6.3	Erstellung von Umsetzungsszenarien	99
6.4	Optimalergebnis und Szenarienvergleich	101
7	Nachhaltigkeitsbewertungen auf der Grundlage von Zertifizierungssystemen	109
7.1	Bewertungskriterien auf Gebäude- und Stadtquartiersebene	110
7.2	Nachhaltigkeitsbewertung für Stadtquartiere	113
7.3	Bewertung der Ökologischen Qualität	113
7.4	Bewertung der Ökonomischen Qualität	115
7.5	Bewertung der Soziokulturellen und der Funktionalen Qualität	116
7.6	Bewertung der Technischen Qualität	118
7.7	Bewertung der Prozessqualität	120
8	Analyse des städtebaulichen Bearbeitungsprozesses	122
8.1	Urbane Mobilität	122
8.2	Wirtschaft	129
8.3	Gebäudestandards, Lebenszyklus u. Klima	131
8.4	Wissenschaft	132
8.5	Initiierung und Begleitung des Entwicklungsprozesses	137
8.6	Indikatoren und übertragbare Zielwerte	139
8.7	Konzeption einer ECR-Wissensbasis	142
8.8	Folgerungen und Handlungsempfehlungen	144
9	Quellennachweise	148
10	AutorInnen	156
11	Danksagung	157

1 Aufgabenstellung und Vorgangsweise

Die Stadt Graz ist die derzeit am schnellsten wachsende Landeshauptstadt Österreichs [1]. Die Nachfrage nach Wohnraum ist in den letzten Jahren stark gestiegen und wird, gemäß den aktuellen Prognosen, auch in den kommenden Jahrzehnten weiterhin wachsen [1]. Die zur Befriedigung des gegenwärtigen und laufend steigenden Bedarfs an Gebäuden zu errichtenden Bauvolumina stellen eine intensive ökonomische und ökologische Herausforderung der Stadt dar. Daher steht es im Interesse der Stadtverwaltung und seiner Bewohner das stetige Wachstum im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu gestalten.

1.1 Das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus

Graz- Reininghaus ist als ehemaliges Brauereigelände mit einer Fläche von 110 Hektar das größte freie innerstädtische Areal (Urban Green Field) im zentralen Stadtgebiet der Stadt Graz. Das Gebiet liegt nur 1,8 km Luftlinie vom Grazer Hauptplatz entfernt (Abbildung 1-1) und ist das letzte zusammenhängende unbebaute Gebiet in Graz. Graz-Reininghaus birgt somit eines der wichtigsten Stadtentwicklungspotenziale innerhalb der bewohnten Gegenden von Graz. Der Stadt Graz und der gesamten Region um Graz bietet dieses Urban Green Field eine einmalige Gelegenheit, innerhalb der Stadt nicht nur ein neues Wohn-, Büro- und Gewerbegebiet zu erschließen, sondern auch zukunftsweisende Konzepte zu erproben und eine Vorreiterfunktion für nachhaltige Stadtentwicklung in Österreich einzunehmen.



Abbildung 1-1: Lage des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus [2]

1.2 Das Forschungsprojekt ECR

Aufgrund dieser Motivation wurde das Forschungsprojekt *ECR Energy City Graz-Reininghaus: Urbane Strategien für die Neukonzeption, den Bau, Betrieb und die Umstrukturierung des energieautarken Stadtteils* (kurz: ECR) [3] ins Leben gerufen. Das Forschungsprojekt ECR zielt darauf ab für die Konzeption, den Bau, den Betrieb und die Umstrukturierung des Stadtteils Graz-Reininghaus zukunftsfähige Strategien zu entwickeln. ECR wurde bei der nationalen Förder-schiene *Haus der Zukunft Plus* als Leitprojekt eingereicht und besteht aus der Erstellung eines übergeordneten Rahmenplans sowie eines nachhaltigen, möglichst weitgehend auf erneuerbaren Energien fußenden Energiekonzeptes und der Initiierung und wissenschaftlichen Begleitung mehrerer Demonstrationsprojekte.

Aufgrund von Umstrukturierungen bei den Eigentumsverhältnissen des Areals und der damit verbundenen anfänglichen Ungewissheit hinsichtlich der weiteren Entwicklung in Graz-Reininghaus mussten die ursprünglich eingereichten Demonstrationsprojekte aufgegeben und durch ein neues Demonstrationsbauvorhaben ersetzt werden. Nach mehr als zweijähriger Vorarbeit gelang es der Technischen Universität Graz in Kooperation mit der Stadtbaudirektion Graz mit dem *PLUS ERS Plusenergieverbund Reininghaus Süd* ein richtungsweisendes Demonstrationsbauvorhaben zu initiieren.

Im Jahre 2009 erfolgte die erfolgreiche Neueinreichung des ECR-Leitprojektes bei der nationalen Förderschiene Haus der Zukunft Plus. Das Leitprojekt ECR gliedert sich ab diesem Zeitpunkt in zwei Forschungsprojekte. Einerseits die wissenschaftliche Begleitung des Demobauvorhabens im Forschungsprojekt *PLUS ERS Plusenergieverbund Reininghaus Süd* unter der Leitung der AEE INTEC. Für dieses Forschungsprojekt konnten zudem das Architekturbüro Nussmüller Architekten ZT GmbH, das Büro TB Hammer und die Investoren Aktiv Klimahaus GmbH und WEGRAZ GmbH gewonnen werden. Andererseits wird das Forschungsprojekt *Rahmenplan Energie Graz-Reininghaus* (RPE_ECR) unter der Leitung der Technischen Universität Graz durchgeführt. **Im gegenständlichen Abschlussbericht werden vor allem die Ergebnisse des Forschungsprojektes Rahmenplan Energie Graz-Reininghaus vorgestellt.**

Die Entwicklung des *Rahmenplanes Energie ECR* erfolgte im engen Schulterschluss mit der Stadtbaudirektion Graz und mit Unterstützung der Fachabteilung Energie und Wohnbau des Landes Steiermark. Die Finanzierung des *Rahmenplanes Energie ECR* wurde durch eine Drittelteilung zwischen Stadt Graz, dem Land Steiermark und der nationalen Förderschiene „Haus der Zukunft Plus“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie ermöglicht. Der Rahmenplan Energie bildet die Ergänzung des von der Stadt Graz erarbeiteten städtebaulichen Rahmenplanes um die Themenbereiche Energie und Nachhaltigkeit.

Im Rahmenplan Energie ECR wurden folgende Projektziele angepeilt:

- **Konzeption einer autarken Energieversorgung** des Stadtteils Graz-Reininghaus (wissenschaftliches Ziel)
- **Initiierung und Begleitung des Entwicklungsprozesses** für den energieoptimierten nachhaltigen Stadtteil Graz-Reininghaus
- Erstellung eines Leitfadens mit Handlungsempfehlungen und einer Checkliste für zukünftige energieoptimierte Stadtteilentwicklungen in Graz und der Steiermark
- **Entwicklung energetischer Zielwerte** zur Verankerung in privatrechtlichen Verträgen zwischen der Stadt Graz und künftigen Investoren, gefördert durch Anreizsysteme wie beispielsweise Bonuskubaturen / erhöhte Bebauungsdichten bei der Umsetzung
- **Konzepte zur Integration der Zielwerte geeigneterweise in lokale Pläne / Verordnungen** (Stadtentwicklungskonzept STEK Graz, Stadtteilentwicklungskonzept Graz-Reininghaus und Bebauungspläne der 20 Stadtquartiere)
- Innovative Positionierung des Stadtteils Graz-Reininghaus am europäischen Immobilienmarkt. Diese **USP** (Unique Selling Proposition) soll als Anreiz dienen, um innovative Investoren zu gewinnen.
- Bei den beteiligten Firmen, KonsulentInnen, MitarbeiterInnen der Stadt Graz und ForscherInnen der TU Graz werden **Wissens- und Humanressourcen** generiert.

- Gründung eines **interdisziplinären ExpertInnennetzwerkes** als Plattform für energieautarke Stadtteilentwicklung Graz-Reininghaus. Initiierung **vernetzten Denkens**, um in weiterer Folge auch auf **andere Stadtteilentwicklungen** übertragbare energieautarke Lösungen ausarbeiten zu können.
- **Wissenstransfer und Bildung:** Die Forschungsergebnisse werden unmittelbar in der Planung und Realisierung der Demonstrationsprojekte berücksichtigt. **Die Integration in die Lehrinhalte** erfolgt durch die Konsortialpartner TU Graz (Institut für Städtebau, Institut für Wärmetechnik, Institut für Elektrische Anlagen, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie).
- Die **Projektergebnisse** des *Rahmenplans Energie ECR* sollen **maßgeblich** zur **Gründung** eines Fonds für nachhaltige Stadtentwicklung in Graz beitragen. Zukunftsziel der Stadt Graz ist die Einrichtung eines mit EU-Mitteln kofinanzierten **revolvierenden Nachhaltigkeitsfonds**.
- Das im Projekt **aufgebaute Wissensnetzwerk** mit internationalen Experten soll nach Abschluss des Projekts über **neu einzureichende EU-Programme** erweitert werden und weitere Folgeprojekte für Graz initiieren.

Projektstruktur Rahmenplan Energie Graz-Reininghaus

Das Subprojekt 1 beinhaltet das mit dem Arbeitspaket 1 das übergeordnete Management des Leitprojektes. Zur Erreichung der Projektziele innerhalb des vorliegenden Subprojektes 2 *Rahmenplan Energie Graz-Reininghaus* wurden **vier Arbeitspakete** festgelegt (Abbildung 1-2). In der Potenzialermittlung (AP 2.1) wurden alle relevanten rechtlichen, energietechnischen und technologischen Rahmenbedingungen zur Erstellung eines Energiekonzeptes im Stadtareal Graz-Reininghaus betrachtet (Kapitel 2).

Aufbauend auf der Potenzialermittlung beinhaltete das Arbeitspaket AP 2.2 die Bearbeitung des städtebaulichen Konzeptes für das Stadtareal Graz-Reininghaus unter besonderer Berücksichtigung energietechnischer Fragestellungen (Kapitel 3). Begleitend zur städtebaulichen Entwicklungsarbeit durch das Institut für Städtebau wurden mehrere Institute der Technischen Universität Graz beauftragt aus unterschiedlichen Blickwinkeln auf der Grundlage verschiedener Methoden wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Die begleitenden Untersuchungen flossen in permanenter Rückkoppelung in die städtebauliche Bearbeitung ein.

Das Institut für Geografie der Karl-Franzens-Universität Graz untersuchte in einer Studie die stadtklimatologischen Rahmenbedingungen am Stadtareal Graz-Reininghaus (Kapitel 4). Das Institut für Wärmetechnik und das Institut für Elektrische Anlagen der Technischen Universität Graz untersuchten Konzepte zur thermischen und elektrischen Versorgung (Kapitel 5). Das Institut für Prozess- und Partikeltechnik der Technischen Universität Graz beschäftigte sich mit ökonomischen Optimierungsrechnungen zu möglichen Energiesystemen im Rahmen einer Prozess-Netzwerk-Synthese (Kapitel 6). Das Institut für Materialprüfung untersuchte den Einsatz von Zertifizierungssystemen zur Stärkung der Nachhaltigkeit auf der Ebene städtebaulicher Planung (Kapitel 7).

Im Arbeitspaket AP 2.3 wurden die vielfältigen Teilergebnisse der einzelnen Bearbeitungsschritte in einer übergeordneten Ebene zusammengefasst und zu Aussagen, Analysen und Handlungsempfehlungen in verschiedensten Kategorien komprimiert (Kapitel 8).

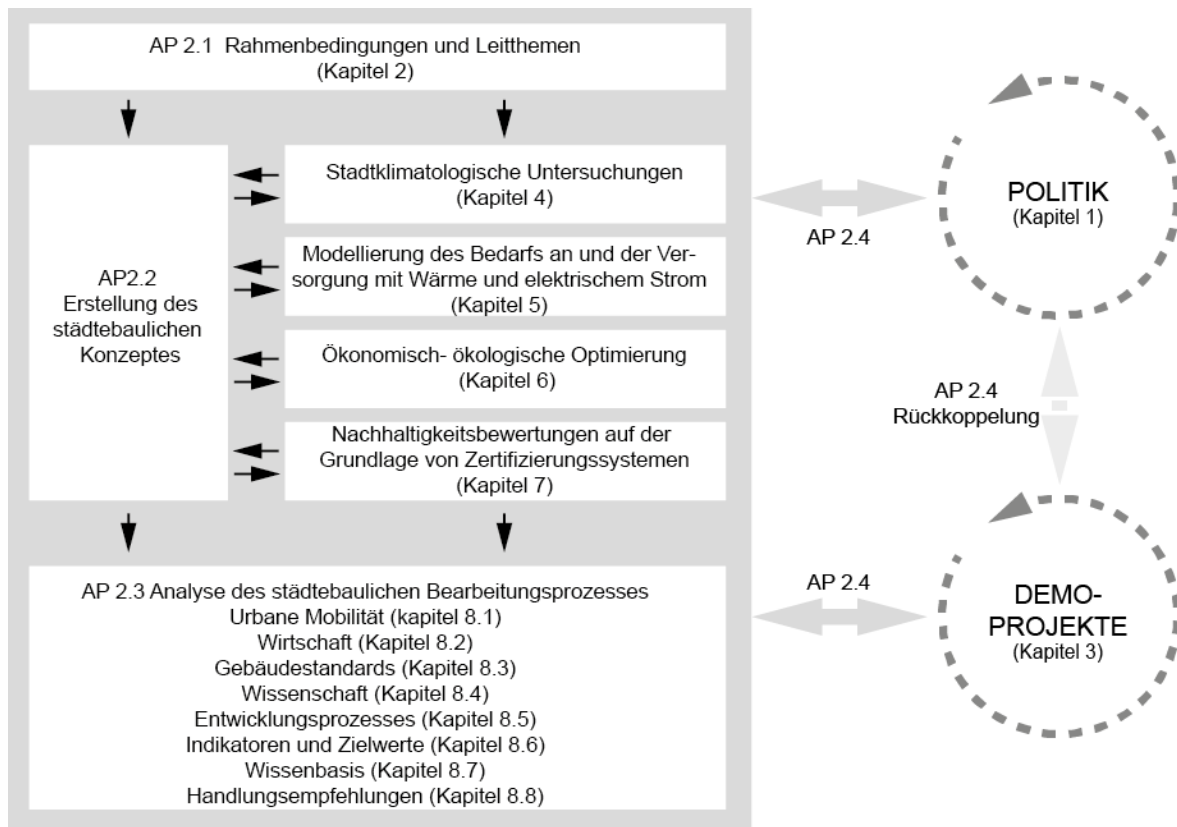


Abbildung 1-2: Methodische Vorgangsweise im Projekt

Die durch technische Studien begleitete städtebauliche Entwicklungsarbeit für das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus stand in ständiger Wechselwirkung mit übergeordneter Entwicklungs- und Überzeugungsarbeit auf politischer Ebene.

Gleichlaufend wurde die permanente Wechselwirkung mit einzelnen am Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus im Laufe der Projektlaufzeit entworfenen, geplanten und teilweise auch schon gebauten Demoprojekten gepflegt. Wettbewerbsverfahren weiterer Quartiere wurden begleitet und Wettbewerbsergebnisse untersucht. Insbesondere wurde die Entwicklung der Kernquartiere des Investors, wissenschaftlich begleitet und Empfehlungen für deren zukünftige Weiterentwicklung erarbeitet.

Auf der Grundlage einer flexibel gestalteten Begleitung des Entwicklungsprozesses konnten in der Bearbeitung des *Rahmenplans Energie Graz-Reininghaus* Bebauungsszenarien für einzelne Quartiere als Entwicklungsleitbilder erstellt werden, um in der Folge Empfehlungen für deren zukünftige Weiterentwicklung abgeben zu können.

Insbesondere ist es mit der Realisierung des im international beachteten Demobauvorhabens *Plus ERS Energieverbund Reininghaus Süd* gelungen, eine in Hinblick auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit bezogene anspruchsvolle Benchmark zu setzen und so ein Fundament für die nachhaltige Entwicklung des zukünftigen Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus zu legen.

Hervorzuheben ist, dass kein Arbeitsbereich in sich abgeschlossen war, sondern eine ständige Interaktion zwischen der städtebaulichen Bearbeitung des Rahmenplans, der Begleitung und Weiterentwicklung der Demonstrationsvorhaben und der allgemeinen politischen Ebene gelebt wurde. Die einzelnen Arbeitsschritte wurden in Rahmen der Prozessgestaltung (AP 2.4 Prozessoptimierung) in iterativen Schleifen organisiert. Die Bearbeitung der Ergebnisse erfolgte in Gesprächen und Workshops mit den betroffenen Ämtern der Stadt Graz und den Investoren vor Ort. Die parallel geführte Betrachtung auf Quartiersebene sowie auf Stadtteilebene ermöglichte es, Synergien zwischen einzelnen Gebäudeverbänden über die Quartiersgrenzen der einzelnen Investoren hinaus zu erkennen und im Bearbeitungsprozess zu thematisieren.

1.3 Strategie des ECR-Projektes

Die ECR-Projektinitiative steht für mehr als nur für Energieforschung auf stadtplanerischer Ebene. Die Pionierarbeit des ECR-Projektes liegt nicht nur in der Konzeption des *Rahmenplans Energie ECR* und in der Umsetzung des ECR-Demobauvorhabens, sondern auch in der Vernetzung über „Systemgrenzen“ hinweg. Der bereits erwähnte enge Schulterschluss zwischen der Stadt Graz, der Technischen Universität Graz und dem Land Steiermark und den Investoren im Stadtgebiet bildet die Basis für den Aufbau der ECR-Kooperationsplattform und die erfolgreiche Umsetzung des gesamten ECR-Projektes.

Den Kern der ECR-Projektinitiative bildet die Idee einer Kooperation zwischen Verwaltung Forschung und Wirtschaft. Der Leitspruch des ECR-Projektes war und ist „Synergie durch Vernetzung“. Durch diesen Systemansatz konnten neue umfassende Erkenntnisse sowohl für den Stadtteil Graz-Reininghaus, die Initiierung weiterer Pilotprojekte als auch für die Forschung erarbeitet werden. Abbildung 1-3 zeigt den aktuellen Stand der ECR-Kooperationsplattform.



Abbildung 1-3: Darstellung der ECR-Plattform [2]

Im Zuge des ECR-Leitprojektes entwickelte sich eine neue Kultur des Zusammenarbeitens sowohl innerhalb der Technischen Universität Graz. (interdisziplinäre Kooperation mehrerer Fakultäten) als auch zwischen den eingebundenen Planungsabteilungen der Stadt Graz, des Landes Steiermark den beteiligten Investoren, Energieversorgen und ExpertInnen. Auf dem „neutralen Boden“ der Technischen Universität Graz konnten kontroversielle Zukunftsfragen und Themen fachlich diskutiert und gemeinsam zukunftsfähige Lösungen erarbeitet werden

Die Genese des Projektes hat deutlich gezeigt, wie langfristige Meinungsbildungsprozesse der politischen Entscheidungsträger angelegt sind und wie wichtig die konsequente Motivation ist. In dieser Phase waren die Stadtbaudirektion Graz und das ECR-Team als Entwicklungsmanagement zwischen Politik, Verwaltung und Bauherren tätig, um Entscheidungen zu erwirken, Positionen zu festigen und unwägbar Situationen zu entschärfen.

Der kontinuierliche Prozess hat dazu geführt, das Projekt weiterzuentwickeln und die maßgeblichen Entscheidungsträger aus Wirtschaft und Politik zu informieren und für das ECR-Leitprojekt zu interessieren. Der erfolgreiche Schulterschluss zwischen den genannten ExpertInnen führte im Gemeinderat der Stadt Graz zu folgenden Beschlüssen:

Im Gemeinderat der Stadt Graz (Dezember 2009) wurde per einstimmigen Beschluss folgender „Hauptnutzen für die Stadt Graz“ durch das ECR-Projekt festgehalten:

- *„... Mit dem Fokus der Förderung einer nachhaltigen energieoptimierten Stadtentwicklung kann die Stadt Graz durch das Projekt ECR im eigenen Einflussbereich substantielle Zeichen setzen und gleichzeitig weiterführende nationale und internationale Förderschienen und damit verbundene Kofinanzierungen aus dem Bereich der nachhaltigen Stadtentwicklung akquirieren.“*
- *Aufbau eines interdisziplinären Expertennetzwerkes für eine nachhaltige und energieoptimierte Stadtentwicklung in Graz*
- *Gesamtennergiekonzept als städtische Planungsgrundlage*
- *Die Ergebnisse des Rahmenplan Energie ECR sollen künftig dienen:*
 - *als Planungsstrategie zur Entwicklung von Graz-Reininghaus*
 - *als Grundlage für die erforderlichen raumordnungsrechtlichen Beschlüsse und Genehmigungen ... (z.B. STEK, FLÄWI)*
 - *als Grundlage zur Bearbeitung von erforderlichen Bebauungsplänen*
 - *als Aufgabenstellung in Ausschreibungsunterlagen von baukünstlerischen und städtebaulichen Wettbewerben*
 - *als Grundlage für zukünftige energie- und nutzungsoptimierte Stadtteilentwicklungen*
 - *zur Überprüfung und Festlegung möglicher „Bonuskubaturen“*
 - *als Ausgleich für erhöhten Bauaufwand bei Plus-Energie Bauten, Anreize für Investoren durch beispielweise Bonuskubaturen..“*

Am 29. Juni bis 15. Juli 2012 wurden die Grazer BürgerInnen bezüglich eines Ankaufes der im Eigentum einer Immobilien-Entwicklungsgesellschaft befindlichen Flächen befragt. Mehr als zwei Drittel (67,7 %) der an der Befragung teilgenommenen BürgerInnen sprachen sich gegen einen Ankauf der Grundstücksflächen durch die Stadt Graz aus.

Aufgrund dieses eindeutigen BürgerInnenentscheides war es notwendig, die nachhaltige räumliche Entwicklung des zukünftigen Stadtgebietes privatrechtlich zu vereinbaren. Die städtebauliche Basis dazu bildete der von der Stadt Graz und der Immobilien-Entwicklungsgesellschaft kooperativ entwickelte Rahmenplan Graz-Reininghaus.

In den darauffolgenden Verhandlungen zwischen der Stadt Graz und den damaligen Grundeigentümern einer Immobilien-Entwicklungsgesellschaft wurde vereinbart:

- „65.000 Quadratmeter für öffentliche Grünflächen und 89.000 Quadratmeter für öffentliche Verkehrsflächen gehen kostenlos in das Eigentum der Stadt Graz über.
- Die Immobilien-Entwicklungsgesellschaft beteiligt sich an den Infrastrukturkosten. Vereinbart wurde, dass je 30 Euro pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche an die Stadt Graz fließen – das sind nach derzeitigen Berechnungen rund 15 bis 20 Millionen Euro.“
[2]

Damit wurde in Graz erstmalig in der Steiermark eine „Bodenwertabgabe“ zwischen Grundeignern und der Stadt Graz vereinbart. Diese privatrechtliche Vereinbarung ermöglichte auch die verbindliche Verankerung der Nachhaltigkeit, Ökologie, Energieeffizienz und autoarme Verkehrserschließung des Stadtteils Graz-Reininghaus.

Basierend auf der oben genannten privatrechtlichen Vereinbarung wurde am 28.02.2013 im Grazer Gemeinderat die Sicherstellung der städtischen Forderungen mehrheitlich beschlossen.

Folgende Punkte wurden expliziert vereinbart:

„Die Ziele und Qualitäten des vom Gemeinderat beschlossenen Rahmenplanes für Graz-Reininghaus sind bindend bei den folgenden Bebauungsplänen zu berücksichtigen“

„Die Entwicklung des Stadtteils Graz-Reininghaus soll unter Beachtung folgender Gesichtspunkte gemäß des Rahmenplanes erfolgen:

- 1. Nachhaltigkeit, Ökologie, Energieeffizienz und autoarme Verkehrserschließung*
- 2. BürgerInnenbeteiligung im Sinne der in Ausarbeitung befindlichen Leitlinien*
- 3. Gute Versorgung mit öffentlichen Verkehrsmitteln nach Maßgabe des Baufortschritts sowie Anbindung ans Radwegenetz und eine prioritäre Budgetvorsorge dafür“ [4]*

Der Gemeinderatsbeschluss wurde von Seiten der Immobilien-Entwicklungsgesellschaft inhaltlich vollständig anerkannt. Diese Vorgangsweise kann als Erfolg für alle Beteiligten deklariert werden, da trotz gescheiterter „Ankaufsverhandlungen“ an der nachhaltigen Entwicklung des zukünftigen Stadtteils gemeinsam festgehalten wird.

Die privatrechtliche Vereinbarung zwischen der Immobilien-Entwicklungsgesellschaft und der Stadt Graz und der darauf aufbauende Gemeinderatsbeschluss zum Rahmenplan Graz-Reininghaus bildeten somit auch die rechtliche Basis für die erfolgreiche Bearbeitung des Rahmenplanes Energie ECR.

Abbildung 1-4 zeigt die planliche Darstellung des Rahmenplanes Graz-Reininghaus. Im Rahmenplan ersichtlich sind die an die Stadt Graz abgetretenen Flächen für den öffentlichen Raum (Straßennetz, Plätze), die einzelnen Quartiere (Baufelder) mit Quartierparks, Baufluchtlinien, Einfahrten der Quartierssammelgaragen, fußläufige Durchwegungen und Gunstlagen für soziale Infrastrukturen (Kindergärten und Schulen).

Am 28.02.2013 wurden im Gemeinderat der Stadt Graz die Grundstücke der Immobilien-Entwicklungsgesellschaft von Freiland in Bauland umgewidmet. Diese Umwidmung (Flächenwidmungsplanänderung) erfolgte basierend auf dem Rahmenplan Graz-Reininghaus und den privatrechtlichen Verträgen zwischen der Stadt Graz und der Immobilien-Entwicklungsgesellschaft.

Bei der Flächenwidmungsplanänderung wurde besonderer Wert auf die Festlegung der im Rahmenplan angedachten Nutzungsdurchmischung (Kombination von Wohnen, Arbeiten, Verkauf etc.) gelegt. Um diesem Ziel gerecht zu werden, wurde je Quartier der maximale Prozentsatz an Wohnungsnutzung bezogen auf die mögliche Bruttogeschoßfläche vertraglich festgelegt. Abbildung 1-5 zeigt den aktuellen Flächenwidmungsplan. Darin ersichtlich sind die drei Baulandwidmungen

- KG Kerngebiet mit einer Bebauungsdichte von 0,5 bis max. 2,5
- WA Wohnen Allgemein mit einer Bebauungsdichte von 0,2 bis max. 1,2
- GG Gewerbegebiet mit einer Bebauungsdichte von 0,2 bis max. 2,5 erfasst

Zusätzlich sind die Freiflächen „öPa“ (öffentliche Parkanlagen) und „Spo“ (Sportflächen) stadträumlich festgelegt. Die Kerngebietswidmung „KG“ ermöglicht eine flexible Nutzungsmischung der städtischen Bebauung. In diesen Quartierswidmungen sind Wohn-, Büro und Geschäftsnutzungen möglich. Die Widmungskategorie „WA“ (Wohnen Allgemein) ermöglicht die Entwicklung von städtischen Wohnquartieren. Die Widmung „GG“ (Gewerbegebiet) dient zur Ansiedlung von innerstädtischen Gewerbebetrieben. In jedem Quartier sind die maximal mögliche Bruttogeschoßfläche und der maximal mögliche Prozentsatz an Wohnnutzung angeben.

Die Vorgaben des Flächenwidmungsplanes forcieren die angedachte Nutzungsdurchmischung und die damit verbundene Ausbildung einer „urbanen Sockelzone“. Diese stadtplanerische Strategie bildet somit optimale Voraussetzungen für die Entwicklung eines nachhaltigen Stadtteils der kurzen Wege.



Abbildung 1-4: Rahmenplan Graz-Reininghaus [2]

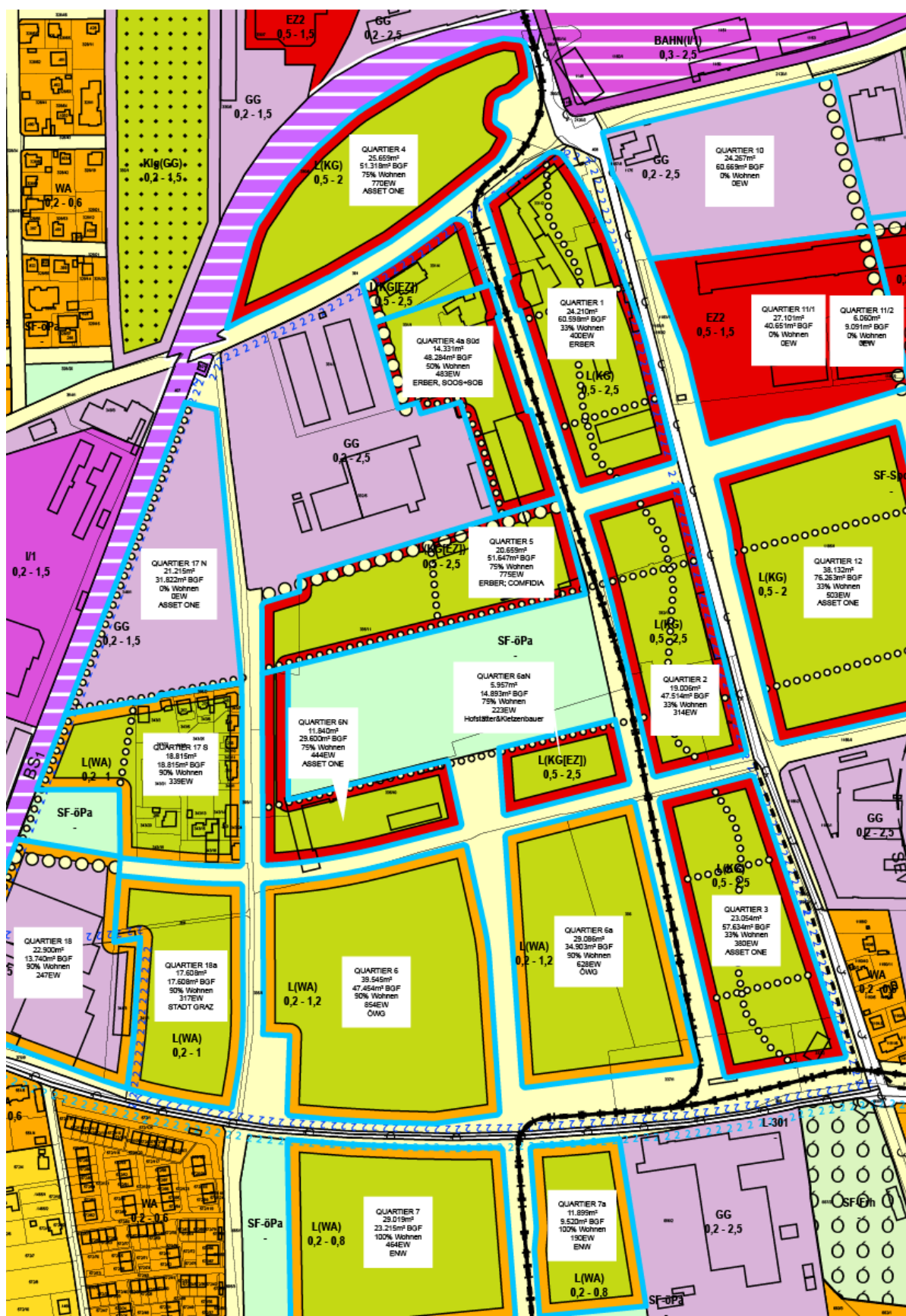


Abbildung 1-5: Aktuell gültiger Flächenwidmungsplan der Kernquartiere von Graz-Reininghaus [5]

2 Rahmenbedingungen und Leitthemen

Die im *Rahmenplan Energie ECR* erfolgte Untersuchung der Rahmenbedingungen und den energetischen Potenzialen von Graz-Reininghaus basiert auf den Empfehlungen der europäischen Leipzig Charta für nachhaltige Stadtentwicklung und dem Leitfaden „try this way“ des Europäischen Rates für Raumplaner [6]. Im Leitfaden wird im Teil 2 „Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung“ dezidiert darauf hingewiesen, dass am Beginn einer Stadtentwicklungsplanung die Erfassung der vorhandenen stadtklimatologischen Rahmenbedingungen und der energetischen Potenziale stehen soll. Die „Leipzig Charta zur nachhaltigen europäischen Stadt“ vom Mai 2007 empfiehlt „das Instrument der integrierten Stadtentwicklung voranzutreiben“ und aufgrund einer „Bestandsanalyse die Stärken und Schwächen der Stadt und der Stadtteile“ zu erfassen. Gemäß der genannten Empfehlungen erfolgte die im Folgenden beschriebene Erfassung der stadtklimatologischen Rahmenbedingungen und den vorhandenen energetischen Potenziale in Graz-Reininghaus.

2.1 Stadtklimatologische Ausgangslage

Der gegenwärtige Klimawandel stellt an die Stadtplanung einige Herausforderungen. Am markantesten wurde dies im Sommer 2003 deutlich, als in Frankreich viele Hitzetote in Städten zu beklagen waren. Dieser Sommer war in den positiven Abweichungen so außergewöhnlich, dass es für die Zukunft – und darunter sind die nächsten 20 bis 30 Jahre zu verstehen – gut überlegter und auf die Bedürfnisse der Bevölkerung abgestimmter Konzepte bedarf, um hier aus planerischer Sicht gegensteuern zu können.

Im Detail werden es aus bioklimatischer Sicht vor allem die zu warmen Nächte sein („Tropennächte“ mit Minima über 20°), die den Menschen die nächtliche Regeneration erschweren und zu Hitzestress führen. Das Areal der ehemaligen Brauerei Reininghaus liegt im Nordwesten von Graz und damit in einem stadtklimatisch sehr interessanten Übergangsbereich zwischen zentral gelegenen Innenstadtbezirken mit typischer Ausprägung des Stadtklimas wie Wärmeinseln und modifizierten Strömungsverhältnissen einerseits und den Randbezirken im Norden und Westen mit merklich abgeschwächten Charakteristika eines Stadtklimas. Das Areal an sich stellt mit seiner gegenwärtigen landwirtschaftlichen Nutzung eine nächtliche Kaltluftproduktionsfläche dar, die in einem geringen Rahmen auch die nähere Umgebung vor allem südlich des Areals beeinflusst.

Gemäß den bisherigen Ergebnissen wird das Areal vom Murtalauswind mit Strömungsrichtungen aus dem Sektor NW bis NE nachts und tagsüber vom Murtaleinwind mit Richtungen aus dem Sektor S bis E beeinflusst. Allerdings ist dabei zu beachten, dass sich die Strömungsverhältnisse mit der Höhe insofern ändern, als die Windgeschwindigkeiten mit der Höhe deutlich zunehmen, die Zahl der Windstillen merklich abnimmt und die Windrichtungsverteilungen ebenfalls stark modifiziert werden, was insgesamt etwa für die Schadstoffausbreitung entscheidend wird.

Von besonderem Interesse ist unter anderem das Gebäude der Mälzerei, das quer zur Hauptwindrichtung steht und daher einen markanten Leewirbel hervorruft. Das Ausmaß dieser Rezirkulation ist allerdings erst durch Detailuntersuchungen abzuklären – etwa mittels einer Windmessstation am Dach und einer weiteren südlich des Gebäudes in einer Maisanbaufläche.

Einen weiteren wichtigen Punkt stellen die im Grazer Raum so auffälligen Flurwinde dar, die im Untersuchungsgebiet mit schwachen Winden aus dem Sektor Südost bis Südwest verbunden sind.

Sie weisen eine größere Mächtigkeit auf und sind daher nicht nur thermisch induziert, sondern durch die Besonderheit des Murtalauswindes mit seinem Düseneffekt im Bereich Gösting auch in hohem Maße druckinduziert. Letztlich sind diese Aspekte für die Höhe der geplanten Gebäude von großer Bedeutung. Eine ausreichend gute Durchlüftung sollte für das gesamte Areal angestrebt werden. Die thermischen Verhältnisse werden gegenwärtig durch die landwirtschaftliche Nutzung geprägt, was speziell nachts den Charakter einer Kaltluftproduktionsfläche bedingt. Die dort abgekühlte Luft dürfte in einem bisher noch nicht näher untersuchten Ausmaß die nähere bebaute Umgebung beeinflussen. Bei einer Bebauung ist klarerweise in Abhängigkeit von der Bebauungsdichte mit einem Wärmeinseleffekt zu rechnen. Dabei werden auch die zwischen den Gebäudekomplexen verbleibenden Grünflächen einen entscheidenden Einfluss auf diesen Wärmeinseleffekt haben.

Im Projekt *Rahmenplan Energie ECR* ergibt sich die einmalige Chance stadtklimatologische Untersuchungen in den städtebaulichen Planungsprozess zu integrieren, um klimatologische Auswirkungen im Entwicklungsprozess der Bebauungsstruktur zu berücksichtigen.

2.2 Energetische Potenziale in Graz-Reininghaus

Im Zuge der energetischen Potenzialanalyse wurden die theoretischen Potenziale für erneuerbare Energien im Planungsgebiet ermittelt. Als Potenziale gelten in diesem Kapitel Energiequellen, die sich erneuern und somit langfristig genutzt werden können; Welche erneuerbare Energiequellen in welchem Maße genutzt werden können (nutzbare Potenziale) hängt von den verfügbaren Technologien und den Nutzern bzw. deren Jahreslastkurven ab. Technologien und Nutzungsverhalten können sich ändern, die Potenziale insgesamt bleiben aber konstant. Wieviel von den Potenzialen tatsächlich genutzt wird, hängt von der Systemoptimierung ab (siehe Kapitel 6), die auch wirtschaftliche Parameter berücksichtigt. Tatsächlich können schlussendlich Potenziale völlig ungenutzt bleiben (z.B. wenn aus wirtschaftlichen Gründen keine Wärmepumpen zum Einsatz kommen oder aus ökologischen Gründen eine Grundwassernutzung untersagt wird).

Solares Angebot

Die solare Einstrahlung in Graz ist stark von der Jahreszeit abhängig. Bei einer gesamten Grundfläche von 452.000 m² und einer bebauten Fläche von 164.000 m² ergeben sich die in Abbildung 2-1 aufgeführten Werte in GWh/Monat.

	Tage	Stunden	Einstrahlung kWh/m ² d	Einstrahlung kWh/m ² Mo	GWh/Mo auf auf Grundfläche	GWh/Mo auf auf bebaute Fläche
Jänner	31	744	1,13	35,03	15,83	5,74
Februar	28,25	678	1,93	54,52	24,64	8,94
März	31	744	2,99	92,69	41,90	15,20
April	30	720	4,01	120,30	54,38	19,73
Mai	31	744	5,12	158,72	71,74	26,03
Juni	30	720	5,39	161,70	73,09	26,52
Juli	31	744	5,34	165,54	74,82	27,15
August	31	744	4,60	142,60	64,46	23,39
September	30	720	3,46	103,80	46,92	17,02
Oktober	31	744	2,26	70,06	31,67	11,49
November	30	720	1,23	36,90	16,68	6,05
Dezember	31	744	0,90	27,90	12,61	4,58
Gesamt je Jahr	365,25	8766		1.169,76	528,73	191,84

Abbildung 2-1: Verlauf der Einstrahlung

Die effektiven Solarerträge hängen von den schlussendlich verfügbaren Flächen ab und der Aufteilung zwischen Photovoltaik, Solarthermie und Grünraumnutzung ab. Sie können auch durch eine Nutzung von Fassaden nicht überschritten werden. Laut dem Rahmenplan von Graz-Reininghaus wird die maximale Grundfläche von Gebäuden im Areal etwa 164.000 m² betragen. Daraus resultiert etwa die gleiche nutzbare Flachdachfläche (ohne Dachüberstände). Auf Flachdächern werden davon Modulabschattungseffekte von 67 %, davon 25 % für Fenster, Kamine und Dachterrassen und davon weitere 10 % sonstige Abschattungseffekte abgezogen. Durch diese Restriktionen wird angenommen, dass maximal etwa 1/3 der Dachfläche als Kollektorflächen genutzt werden kann.

Windpotenzial

Zur energetischen Nutzung des Windes ist Graz aufgrund der topologischen und geografischen Lage stark benachteiligt. Es herrschen in der Stadt Graz zu geringe durchschnittliche Windgeschwindigkeiten, um diese langfristig sinnvoll energetisch zu nutzen. Im Bezirk Graz und Graz Umgebung liegt das Windpotenzial bei etwa 4 MW oder 6 GWh/a [7]. Sichtbar wird das geringe Windpotenzial durch die fehlende Durchlüftung durch die überdurchschnittlich hohe Feinstaubbelastung im Vergleich zu anderen Städten [8].

Nutzung der Erdwärme

Die ursprünglichen Energiequellen bei der Erdwärmenutzung sind unterschiedlich. Während die Nutzung oberflächennaher Wärme eigentlich eine Nutzung der Sonneneinstrahlung darstellt, wird bei der Nutzung der tiefen Geothermie tatsächlich „Erdwärme“ genutzt. Zur klaren Bestimmung der Begrifflichkeiten wird auf Abbildung 2-2 verwiesen. Die meisten angewandten Technologien zur Gewinnung von Erdwärme nützen die im Boden oder Grundwasser durch solare Einträge gespeicherte Energie (Wärmesonden in Flächenkollektor oder Wärmesonden in Bohrungen). Die Nutzung der Umgebungswärme aus der Umgebungsluft wird hier aufgrund des höheren spezifischen Stromverbrauchs nicht untersucht.

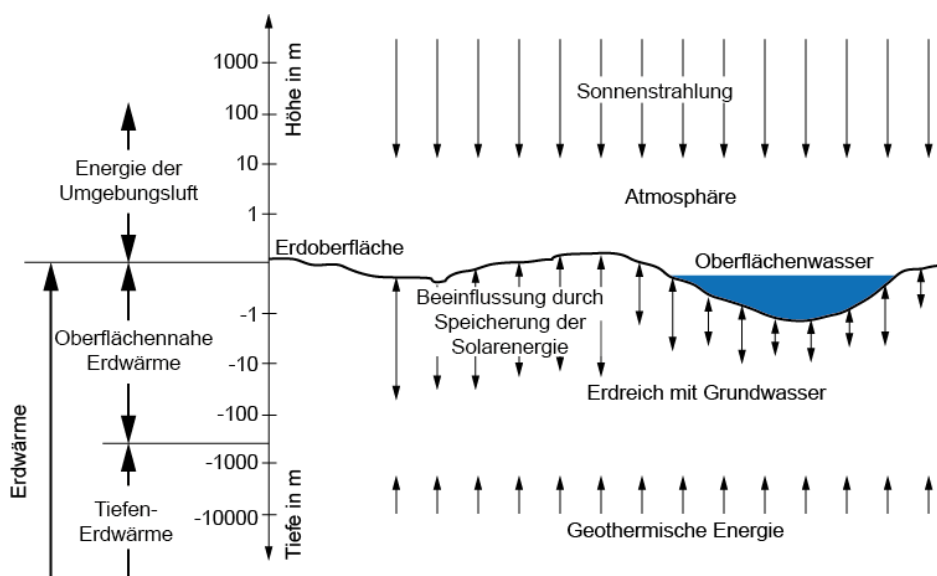


Abbildung 2-2: Begriffsbestimmungen Geothermie [9]

Nutzung der oberflächennahen Erdwärme

Die Entzugsleistung von Erdkollektoren beträgt 10 bis 40 W/m² [10]. Bei einer nicht verbauten Fläche von 288.000 m² ergeben sich bei 20 W/m² folgende entziehbare Wärmemengen (Abbildung 2-3).

		Nutzbare Energie/Tag	Nutzbare Entzugswärme Monat	Nutzbare Heizwärme Monat COP = 3,5
	Tage	GWh/d	GWh/Mo	GWh/Mo
Jänner	31	0,138	4,285	6,000
Februar	28,25	0,138	3,905	5,467
März	31	0,138	4,285	6,000
April	30	0,138	4,147	5,806
Mai	31	0,138	4,285	6,000
Juni	30	0,138	4,147	5,806
Juli	31	0,138	4,285	6,000
August	31	0,138	4,285	6,000
September	30	0,138	4,147	5,806
Oktober	31	0,138	4,285	6,000
November	30	0,138	4,147	5,806
Dezember	31	0,138	4,285	6,000
Gesamt je Jahr			50,492	70,689

Abbildung 2-3: Durch oberflächennahe Erdsonden gewinnbare Energie

Wärmepumpen mit Tiefensonden oder Energiepfählen

Durch die Nutzung oberflächennaher Erdwärme könnten im unverbauten Gebiet des Areals an die 70 GWh je Jahr an Wärme, über Wärmepumpen nutzbar gemacht werden.

Je nach Untergrundbeschaffenheit können 25 bis 100 W pro Laufmeter bereitgestellt werden [11]. Die von unten eingetragene Wärmemenge ist aber sehr gering. Unter Annahme eines Wärmeflusses von 60 mW/m² in den Bereich der unter Kellern angebrachten Sonden aus dem Erdinneren ergibt sich nur eine erntebare Energiemenge von 0,168 GWh/a.

Betonbauteile sind vorwiegend als tragendes oder architektonisches Element bekannt. Beton kann zudem jedoch auch als Wärmespeicher und Wärmeleiter genutzt werden. Der Aufwand zur energetischen Nutzung von Betonpfählen ist relativ gering. Neubau kann daher die Nutzung von Energiepfählen als eine einfach nutzbare und wirtschaftliche Wärmequelle angesehen werden. Gegenüber den Flachkollektoren, die in einer Tiefe von etwa eineinhalb Meter verlegt werden und zur Wärmebereitstellung viel Fläche beanspruchen, sind tiefe Sonden mit Wärmepumpen in urbanen Gebieten zu bevorzugen. Mittels Bohrungen in 60 bis 150 m Tiefe kann die Wärme aus dem Untergrund entzogen werden. Die im Winter entnommene Wärmemenge muss aber nachgeladen werden. Dies kann wegen des geringen Wärmeflusses nicht von unten erfolgen. Nachladen von der Seite wird bei einer dichten Bebauung wegen der gegenseitigen Beeinflussung nicht intensiv möglich sein. Energiepfähle und Tiefensonden stellen aber bei geeigneten geologischen Verhältnissen Technologien dar, die bei technischem Nachladen, z.B. im Sommer verbunden mit der Klimatisierung und Kühlung, äußerst sinnvoll sein können. Derartige Speicher müssen aber tiefer liegen als das strömende Grundwasser.

Tiefe Geothermie

Die Gesteine des Grazer Paläozoikums (Zielgestein für Geothermie) weisen günstige petrophysikalische Bedingungen auf. Das Grazer Paläozoikum reicht aber sehr weit an die Oberfläche, wodurch nur niedrige Temperaturen bei gegebenen Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten zu erwarten sind (Normalerweise liegt dieses Gestein in tieferen Schichten vor, welches grundsätzlich für tiefe Geothermie geeignet ist). Über die Mächtigkeit der darunter liegende Schichten ist nur wenig bekannt. Temperaturen von $> 100\text{ °C}$ sind aber erreichbar, womit die Möglichkeiten der Stromerzeugung über ORC- bzw. Kalinaverfahren gegeben sind. Tiefe Geothermie wird jedoch nicht kurzfristig in Graz bzw. Graz-Reininghaus erschließbar sein. Dazu wären vorab Grundlagenstudien notwendig, die nicht im Rahmen von ECR gemacht werden. Tiefe Geothermie (Wärme und Strom) wird aber in der zukünftigen Gestaltung der Energieversorgung von Städten eine wesentliche Rolle spielen [12].

Wärmeinhalt des Abwassers

Das Temperaturniveau des kommunalen Abwassers ist für eine direkte Nutzung für Heizung und Warmwasserbereitung zu niedrig. Es kann für diese Verwendungszwecke nur als „Anergiequelle“ dienen, also in Wärmepumpen auf ein höheres Niveau gehoben werden. In direkter Verwendung kann das Abwasser benutzt werden, um Verkehrsflächen (Geh- und Radwege, Haltestellen des öffentlichen Verkehrs) eisfrei zu halten. Dies erspart nicht nur Kosten für die Schneeräumung und den Streudienst (incl. Splitentfernung) sondern hält auch Verkehrsmittel und Geschäftslokale sauberer. Für die Berechnungen wird angenommen, dass die Abwassermenge dem Frischwasserbedarf entspricht (Abbildung 2-4), keiner jahreszeitlichen Schwankung unterliegt und dass das Abwasser mit einer durchschnittlichen Temperatur von 22 °C anfällt. Durch eine Abkühlung auf 7 °C kann der Wärmeinhalt entsprechend der Temperaturdifferenz von 15 °C genutzt werden. Die gesamte aus dem Abwasser entziehbare Wärmemenge beträgt somit über 10 GWh jährlich (Abbildung 2-5).

	Mischnutzung	Büro	Wohnen	Büro+Mischn.	Summe
Personen	469	579	9.105	1.048	10.153
I/Pd	44	30	130	36	120
I/d	20.636	17.370	1.183.650	38.006	1.221.656

Abbildung 2-4: Ermittlung des Frischwasserbedarfes (in Anlehnung an [13])

	Tage	Nutzbare Wärme/Tag GWh/d	Nutzbare Abwärme GWh/Mo	Nutzwärme Heizen COP=4 GWh/Mo
Jänner	31	0,021	0,661	0,881
Februar	28,25	0,021	0,602	0,803
März	31	0,021	0,661	0,881
April	30	0,021	0,639	0,852
Mai	31	0,021	0,661	0,881
Juni	30	0,021	0,639	0,852
Juli	31	0,021	0,661	0,881
August	31	0,021	0,661	0,881
September	30	0,021	0,639	0,852
Oktober	31	0,021	0,661	0,881
November	30	0,021	0,639	0,852
Dezember	31	0,021	0,661	0,881
Gesamt je Jahr			7,783	10,377

Abbildung 2-5: Aus dem Abwasser entziehbare Wärmemengen

Abwasserinhaltsstoffe

Die Berechnung des Energieinhaltes des Abwassers beruht auf der Annahme, dass durchschnittlich pro Person und Jahr 500 kg Urin, 50 kg Exkremente und 15 kg Toilettenpapier in das Kanalnetz gelangen [14]. Zusätzlich gelangen Inhaltsstoffe von Waschvorgängen (Personen, Geschirr, Wäsche, ...) in das Abwasser, sodass mit einem Einwohnergleichwert von 0,06 kg Kohlenstoff /Tag gerechnet werden kann. Wird diese Menge in Biogasanlagen mit einer Ausbeute von 27 Nm³ CH₄/100 kg BSB5 methanisiert, erhält man jährlich Biogas mit einem Energieinhalt von 1,45 GWh.

Bioabfälle

Der durchschnittliche Anfall von Bioabfällen pro Einwohner beträgt in der Steiermark 129 kg/a, wovon rd. 84 kg/EW [15] getrennt gesammelt und einer Verwertung zugeführt wurden. Davon entfallen

- rd. 53 kg/EW auf die Sammlung über die Biotonne,
- rd. 30 kg/EW auf kommunale Garten- und Parkabfälle sowie
- rd. 1 kg/EW auf biogene Friedhofsabfälle.

Rechnet man mit einem Ertrag von 100 Nm³ Biogas pro Tonne Bioabfall und einem Heizwert von 6 kWh/Nm³, so ergibt sich eine erntbare Energiemenge von ca. 0,365 GWh/a im Analysegebiet.

Abwärme aus Klimaanlagen

Auf Basis des Bedarfs an Kühlung im Analysegebiet lässt sich das Potenzial an Abwärme aus den Klimaanlagen als Anergiequelle ermitteln. Dieses Angebot ist stark von der Jahreszeit abhängig und steht im Gegensatz zum Raumwärmebedarf.

Eine Nutzung zur Erwärmung des Nutzwassers steht somit im Vordergrund. Wird der Jahresbedarf an Kühlenergie von 3,2 GWh entsprechend den Kühllaststunden aufgeteilt, ergibt sich ein Angebotsprofil wie in Abbildung 2-6 dargestellt. Unter Nutzung dieser Kühlenergie könnte in den Sommermonaten eine Nutzenergie von etwa 4,3 GWh erzeugt werden.

	Tage	Kühlgrad- tage kd	Quelle Kühlenergie GWh/Mo	Nutzenergie COP = 4,0 GWh/Mo
Jänner	31	0	0,000	0,000
Februar	28,25	0	0,000	0,000
März	31	0	0,000	0,000
April	30	0	0,000	0,000
Mai	31	105	0,350	0,467
Juni	30	200	0,667	0,890
Juli	31	280	0,934	1,246
August	31	270	0,901	1,201
September	30	104	0,347	0,463
Oktober	31	0	0,000	0,000
November	30	0	0,000	0,000
Dezember	31	0	0,000	0,000
Gesamt je Jahr		959	3,2	4,3

Abbildung 2-6: Jahreszeitliche Verteilung der Kühlenergie für Warmezwecke

Externes Abwärme-Angebot

Die Umgebung von Graz-Reininghaus war und ist Industriegebiet. Rund um die freien Flächen sind Betriebe mit Produktionsabwärme angesiedelt. Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden mit den Betreibern erste Gespräche geführt, die für beide Seiten sehr informativ verliefen. Einhelliger Wunsch der Betriebe ist eine klare Kommunikationslinie der städtischen Verwaltung bezüglich der Geschehnisse in Graz-Reininghaus, um stabile Rahmenbedingungen für die Produktion am Standort Graz sicherzustellen. Nach einer ersten Untersuchung ist Abwärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus mit einem hohen Bereitstellungsgrad vorhanden. Größter Wärmeproduzent ist das Stahlwerk, welches schon heute Wärme ins Grazer Fernwärmenetz einspeist. Zusätzlich zu dieser Einspeisung können aus dem Heißwasserkreis (80 - 76 °C) etwa 18 GWh pro Jahr und aus dem Kaltwasserkreis (32 - 28 °C) etwa 100 GWh genutzt werden.

Das angrenzende Unternehmen erzeugt unterschiedliche Gase und Gasgemische und arbeitet am Standort Graz mit 6 – 5 MW elektrischer Leistung für Kompressoren zur Luftverdichtung. Der Kühlkreislauf läuft mit 650 m³/h Wasser, welches von 25 auf 20 °C gekühlt werden muss (entspricht einem Wärmepotenzial von rund 30 GWh je Jahr). Der Hauptkunde in Graz ist ein benachbarter Industriebetrieb. Die benachbarten Industriebetriebe haben ihre Prozesse teilweise gekoppelt. Über das Jahr gesehen haben sie eine technische Verfügbarkeit von 95 %, wobei die Revision zumeist in den Sommermonaten stattfindet. Das Unternehmen ist ein „Seveso-Betrieb“¹. Die dafür eingerichtete Schutzzone muss in der zukünftigen Bebauung berücksichtigt bleiben.

Energiespeicher

Im Rahmen der in der Potenzialanalyse abgehaltenen Workshops wurden Speicherkonzepte überlegt, womit einerseits Wärmeüberschüsse gespeichert werden können und damit möglicherweise auch das Fernwärmenetz effizienter betrieben werden kann.

Speicherpotenzial Tiefenkeller

Die in Graz-Reininghaus vorhandenen Tiefenkeller mit einem Volumen von 82.000 m³ bieten ein natürlich vorhandenes Potenzial zur energetischen Nutzung. Derzeit liegen noch keine genaueren Untersuchungen darüber vor. Denkbar sind ein konventioneller Energiespeicher und/oder die Nutzung der Umgebungswärme. Bei Wasser als Speichermedium können insgesamt 1,9 GWh (bei ΔT von 20 K) gespeichert werden. Dies entspricht etwa dem geschätzten monatlichen Warmwasserbedarf. Durch Installation von Energieankern in den Wänden und Böden (bei einer geschätzten Oberfläche von 35.000 m²) kann theoretisch 3 GWh pro Jahr Wärme entzogen werden.

Inwieweit die Tiefenkeller tatsächlich nutzbar sind, muss durch statische Gutachten bei Förderung des Gesamtprojektes geprüft werden. Zu hinterfragen ist, ob für die Tiefenkeller nicht eine andere Nutzungsform (Veranstaltungsräume) vorzusehen ist, als diese für die Energieversorgung zu belegen.

¹ Die Richtlinie 96/82/EG des EU-Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen, umgangssprachlich auch Seveso-III-Richtlinie genannt, ist eine EG-Richtlinie zur Verhütung schwerer Betriebsunfälle mit gefährlichen Stoffen und zur Begrenzung der Unfallfolgen.

Speicherung über Erdwärmesonden

Wärme kann über Wärmesonden in den Untergrund eingespeist werden. Die Speicherkapazitäten und Verluste sind abhängig von der Untergrundbeschaffenheit, deren Dichtheit und Grundwasserbewegungen. In Graz-Reininghaus kann solch ein Speicher nur dann integriert werden, wenn dieser gegenüber dem Grundwasserfluss abgedichtet wird. Dazu muss auch der Speicherboden dicht sein, um keine Wasserflüsse zu erzeugen, welche einen hohen Wärmeverlust mit sich führen würden. Bei einer Sinnhaftigkeit solch eines Speichers (Prüfung durch Simulation des Wärmeversorgungsnetzes) ist eine Erkundung über ein Bohrprogramm notwendig. Der Vorteil gegenüber großen Wasserspeichern ist, dass die Größe des Speichers nicht durch Bebauung limitiert ist und dieser auch bebaut werden kann. Durch die Größe und die im Vergleich zu Wasser geringere Wärmeleitfähigkeit sind Erdspeicher für kurzfristige Lastausgleiche eher ungeeignet.

Speicherung durch Wasserspeicher

Gegenüber Erdspeichern werden große ($>5000 \text{ m}^3$) dichte Erdbecken bzw. Tanks errichtet, die bevorzugt mit Wasser befüllt sind. Wasser weist sehr gute Wärmetransport- und Wärmespeichereigenschaften auf, es kann praktisch Temperaturen bis zu 120°C speichern. Da die Speicher vollständig gedämmt werden und zudem ein optimales Oberflächen-Volumsverhältnis vorweisen (großes Volumen, mit möglichst kleiner Oberfläche), haben diese deutlich geringere Speicherungsverluste als Erdspeicher, sind aber auch deutlich teurer.

2.3 Nachhaltigkeit als Leitthema

Die allen Bearbeitungsschritten und Ansätzen innewohnende grundlegende Motivation ist die Beeinflussung urbaner Planungsprozesse in Richtung einer gestärkten Nachhaltigkeit, denn städtische Gebiete spielen bei Maßnahmen zur Erreichung der Ziele der EU-Strategie für eine nachhaltige Entwicklung [16] eine zentrale Rolle. Die Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung von Städten und einzelnen Stadtquartieren stehen dabei vor unterschiedlichen Herausforderungen. Das Strategiepapier der Europäischen Kommission mit dem Titel „Thematische Strategie für die städtische Umwelt“ [17] beinhaltet dafür konkrete Maßnahmen zur Umsetzung:

- *„Veröffentlichung von Leitlinien für die Einbeziehung von Umweltbelangen in die Städtepolitik. Grundlage dieser Leitlinien werden die besten Praktiken und Stellungnahmen von Sachverständigen sein. Ein integriertes Umweltmanagement ermöglicht eine bessere Planung und hilft Konflikte zwischen unterschiedlichen Maßnahmen zu vermeiden;*
- *Veröffentlichung von Leitlinien zu Plänen für einen nachhaltigen Stadtverkehr. Auch diese Leitlinien werden auf den besten Praktiken und Stellungnahmen von Sachverständigen basieren. Eine wirksame Verkehrsplanung darf weder den Personen- noch den Güterverkehr vernachlässigen und muss eine sichere und effiziente Nutzung qualitativ guter und wenig verschmutzenden Verkehrsträger fördern;*
- *Unterstützung des Austausches der besten Praktiken, insbesondere dank der Vernetzung von Informationen, der Entwicklung von durch LIFE+ finanzierten Demonstrationsprojekten und dank der Schaffung eines Netzes nationaler Kontaktstellen;*
- *bessere Informierung der lokalen Behörden über das Internet sowie intensivere Fortbildung des Personals der regionalen und lokalen Behörden, das mit Fragen der Stadtpolitik befasst ist;*
- *Nutzung von Unterstützungsprogrammen der Gemeinschaft im Rahmen der Kohäsions- oder Forschungspolitik“ [18].*

Mittlerweile lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in urbanen Gebieten [19] und ist mit gemeinsamen Problemen konfrontiert: Luftqualität, Verkehrsaufkommen, Lärmbelästigung, bebaute Umwelt, Brachflächen, Treibhausgasemissionen, Zersiedelung, Abfall und Abwasser. Die Bewältigung dieser Probleme stellt sich als sehr komplex dar, da diese teilweise in einem Kausalzusammenhang stehen. Daher sollten Nachhaltigkeitsaspekte für städtebauliche Projekte in Planung und Ausführung in einem gemeinsamen Kontext betrachtet werden.

Für eine ganzheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit auf Stadtquartiersebene ist es notwendig, den Fokus vom einzelnen Gebäude auf das Umfeld und die damit verbundenen Rahmenbedingungen auszudehnen. Durch eine Erweiterung der Systemgrenze vom Einzelbauwerk hin zu einer Betrachtung und Berücksichtigung des Umfelds in der Nachhaltigkeitsbewertung von Stadtquartieren ist es möglich, maßgebliche Faktoren, welche den Bereich zwischen Gebäuden, Infrastruktur sowie dem Quartiersstandort beschreiben, in der Bewertung mit zu berücksichtigen.

Als Beispiel hierfür wird ein Passivhaus (Heizwärmebedarf Passivhaus (HWB) ($\leq 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)) am Stadtrand genannt. Dieses ist nur mit einem PKW erreichbar und nicht an den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) angebunden.

Dennoch spricht man von einem ökologischen und energieeffizienten Gebäude. Das Gebäude an sich weist im Gegensatz zu einem Gebäude mit Mindestanforderungen (Mindestanforderung lt. OIB) an den Heizwärmebedarf (HWB) eine annähernd ausgeglichene Energiebilanz auf. Bei genauerer Betrachtung des ökologischen Fußabdruckes der Bewohner wirken sich die notwendigen PKW Fahrten negativ auf die ökologische Gesamtperformance des Gebäudes aus. Daraus wird ersichtlich, dass neben der Quantifizierung der Umweltwirkungen des Gebäudes auch das Umfeld miteinzubeziehen ist. Aspekte wie diese stellen ein klassisches Beispiel dar, dass nur durch ein Eingreifen in frühen Entwicklungs- und Planungsphasen eine nachhaltige Entwicklung von Stadtquartieren möglich ist. Denkbare Lösungsansätze könnten daher in der Integration folgender Aspekte liegen:

Fokus Energie/Ökologie

- Bebauungsdichte
- Baukörperform und Kompaktheit
- Solare Optimierung
- Verkehr
- Aktive Solarenergienutzung

Fokus soziokulturell und funktional

- Grünraum, Flächenversiegelung
- Erschließung
- Öffentliche Zugänglichkeit
- Lärm- und Schallschutz
- Bewegungsfreundliche Stadtquartiere
- Nutzungsdichte/ Nutzungsvervielfältigung

Fokus Ökonomie

- Flächeneffizienz/ Flächeninanspruchnahme

Urbane Gebiete nehmen auf internationaler und nationaler Ebene in Hinsicht auf eine Durchsetzung von globalen Nachhaltigkeitszielen eine Schlüsselrolle ein. Im Besonderen spielt die Gestaltung von Stadtquartieren eine immer wichtiger werdende Rolle in der Nachhaltigkeitsdiskussion. Dabei wird Aspekten wie Flächenverbrauch, Versiegelung, Mobilität, Klimaschutz oder Demographie eine bedeutende Rolle zuteil und daher sind sie im Planungsprozess frühzeitig mit zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang gilt es jedoch in den verschiedensten Bereichen wie z.B. Ressourceneffizienz, Freiraumqualität oder Infrastruktur effiziente Lösungsansätze zu finden, um negative Umweltwirkungen zu minimieren, und damit einem hohen Anspruch gerecht zu werden. Gleichzeitig dient eine hohe Bebauungsdichte auch als Multiplikator für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Hierbei können beispielsweise ressourcenschonende Strukturen, effiziente Versorgungsinfrastrukturen sowie soziale Interaktionen genannt werden.

Auf internationaler Ebene existieren bereits mehrere Bewertungs- und Zertifizierungssysteme, welche die Qualität in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung von Stadtquartieren bewertet. Dazu zählen beispielsweise BREEAM-Communities (GB) [20], BCA Green Mark for Districts (SG) [21], CASBEE-Urban Development (JPN) [22], DGNB NSQ12 (GER) [23], Estidama Pearl Community Rating System (VAE) [24], GreenStar-Communities (AUS) [25], LEED-Neighborhood (USA) [26], SB Tool – Urban Synergies (CAN) [27], 2000-Watt-Areale (CH) [28].

Viele dieser Zertifizierungssysteme versuchen bereits in frühen Entwicklungs- und Planungsphasen entscheidende Parameter im Hinblick auf Nachhaltigkeit zu definieren bzw. optimieren, da in dieser Projektphase der Steuerungserfolg am größten ist und die Beeinflussbarkeit in späteren Projektphasen deutlich abnimmt sowie meist mit hohen Kosten verbunden ist (Abbildung 2-7).

Aus den oben angeführten Gründen wurden daher im Rahmen des gegenständlichen Projekts die Schwerpunktsetzungen bzw. Vor- und Nachteile der einzelnen Zertifizierungssysteme gegenübergestellt und deren Anwendbar- und Übertragbarkeit für Österreich/Graz herausgearbeitet.

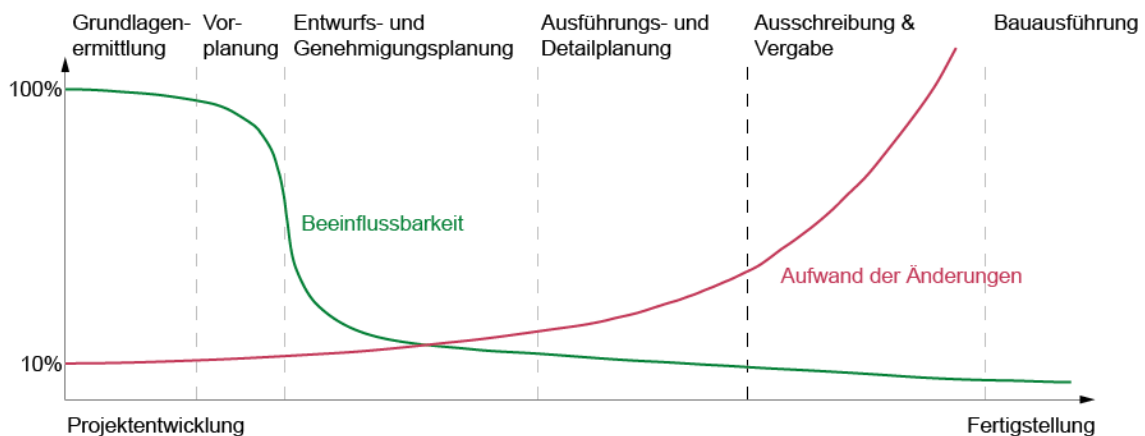


Abbildung 2-7: Schematische Darstellung der Beeinflussbarkeit in unterschiedlichen Projektphasen [29]

2.4 Bearbeitungsansätze

Die Bearbeitung des Forschungsprojektes ECR stützt sich auf verschiedene Bearbeitungsansätze. Ein konkreter Ansatz, die Nachhaltigkeit in einer urbanen Struktur zu verbessern liegt im Versuch durch interne energietechnische Vernetzung zwischen Überproduktion und Bedarf den Energiebedarf des „Systems Stadt“ zu verkleinern. Eine große Unsicherheit in der Bearbeitung dieser Fragestellungen liegt in der Bewertung des thermischen und elektrischen Energiebedarfs der zukünftigen Bebauungsstruktur, wodurch die Frage aufgeworfen wird, wie methodisch mit dieser Unsicherheit umgegangen werden soll.

Heben von Energiepotenzialen durch energietechnische Vernetzung

Das Stadtgebiet von Graz-Reininghaus soll sich laut Vorgaben der Stadt Graz zu einem nutzungsdurchmischten Stadtteil entwickeln. Ziel ist, die Verwirklichung eines „Stadtteils der kurzen Wege“ nach dem Grundprinzip einer „smarten Stadt“. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen den BewohnerInnen verschiedenartige Nutzungen wie Wohnen, Arbeiten, Freizeit und Erholung direkt im Stadtteil angeboten werden. Die angepeilte Nutzungsdurchmischung ermöglicht die Vernetzung verschiedenartiger energietechnischer Potenziale mit lokalen Verbrauchern, wie zum Beispiel die Nutzung von Industrieabwärme für Raumheizung und Brauchwarmwasserbereitung von Wohn- und Büronutzungen.

Durch diesen Ansatz entstehen vernetzte Systeme, für die nicht nur die Systemgrenze eines Gebäudes, sondern die Systemgrenze eines Stadtteils (Gebäudeverband) ausschlaggebend ist. Abbildung 2-8 zeigt diesen Systemansatz „Synergie durch Vernetzung“.

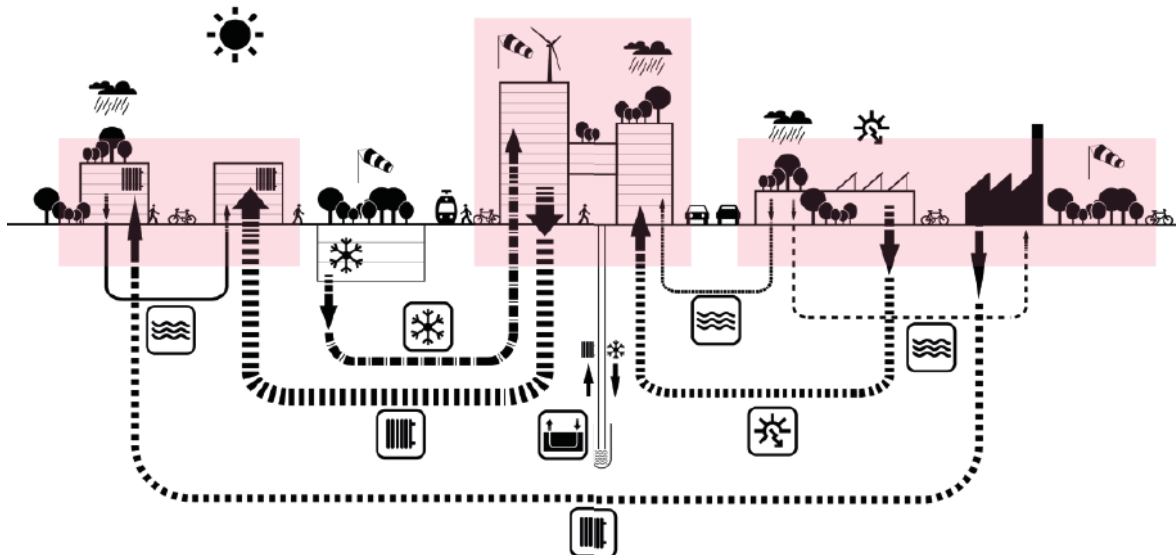


Abbildung 2-8: Systemansatz „Synergie durch Vernetzung“ Rahmenplan Energie ECR

Interdisziplinäre- und interinstitutionelle Vernetzung

Die Gestaltung des Forschungsprojektes ECR basiert auf der These, dass durch die Vernetzung verschiedener Fachdisziplinen bzw. derer Experten im Vergleich zu disziplinär getrennten Bearbeitungen ein Mehrwert geschaffen werden kann bzw. bessere Lösungen gefunden werden können. Ein weiterer Ansatz liegt in der Vernetzung zwischen Behörden, politischen Entscheidungsträgern, Vertretern der Wirtschaft und Experten der technischen Wissenschaften. Der Bearbeitungsansatz geht davon aus, dass durch den offenen Dialog zwischen diesen Stakeholdern nachhaltigere Lösungen entwickelt und umgesetzt werden können.

Szenarietechnik in den energietechnischen Bebauungsstandards

Der Gebäudebestand im Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus wird über mehrere Jahre bzw. Jahrzehnte hinweg Schritt für Schritt von unterschiedlichsten Investoren auf der Grundlage unterschiedlichster Intentionen realisiert werden. Die gesetzlichen Anforderungen an den Wärmeschutz und die technische Ausstattung der Gebäude wird sich im Laufe der fortschreitenden Bebauung ändern. In den letzten Jahrzehnten ist eine laufende Erhöhung der Anforderungen an den Wärmeschutz zu erkennen. Es wird daher davon ausgegangen, dass sich die Ausstattung der Gebäude in Hinblick auf den Wärmeschutz auch in der zukünftigen Entwicklung entweder gleichbleibend oder weiterhin steigend zeigen wird. Die „sinnvolle“ Ausstattung der Gebäudestruktur mit Wärmeschutzmaßnahmen ist ein kontroversiell diskutierter Themenbereich in der einschlägigen Fachwelt. Unterschiedlichste Konzepte haben ihre Befürworter und Kritiker.

In der vorliegenden Studie wurden zwei verschiedene Energieeffizienz-Ansätze vergleichend betrachtet. Die Ausstattungsvariante OIB-Standard orientiert sich am in Österreich vorgeschriebenen Mindestwärmeschutz und stellt somit die zu erwartende Obergrenze des Heizwärmebedarfs einer zukünftigen Bebauungsstruktur dar. Im Falle eines gleichbleibenden Standards definiert das Österreichische Institut für Bautechnik in der OIB Richtlinie 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz) [30] österreichweit gültige Mindeststandards für den Wärmeschutz einzelner Bauteile. Für diese in der Folge als **OIB-Standard** bezeichnete Ausstattungsvariante wurden die Wände gegen Außenluft mit einem U-Wert von $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, der Boden (erdberührt) mit einem U-Wert von $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ die Decke gegen Außenluft mit einem U-Wert von $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen. Der Wärmeschutz der Fenster orientiert sich ebenfalls an der OIB Richtlinie 6 [30]. Für diese Ausstattungsvariante wurden die Fenster mit einem U-Wert von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt.

Basierend auf der Annahme einer deutlichen Verschärfung des Wärmeschutzes wurde ein zweites Ausstattungsszenario definiert. Diese als **NZE-Standard** (nearly zero energy) bezeichnete Ausführung stützt sich auf die Annahme eines extrem hohen Wärmeschutzes, in welcher die Wände gegen Außenluft, der Boden gegen Erdreich und die Decken gegen Außenluft mit einem U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt sind. Für diese Ausstattungsvariante wurden die Fenster mit einem U-Wert von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Zusätzlich wird für diese Ausstattung eine Abluftwärmehückgewinnung mit einem Systemwirkungsgrad von 70 % angesetzt. Der Fensterflächenanteil beider Ausstattungsvarianten wird in alle Himmelsrichtungen mit 30 % der Fassadenfläche in die jeweilige Richtung angenommen.

3 Erstellung des städtebaulichen Konzeptes

Der Trend zum rasanten Wachstum unserer Städte ist nach wie vor ungebrochen. Die Nachfrage nach städtischem Wohnraum wird gemäß den aktuellen Prognosen auch in den kommenden Jahrzehnten weiterhin stetig wachsen. Da die zu errichtenden Bauvolumina eine intensive ökologische Belastung der Stadt darstellen, muss das stetige Wachstum zwingend im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung gestaltet werden. Das Forschungsprojekt *ECR Energy City Graz-Reininghaus* wurde ins Leben gerufen, um am Beispiel des Stadtareals Graz-Reininghaus die Wirkung einer wissenschaftlich orientierten Entwicklungsbegleitung zur Stärkung der nachhaltigen Entwicklung zu erproben.

Im gewählten Projektansatz erstellte das Institut für Städtebau, basierend auf den Vorgaben der Stadt Graz, ein dreidimensionales Entwicklungsszenario des Stadtgebietes Graz-Reininghaus. Begleitend dazu wurden vier Institute der Technischen Universität Graz und ein Institut der Universität Graz beauftragt wissenschaftliche Studien zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses durchzuführen. Die einzelnen Begleitstudien wurden derart angelegt, dass unterschiedlichste Betrachtungsansätze, Schwerpunkte und Vorgangsweisen in den Entwicklungsprozess einbezogen wurden und in Bezug auf ihre Wirkung auf den städtebaulichen Entwicklungsprozess betrachtet werden konnten. Abbildung 1-2 zeigt die wechselseitige Beziehung der Erstellung des städtebaulichen Konzeptes mit den wissenschaftlichen Begleitstudien. Folgende Begleitstudien wurden durchgeführt:

- 1) Das Institut für Geografie der Karl Franzens Universität Graz übernahm die klimatologische Betreuung. Analysen zur Durchströmung des Stadtentwicklungsgebietes beeinflussten die Massenverteilung durch Vorgaben zur Höhe, Lage und Form der Baukörper. Zudem wurden Empfehlungen zur Bepflanzung und Gewässergestaltung (Grüne- und Blaue Infrastruktur) erarbeitet. Siehe dazu Kapitel 4
- 2) Das Institut für Wärmetechnik (IWT) erarbeitete in Zusammenarbeit mit dem Institut für Elektrische Anlagen IFEA (beide TU Graz) Konzepte zur Versorgung des Stadtgebietes mit Wärme und elektrischem Strom. Dazu musste im ersten Schritt der erwartete thermische und elektrische Energiebedarf instationär berechnet werden. Im zweiten Schritt wurden unterschiedliche Versorgungskonzepte modelliert, technisch ausgearbeitet und bewertet. Siehe dazu Kapitel 5
- 3) Das Institut für Prozess- und Partikeltechnik (IPPT) beschäftigte sich mit dem Einsatz von Optimierungsalgorithmen zur teilautomatisierten Bestimmung der ökonomisch optimalen energietechnischen Versorgungsstruktur und bewertete diese in Hinblick auf deren ökologische Qualität. Siehe dazu Kapitel 6.
- 4) Das Institut für Materialprüfung IMBT (IMBT) verfolgte den Ansatz mittels Zertifizierungssystemen zur Bewertung der Nachhaltigkeit Handlungsempfehlungen zu erarbeiten. Ziel dieser Handlungsempfehlungen liegt in einer Stärkung der ökologischen und ökonomischen Qualität des fertiggestellten Stadtteils. Siehe dazu Kapitel 7.

Sowohl die jeweiligen methodischen Untersuchungsansätze als auch die Zwischenergebnisse wurden innerhalb des Begleitungsteams laufend ausgetauscht und mit dem städtebaulichen Entwicklungsteam sowie einzelnen externen Stakeholdern diskutiert.

3.1 Entwicklung einer Bebauungsstruktur

Als Basis für die Erstellung eines städtebaulichen Konzeptes und den Vorschlag einer möglichen Bebauungsstruktur dienten der Rahmenplan Graz-Reininghaus (Abbildung 1-4) und der Flächenwidmungsplan von Graz-Reininghaus (Abbildung 1-5) mit Stand vom 28.02.2013. Der Rahmenplan teilt das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus in mehrere Stadtquartiere bzw. Baulose auf. Ziel der Stadt Graz ist die Umsetzung einer nachhaltigen, modularen Bebauung der Stadtquartiere mit hoher Lebensqualität über mehrere Jahre (Jahrzehnte) mit unterschiedlichen Investoren. Die Berücksichtigung der politischen Entscheidungen, wie Bürgerbefragung über den Ankauf von Graz-Reininghaus und die Einbindung der Wettbewerbsergebnisse der einzelnen Stadtbausteine, erforderte eine sehr flexible und interaktive Bearbeitung des *Rahmenplanes Energie ECR*. Diese Vorgangsweise ermöglichte das Spannungsfeld zwischen Behörden und potenziellen Investoren nachhaltig positiv zu beeinflussen und eine sehr realitätsnahe Bebauungsstruktur zu entwickeln.

Erweiterte Analyse des städtebaulichen und energietechnischen Bestandes

Im ersten Bearbeitungsschritt wurden eine umfassende Analyse der baulichen Bestandsstrukturen und eine Analyse der städtebaulichen Vorgaben gemäß Flächenwidmungsplan vorgenommen. Die Bebauungsstrukturen wurden, wie in städtebaulichen Planungsprozessen üblich, rechnerisch, geometrisch und tabellarisch erfasst. Schon in diesem ersten Bearbeitungsschritt zeigte sich der Einfluss der energietechnischen Begleitung. Parallel zu der Sammlung und Aufbereitung der für den Städtebau relevanten Bestandinformationen mussten umfangreiche Recherchen in Bezug auf die energietechnisch relevanten Informationen durchgeführt werden. Dabei wurden lokale Umweltbedingungen wie Bodenzusammensetzung, Grundwasserströme und Lufttemperatur ebenso analysiert wie die vorhandene technische Infrastruktur (Tiefenkeller, Wärmenetz, Stromnetz). Ebenso wurden die energietechnischen Prozesse der ortsansässigen Industriebetriebe betrachtet und in Bezug auf synergetische Potenziale untersucht.

Entwicklung einer Baumassenverteilung

Laut Flächenwidmungsplan der Stadt Graz sollen die Baumassen des Stadtgebietes Graz-Reininghaus in drei Hauptzonen „Urbanes Wohnen“, „zentrales Kerngebiet“ und „Misch- und innerstädtisches Gewerbegebiet“ zonierte werden. Die Höhenentwicklung der Baumassen wird sich an der bestehenden umgebenden Bebauung und zum zentralen Kerngebiet hin bis zu maximal 18 Stockwerken oder maximal 60 m Höhe (gleiche Höhe wie bestehendes Silo) entwickeln. Um eine schrittweise Entwicklung des Stadtteiles zu ermöglichen, ist das Planungsgebiet in mehrere Quartiere (Baufelder) unterteilt. Abbildung 3-1 listet die Bruttogeschoßflächen der einzelnen Quartiere von Graz-Reininghaus laut Vorgaben des Flächenwidmungsplanes der Stadt Graz auf.

	Wohnen m ²	Büro m ²	Gewerbe m ²	Summe BGF m ²
Quartier 01	35.744	15.237	12.561	63.542
Quartier 02	18.026	16.362	13.297	47.685
Quartier 03	23.597	19.950	14.026	57.573
Quartier 04	40.160	7.792	3.534	51.486
Quartier 04a	21.891	5.913	8.348	36.152
Quartier 05	71.776	13.937	9.954	95.667
Quartier 06	34.841	4.223	9.097	48.161
Quartier 06a	25.501	3.198	8.255	36.954
Quartier 07	23.395	0	2.458	25.853
Quartier 07a	9.275	0	1.159	10.434
Quartier 11	20.839	12.698	7.309	40.846
Quartier 11a	0	4.383	4.638	9.021
Quartier 12	25.547	23.773	28.274	77.594
Quartier 17	15.616	2.756	0	18.372
Quartier 17a	0	26.103	5.450	31.553
Quartier 18	27.449	3.451	3.414	34.314
Quartier 18a	6.781	1.841	8.983	17.605
Quartier 12a	0	10.175	10.175	20.349
Quartier 13	0	6.031	6.031	12.061
Quartier 13a	0	6.777	6.777	13.553
Quartier 14	0	13.471	13.471	26.941
Quartier 14a	0	2.775	2.775	5.550

Abbildung 3-1: Bruttogeschossflächen der Quartiere

Entwicklung einer zeitlichen Bebauungsabfolge in Bauphasen

Im Rahmen des Projektes wurde in Abstimmung mit der Stadtbaudirektion Graz und dem Reininghaus-Koordinator ein möglicher Bauphasenplan erstellt (Abbildung 3-2, rechts oben). Darauf aufbauend zeigen Abbildung 3-3 und Abbildung 3-4 eine Visualisierung der vom Institut für Städtebau erstellten Bebauungsabfolge.

Um eine „Verwebung“ des neuen Stadtgebietes Graz-Reininghaus mit der bestehenden umgebenden Baubauungsstrukturen zu ermöglichen, erfolgt eine schrittweise Entwicklung vom Rand des Gebietes aus. Die südlichsten und nördlichsten Quartiere sind die ersten in Umsetzung befindlichen Stadtbausteine von Graz-Reininghaus. Die Abbildungen 3-2 und die folgenden Renderings zeigen die geplante schrittweise Bebauung des Stadtgebietes. Die Tatsache der phasenweisen Entwicklung erforderte bei der Konzeption des *Rahmenplanes Energie ECR* eine flexible und phasenweise Betrachtung der Aufgabenstellungen.

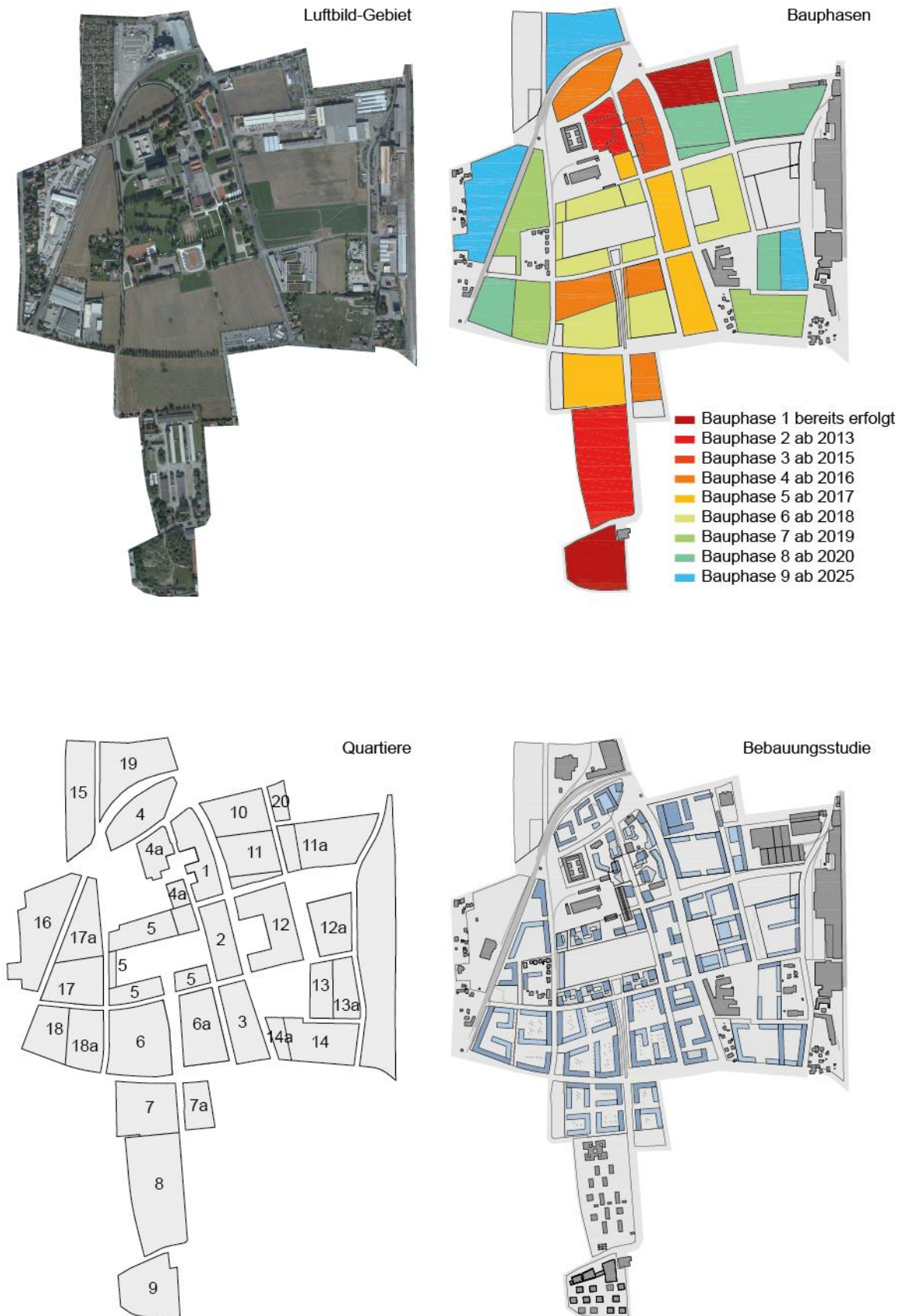


Abbildung 3-2: Links oben: Luftbild, rechts oben: ECR-Bauphasen, links unten: Quartiereinteilung, rechts unten: Übersicht der Bebauungsstudie (Basisszenario)

1) Bauphase 1 bereits erfolgt



2) Bauphase 4 ab 2016



Abbildung 3-3: Visualisierung der Bebauungsszenario Teil 1 © ht-vis

3) Bauphase 6 ab 2018



4) Bauphase 9 ab 2025



Abbildung 3-4: Visualisierung der Bebauungsszenario Teil 2 © ht-vis

3.2 Entwicklung eines urbanen Nutzungsmixes

Im Rahmenplan und im Flächenwidmungsplan gibt es die Zielvorgabe der urbanen Nutzungsdurchmischung (Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Sport und Erholung etc.) des Stadtgebietes. Im Zuge des Projektes musste geklärt werden, wie diese Nutzungsdurchmischung im Stadtteil sinnvoll erfolgen kann. Nach Vorgabe des Flächenwidmungsplanes erfolgte eine Grobzonierung in Hauptnutzungszonen städtische Wohnquartiere, urbane Kerngebietenutzung und urbane Gewerbezone. In Rückkoppelung mit den beteiligten EnergieexpertInnen der TU Graz stellte sich heraus, dass der Nutzungsmix aufgrund der Energieprofile der einzelnen Nutzungen genau zu definieren ist. Festzulegen ist die Anzahl der möglichen BewohnerInnen basierend auf dem möglichen Wohnungsschlüssel, die genaue Definition der Nutzungsarten, die Ermittlung der Anzahl, Größe und Positionierung der Nutzungen im Stadtgebiet. Im Folgenden werden diese städtebaulichen Arbeitsschritte beschrieben.

Ermittlung der Anzahl der BewohnerInnen im Stadtgebiet

Die Ermittlung der Anzahl der möglichen BewohnerInnen erfolgte auf Basis der Auswertung der Ausschreibungen von stattgefundenen Grazer und österreichischen Architekturwettbewerben [31]. Folgende Wettbewerbe wurden nach ihren Wohnungsgrößen analysiert: WBW Lange Gasse – Körösisstraße, Graz [32], WBW Peter-Rosegger-Straße, Graz [33], WBW Ilwofgasse, Graz [34], Hummelkaserne, Graz [35], GSWB Wohnen, Salzburg [36], Reininghaus Bestand [37], Neue Heimat – Lodenareal, Innsbruck [38]. Aus der Analyse dieser Architekturwettbewerbe ergab sich eine prozentuelle Verteilung der Wohnungsgrößen. Basierend auf den ermittelten Wohnungsgrößen konnte nach Auskunft der Statistik Austria die durchschnittliche BewohnerInnenzahl je entsprechender Wohnungsgröße für den Standort Graz ermittelt werden [39]. Durch diese Vorgangsweise konnte die durchschnittliche Personenanzahl je Wohnung dargestellt werden (Abbildung 3-5).

	Prozentanteil am Gesamtbestand	Durchschnittliche Personenanzahl je Wohnung
Wohnungen mit je 50m ²	35 %	1,60 Pers
Wohnungen mit je 75m ²	40 %	2,09 Pers.
Wohnungen mit je 90m ²	20 %	2,28 Pers.
Wohnungen mit je 120m ²	5 %	2,42 Pers.

Abbildung 3-5: Durchschnittliche Personenanzahl pro Wohnungsgröße

Definition der Nutzungsarten

Laut Vorgaben des Flächenwidmungsplanes der Stadt Graz sind prinzipiell 3 Hauptnutzungen im Stadtgebiet möglich, und zwar „Wohnen“, „Büro“ und „Gewerbe“. Laut Rahmenplan soll im Bereich der Quartiere eine sogenannte nutzungsneutrale Erdgeschoßzone zur Ansiedlung von Gewerbe ausgebildet werden. Städtebauliches Ziel ist die Ermöglichung einer optimalen Nutzungsdurchmischung (Stadt der kurzen Wege). Während die Nutzungsarten „Wohnen“ und „Büro“ klar definiert sind, erweist sich die Nutzungsart „Gewerbe“ als äußerst umfangreich.

Um energetische Nutzungsprofile für die Hauptnutzung „Gewerbe“ definieren zu können, musste im Rahmen des Projektes zuerst einmal definiert werden, welche möglichen Nutzungen unter „Gewerbe“ fallen. Über Analyse von vergleichbaren Pilotprojekten (Rieselfeld, Wien Aspern, Zürich West), Rückkoppelungsgesprächen mit StadtplanungskollegInnen aus Basel, Zürich, Freiburg, Kopenhagen, Malmö, Stockholm und projektinterne interdisziplinäre Abstimmung konnten im Rahmen des Projektes folgende zehn mögliche Nutzungsarten definiert werden:

- N1:** Bildung, Betreuung, Freizeit (z.B. Kinderbildung, Schulen, Bibliotheken, etc.)
- N2:** Einrichtungen für spezielle Nutzergruppen (z.B. Altentagesstätte, Jugendzentrum, Gemeindezentrum, etc.)
- N3:** Nahversorger (z.B. Wochenmarkt, Lebensmittelmarkt, Metzger, etc.)
- N3.1:** Nahversorger mit speziellem Profil (z.B. Backshop)
- N4:** Medizinische Einrichtungen (z.B. Ärzte, Fachärzte, Apotheken, Krankenhaus, etc.)
- N5:** Dienstleister (z.B. Bank, Postamt, etc.)
- N5.1:** Dienstleister mit speziellem Profil (z.B. Friseur)
- N6.1:** Kulturelle und Freizeiteinrichtungen (z.B. Kultur, Religion)
- N6.2:** Kulturelle und Freizeiteinrichtungen mit speziellem Profil (z.B. Gastronomie)
- N7:** Sportstätten (z.B. Turnhallen, Sporthallen, Fitnesscenter, Wellness etc.)

Im Zuge der Projektbearbeitung stellte sich heraus, dass sowohl in der Praxis als auch in der Wissenschaft eine Wissenslücke bei der Definition von möglichen Gewerbenutzungen besteht. Es gibt zwar sehr detaillierte energetische Nutzungsprofile auf Gebäudeebene, aber auf Stadtquartiersebene fehlen Benchmarks. Es fehlt auch das Wissen zur Ausbildung sogenannter urbaner nutzungsneutraler Sockelzonen, also Zonen für flexible Gewerbenutzungen. Bei der weiteren Überarbeitung des Bebauungsszenarios wurde daher besonderes Augenmerk auf diese städtebauliche Zielsetzung gelegt.

Anzahl und Größe möglicher Gewerbenutzungen

Nach der Festlegung der Nutzungsarten war es erforderlich die Anzahl und die Größe (Bruttogeschossflächen) zu definieren. Die Ermittlung erfolgte auf Basis einer Analyse von vergleichbaren Pilotprojekten durch Studium von Fachliteratur-, Online-Recherche (Desk-Research) und in Rücksprache mit StadtplanerInnen aus Österreich, der Schweiz, Deutschland, Dänemark und Schweden. Auszugsweise können hierzu die Stadtentwicklungsgebiete Freiburg Rieselfeld [40], Hannover Kronsberg [41] und Seestadt Aspern [42] genannt werden. Die ermittelten Richtwerte beziehen sich auf die Vorgaben des Rahmenplanes mit einer Einwohnerzahl von insgesamt ca. 12.000 Einwohnern und einer möglichen maximalen Gesamtgewerbefläche von 145.500 Quadratmeter BGF nach Vorgabe des Flächenwidmungsplanes. Abbildung 3-6 zeigt die ermittelte Anzahl und Größe möglicher Nutzungen gegliedert nach den zuvor definierten Nutzergruppen.

	BGF [m ²]/Einrichtung	Anzahl	BGF m ²
Nutzergruppe 1 (Bildung / Betreuung / Freizeit)			26800
Kinderbetreuung [43]	900	7	6300
Grundschulen [44]	5000	1	5000
weiterführende Schulen [45]	15500	1	15500
Nutzergruppe 2 (Einrichtungen für spezielle Nutzergr.)			10200
Jugendzentrum [46]	1000	1	1000
Altentagesstätte [47]	100	2	200
Altenbetreuung [47]	7000	1	7000
Quartiermanagement / Services (Annahme: 40m ² pro Quartier)	40	20	800
Gemeindezentrum [48]	4000 m ² / 50000 EW		1200
Nutzergruppe 3 (Nahversorger)			24300
Nahversorger allgemein [49]			20000
Ergänzungsfläche			4300
Nutzergruppe 3/1 (Nahversorger spezielles Profil)			300
Backshop (bezogen auf BGF [50])	100	3	300
Nutzergruppe 4 (Medizinische Einrichtungen)			7050
Allgemeinmediziner und Fachärzte [51] [52]	150	34	5100
Apotheke [51]	150	3	450
sonstige med. Einrichtungen/Ergänzungsfläche			1500
Nutzergruppe 5 (Dienstleister)			24700
Banken [53]	1000	6	6000
Postamt [54]	700	1	700
sonstige Dienstleister (inkl. Einsatzorganisationen) [55]	1,2m ² /15000 Nutzer		18000
Nutzergruppe 5/1 (Dienstleister spezielles Profil)			1500
Friseur [56]	150	10	1500

Abbildung 3-6: Anzahl und Größe möglicher Nutzungen

Positionierung der Nutzungen im Stadtgebiet

Nach der Festlegung der notwendigen Anzahl und Größe der jeweiligen Nutzungen wurde ihre Positionierung im Stadtgebiet planlich erfasst. Die Positionierung erfolgte nach den Empfehlungen des DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen, Handbuch für den Neubau nachhaltiger Stadtquartiere). Ein Grundprinzip einer nachhaltigen Stadt ist eine gute funktionale Durchmischung, um die Stadt der kurzen Wege zu ermöglichen und die Erreichbarkeit von Nutzungen auch für weniger mobile Menschen zu gewährleisten. Dies ist vor allem für Kinder, Behinderte und ältere Menschen von Bedeutung. Im Vordergrund steht dabei auch die Reduktion der CO₂-Emissionen und somit auch die Steigerung der Lebensqualität. Abbildung 3-7 zeigt die maximale akzeptable Entfernung wichtiger Einrichtungen.



Abbildung 3-7: Erreichbarkeitsdiagramm [57]

Besonderer Wert wurde auf die Erreichbarkeit der sozialen Infrastruktureinrichtungen (Kinderkrippe und -garten, Schulen, Bildungseinrichtungen, Seniorenzentrum) gesetzt, da hier die Erreichbarkeit für die Erziehungsberechtigten, vor allem aber für die Kinder, um ihnen den selbstständigen Schulweg zu ermöglichen, essentiell ist. Durch Berücksichtigung der schwerpunktmäßigen Quartiernutzungen (Wohnen, Arbeiten, Gewerbe) lt. Rahmenplan und der Einhaltung der empfohlenen maximalen Entfernungen der jeweiligen Einrichtungen wurden die Standorte für die wesentlichen sozialen Infrastruktureinrichtungen (Kinderbildung, Grundschule, weiterbildende Schule) vorgeschlagen. Abbildung 3-8 zeigt die optimale Positionierung der sozialen Infrastruktur im Stadtgebiet.

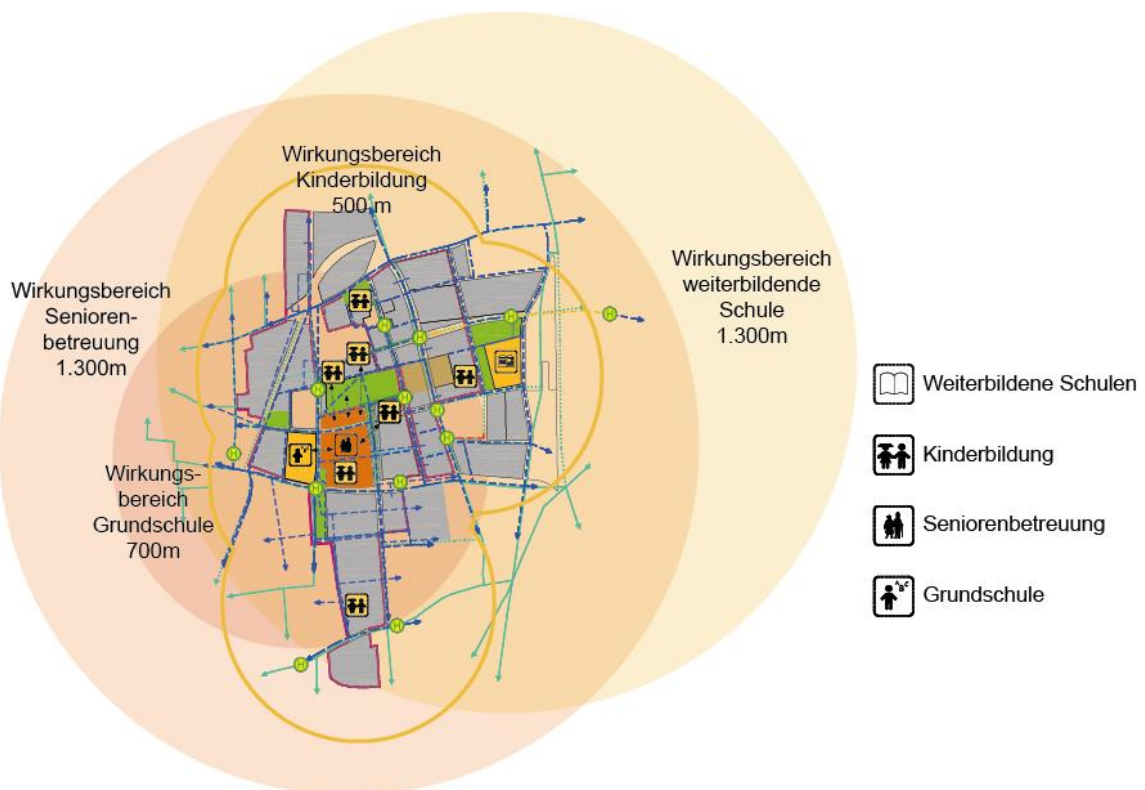


Abbildung 3-8: Positionierung Soziale Infrastruktur in Graz-Reininghaus

Die vertikale Nutzungsstaffelung

Die smarte nachhaltige Stadt verfolgt das Prinzip der urbanen Nutzungsmischung, das "Prinzip der Stadt der kurzen Wege": Urbane Sockelzonen (flexible Erdgeschoßzonen) unterstützen das Prinzip der Offenheit und Integration von verschiedenartigen Nutzungen auf engstem Raum. Seit der Erfindung von sicheren Liftanlagen durch Elisha Graves Otis und deren Präsentation bei der Weltausstellung in New York 1854 sind vertikale Staffellungen von verschiedenen Nutzungen in Hochhausstrukturen technisch möglich.

Bei der Erstellung des Bebauungsszenarios von Graz-Reininghaus wurden sowohl die Ausbildung von urbanen Sockelzonen als auch die vertikale Staffelung von verschiedenen Nutzungen (im Bereich der Hochhausquartiere) berücksichtigt. Aufgrund des Ziels, eine gute funktionale Durchmischung zu gewährleisten, wurden die Nutzungen unter Einhaltung der Erreichbarkeitsabstände im Stadtgebiet verteilt. Die gewerblichen Nutzungen wurden schwerpunktmäßig in der Erdgeschoßzone im zentralen Bereich von Graz-Reininghaus, der Esplanade, der urbanen Plätze und des zentralen Parks positioniert.

Berücksichtigung von einschränkenden Parametern

Einige Quartiere im Osten von Graz-Reininghaus müssen mit spezieller Vorsicht entwickelt werden. Laut den Bestimmungen der Seveso Richtlinie "...für Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen..." [58] müssen „Großunfallspotenziale“ durch naheliegende (Industrie)betriebe abgeschätzt werden. Um die zivile Bevölkerung nicht zu gefährden, dürfen Nichtindustriebauten (v.a. Wohnungen, Büros) laut dieser Bestimmungen nur in einem Mindestabstand zu bestimmten Betrieben errichtet werden. Eine derartige Konstellation zeigt sich im Quartier 13a [59]. Zudem sind für Betriebsflächen generell gewisse Freizonen zu reservieren, um etwaige Betriebsum- und -ausbauten durchführen zu können.

Erstellung eines geometriebezogenen Nutzungsmodells

Da die energietechnischen Untersuchungen der Begleituntersuchungen eine räumliche Zuordnung sämtlicher Nutzungen verlangten, wurde auf der Grundlage der erarbeiteten Baumassenverteilung, der entsprechenden Personenannahmen und der zugeordneten Nutzungstypen ein geometriereferenziertes Nutzungsmodell aufgestellt. Das Modell beinhaltet je Nutzungseinheit Informationen zu den Hüllflächen (Dachflächen, Fassadenflächen, Bodenflächen, Auskragungen) unter Berücksichtigung der jeweiligen Ausrichtung (Azimut). Zudem wurden je Nutzungseinheit die jeweiligen Bruttovolumina und Nettovolumina (75 % des Bruttovolumens) sowie der jeweilige Fensterflächenanteil (differenziert nach Himmelsrichtung) erfasst. Das Nutzungsmodell beinhaltet zudem die jeweilige Quartierszuordnung gemäß Flächenwidmungsplan (FLÄWI), die Quartiersbezeichnung gemäß Rahmenplan sowie weitere relevante Grundstückdaten.

Die Struktur des Nutzungsmodells wurde in Zusammenarbeit mit den beteiligten Fachdisziplinen erstellt und bildete die gemeinsame Datenbasis aller anschließenden Untersuchungen. Da der Detaillierungsgrad der städtebaulichen Entwicklung laufend verbessert wurde und zudem aus dem Realprozess kommende Festlegungen berücksichtigt wurden, musste das Nutzungsmodell zentral gewartet und mehrfach überarbeitet werden. Die Evaluierung des Bearbeitungsprozesses hat gezeigt, dass eine derartig strukturierte Vorgangsweise für die Koordination der einzelnen Untersuchungen von essentieller Bedeutung war.

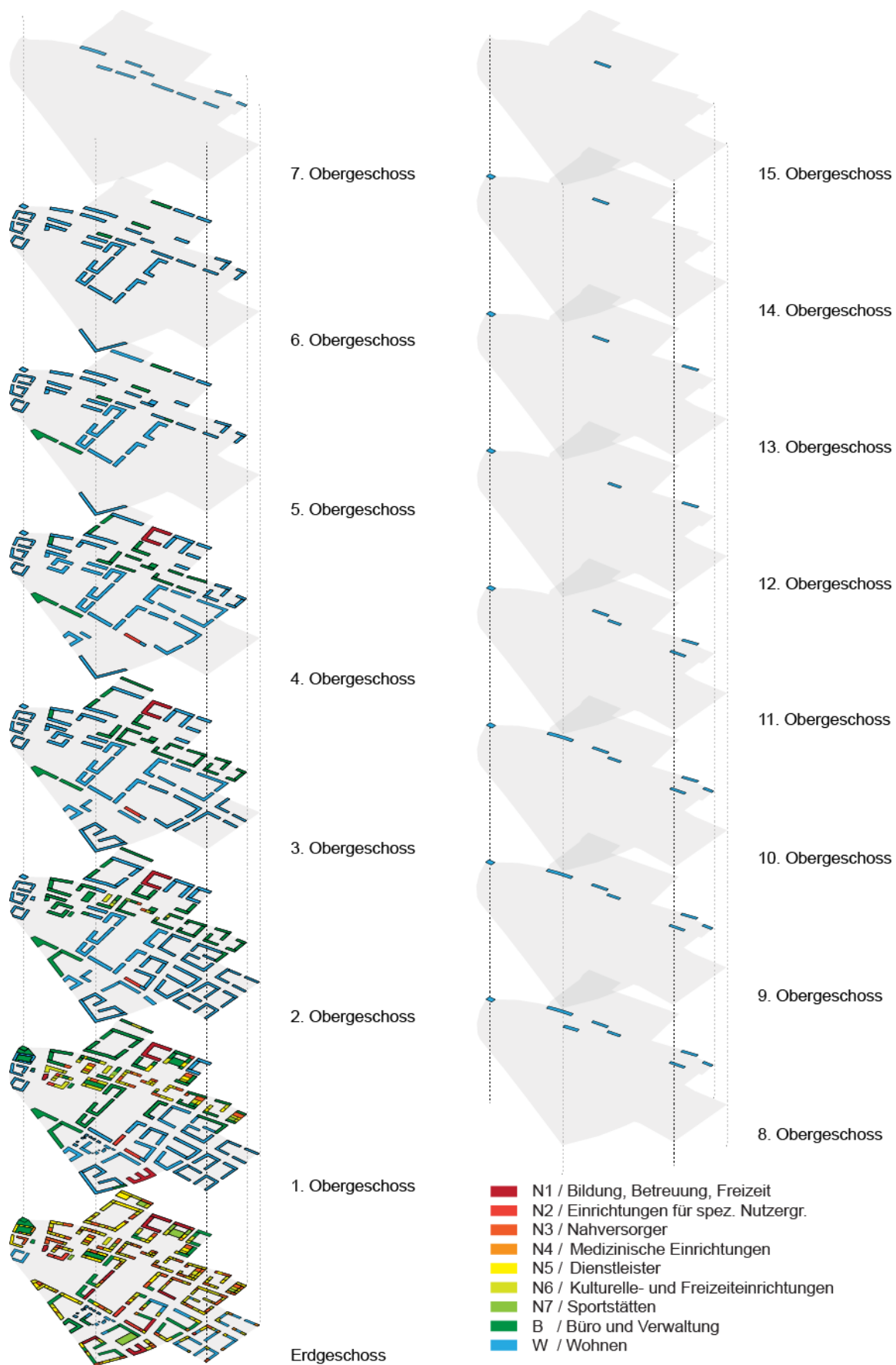


Abbildung 3-9: Nutzungsverteilung im Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus

3.3 Definition von Analysegebieten und Stadtbausteinen

Die Bearbeitung eines ganzen Stadtentwicklungsgebietes, so wie im vorliegenden Fall von Graz-Reininghaus, verlangt ein Bündel an vielfachen und vielfältigen Entwicklungsaktivitäten. Einige dieser Entwicklungsaktivitäten betreffen das gesamte Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus, andere nur einen oder mehrere Teilbereiche. Um eine schlüssige Bearbeitung der Fragestellungen sicherzustellen, werden im Bearbeitungsprozess eindeutige Bezeichnungen und Systemgrenzen benötigt. Je nach Aufgabenstellung und Art der Untersuchung waren unterschiedliche Bereiche des Stadtgebietes Graz-Reininghaus von Interesse und wurden als Analysegebiet festgelegt. Im Laufe des Entwicklungsprozesse wurde für die wissenschaftliche Bearbeitung eine Einteilung in vier unterschiedliche Analysegebiete vorgenommen (Abbildung 3-10). Auf der Seite der städtebaulichen Entwicklung wurden gleichlaufend sogenannte „Stadtbausteine“ definiert.

- **Analyse-Gebiet Realisierungsphase** (grüne Umrandung): Das Quartier 10 am nord-östlichen Rand des Stadtentwicklungsgebietes wurde zeitlich parallel zur Projektlaufzeit bereits mit der Steiermark-Zentrale des ÖAMTC bebaut. Die Planung und Bebauung des südlich gelegenen Quartiers 8 und in Teilen des Quartiers 9 wurden im Rahmen des Leitprojektes *Rahmenplan Energie Graz-Reininghaus* initiiert und begleitet. Die wissenschaftliche Begleitung des Quartiers 8 wurde in der Folge in das Subprojekt *PLUS ERS Plusenergieverbund Reininghaus Süd* übernommen und weitergeführt. In diesen Stadtquartieren wurden die hochgradig energieeffizienten Demonstrationsprojekte *PLUS ERS* und *Passiv Wohnbau Quartier Hummelkaserne* realisiert. Nähere Informationen bieten Kapitel 3.7 und Kapitel 3.9.
- **Primäres Analyse-Gebiet** (lila Umrandung): Im Fokus des vorliegenden wissenschaftlichen Projektes lag das primäre Analyse-Gebiet, da für dieses Gebiet noch kein Energieversorgungskonzept festgelegt wurde. Außerdem birgt das primäre Analyse-Gebiet das größte städtebauliche Entwicklungspotenzial aufgrund hochgradiger Nutzungsdurchmischung und hoher Bebauungsdichten. Gemäß der zeitlichen Abfolge ist das primäre Analyse-Gebiet nach dem Analyse-Gebiet Realisierungsphase das zur Bebauung anstehende Areal.
- **Sekundäres Analyse-Gebiet** (blaue Umrandung): Das sekundäre Analyse-Gebiet schließt unmittelbar an das primäre Analyse-Gebiet an und beinhaltet viele unbebaute Flächen. Ein großer Teil stellt jedoch gesetzlich vorgeschriebene Sicherheitsabstandszonen zum Wohngebiet sowie potentielle Erweiterungsflächen für die naheliegenden Industriebetriebe dar. Gemäß Seveso Richtlinie "...für Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen..." [58] muss für dieses Gebiet ein mögliches Großunfallspotenzial durch naheliegende (Industrie)betriebe abgeschätzt werden. Die Gestaltung des Energiekonzeptes wird zudem in einem hohen Ausmaß von der Gestaltung der industriellen Prozesse abhängen und war daher ohne konkrete Pläne zur industriellen Entwicklung nicht bearbeitbar. Das sekundäre Analyse-Gebiet wurde daher nur begrenzt untersucht, insbesondere auch weil in den nächsten Jahren keine konkreten Bauentwicklungen zu erwarten sind.
- **Analyse-Gebiet Längerfristige Umsetzung** (orange Umrandung): Die Stadtquartiere mit längerfristiger Umsetzung wurden im *Rahmenplan Energie ECR* nicht bearbeitet, da hier keine baldigen Bauentwicklungen zu erwarten sind.

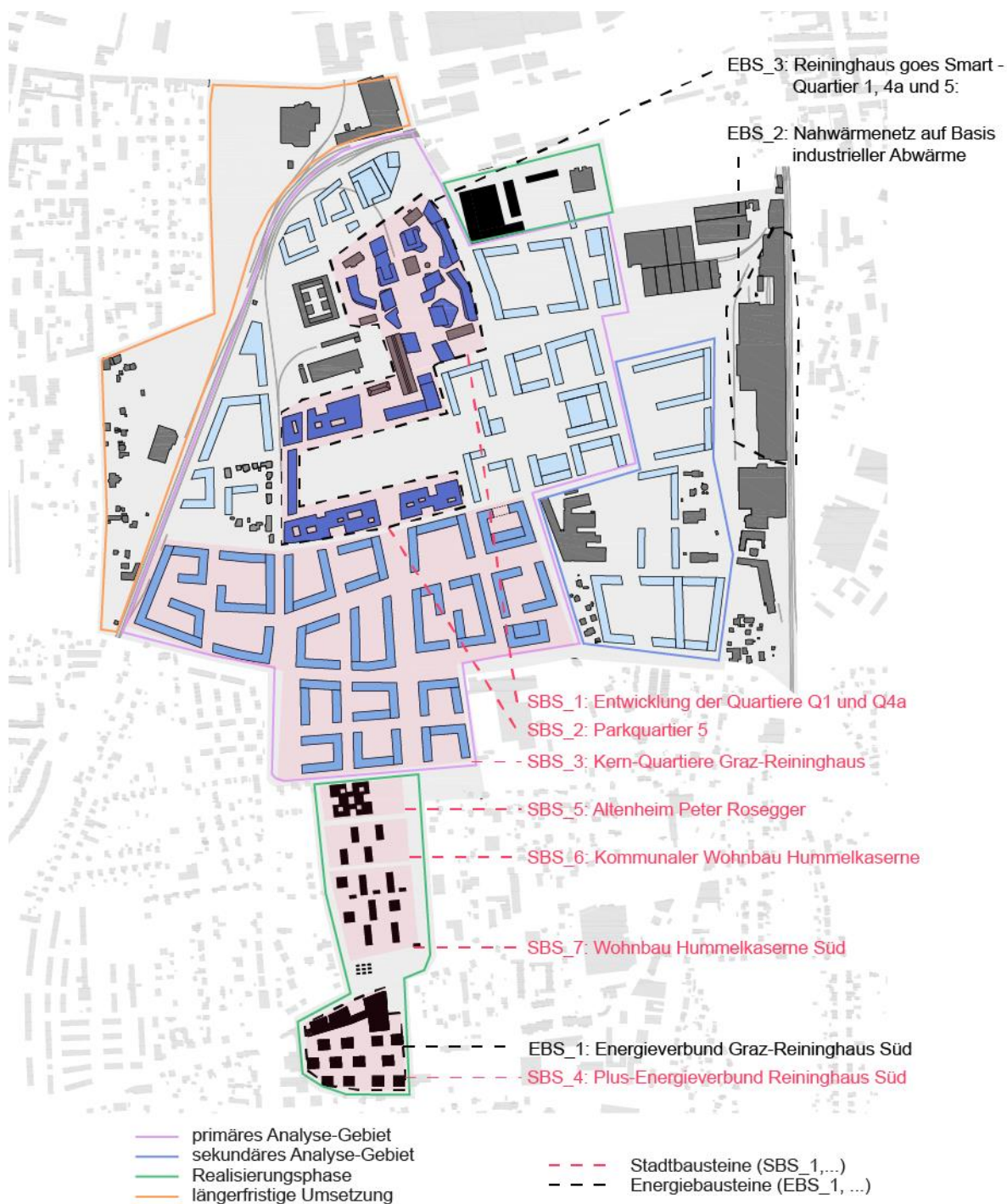


Abbildung 3-10: Einteilung des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus in Analysegebiete

Stadtbaustein Entwicklung der Quartiere Q1+Q4a ► Kapitel 3.4

Stadtbaustein Quartier 5 ► Kapitel 3.5

Stadtbaustein Kern-Quartiere Graz-Reininghaus ► Kapitel 3.6

Stadtbaustein Plus-Energieverbund Reininghaus Süd ► Kapitel 3.7

Stadtbaustein Altenwohnheim Peter Rosegger ► Kapitel 3.8

Stadtbaustein Kommunaler Wohnbau Hummelkaserne ► Kapitel 3.9

Stadtbaustein Wohnbau Hummelkaserne Süd ► Kapitel 3.10

Energiebausteine: Energietechnische Vernetzungen ► Kapitel 3.11

3.4 Stadtbaustein Entwicklung der Quartiere Q1 und Q4a

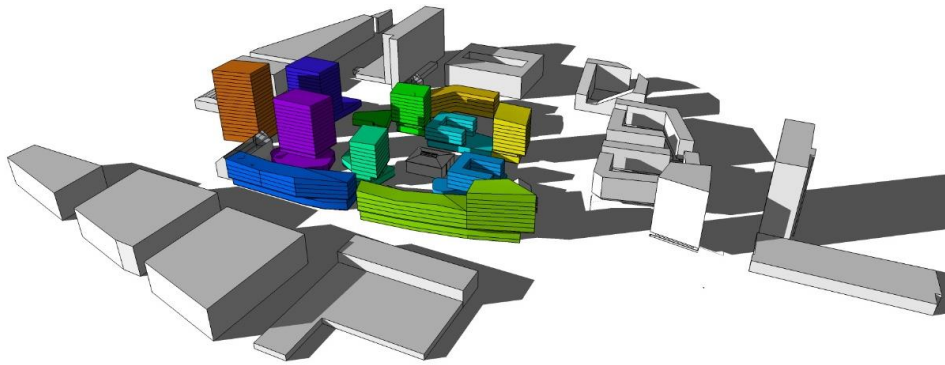
In der Entwicklung der im Nord-Westen des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus gelegenen Quartiere 1 und 4a wurden einige Entwicklungsschritte durchlaufen. Beginnend mit der Auslobung eines zweistufigen Wettbewerbes im Oktober 2013, über die Analyse der Wettbewerbsergebnisse bis zu der Planung weiterführender Entwicklungs- bzw. Forschungsaktivitäten.

Der städtebauliche Wettbewerb „Alt-Reininghaus Goes Smart“

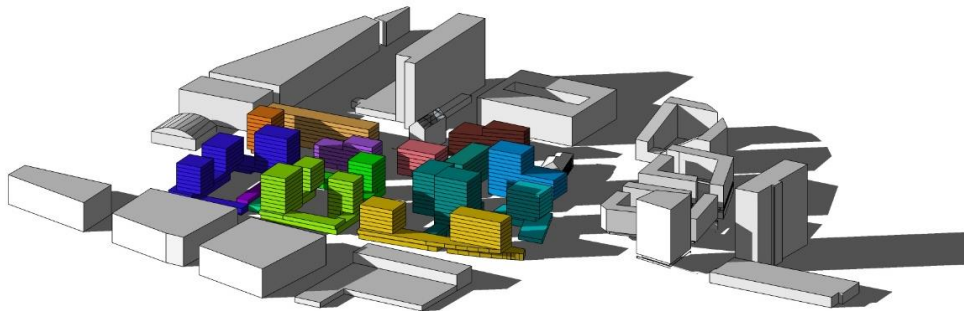
Der erste Entwicklungsschritt lag in der Durchführung eines 2-stufigen Ideen- und Realisierungswettbewerbes zur städtebaulichen und architektonischen Gestaltung. Bei den Quartieren Q1 und Q4a handelt es sich um jene Flächen des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus, welche mit Bestandsgebäuden in unterschiedlichstem Gebäudezustand versehen sind; so sind sowohl denkmalgeschützte wie auch gut bis sehr schlecht erhaltene Funktionsgebäude vorhanden. Der Arbeitstitel des Wettbewerbes lautete aufgrund der historischen Entwicklung und der Topografie „Alt-Reininghaus Goes Smart“. Im Sinne einer urbanen Entwicklung sollen neben Gebäuden mit Büro-, Handels-, Studien- und Freizeitnutzung allgemein erlebbare Kultureinrichtungen entstehen. [60]. Durch die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem Kerninvestor und der Stadtbaudirektion Graz war es den ECR-Experten möglich, die Wettbewerbsausschreibung inhaltlich zu programmieren und die international renommierten Fachexperten Herrn Arch. Hofer, Projektleiter Hunziker-Areal Zürich, Herrn Dipl. Ing. Ralf Siegl, Projektleiter Freiburg Rieselfeld, und den wissenschaftlichen Leiter des *ECR Rahmenplanes Energie* Herrn Prof. Hans Schnitzer in die Wettbewerbsjury zu entsenden. Von den zahlreichen Einreichungen wurden im ersten Schritt vier Wettbewerbsbeiträge prämiert und in die zweite Entscheidungsstufe übernommen. Abbildung 3-11 zeigt entsprechende Darstellungen der Entwürfe. Laut Wettbewerbsprotokoll können folgende städtebauliche Aspekte pro Projekt genannt werden:

Entwurf 1: (Siegerprojekt) [61]: Hierbei handelt es sich um eine recht heterogene Bebauungsstruktur mit unterschiedlichen Gebäudevolumina. Auffallend ist, dass bei diesem Projekt keine Blockrandbebauung vorgesehen ist. Im Zentrum der räumlichen Struktur stehen vor allem die vertikalen Akzente — in Form von Türmen (mit teils beträchtlicher Höhe). Neben den Türmen gibt es Gebäude in Form von Riegeln bzw. Zeilen und sogenannten Atrien (U-förmige Gebäudevolumina). Es existiert eine klare Differenzierung zwischen den urbanen eingeschossigen Sockelzonen und den darüber situierten Gebäudevolumina. Durch die Vertikalität der Baukörper ergeben sich großzügige Freiräume zwischen den einzelnen Gebäuden.

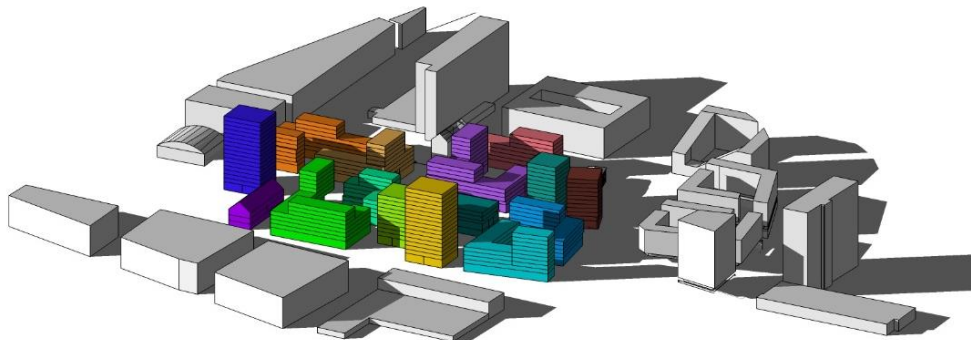
Entwurf 2: [62]: Bei diesem Projekt gibt es eine klare strukturelle Differenzierung zwischen den durch die Esplanade (Nord-Süd-verlaufende Quartiersachse) getrennten Bereichen (Quartier 4a im Westen und Quartier 1 im Osten). Verwendet werden lt. Verfasser „einfache Bausteine“ – Rahmen, Turm, Riegel. Während im Quartier 4a eine aufgelockerte Bebauung mit Punkthäusern (in Form kleiner Türme) und Nord-Süd-verlaufende Gebäudezeilen vorherrschen, findet man im Quartier 1 eine recht interessante Mischung aus aufgelockerten, durchbrochenen zweigeschossigen Blockrandstrukturen mit punktuellen Akzenten (in Form von Türmen auf den Blockrändern in überschaubarer Höhe). Somit entsteht eine abwechslungsreiche Zonierung zwischen Baukörpern und Freiräumen, wobei auch hofähnliche Situationen entstehen.



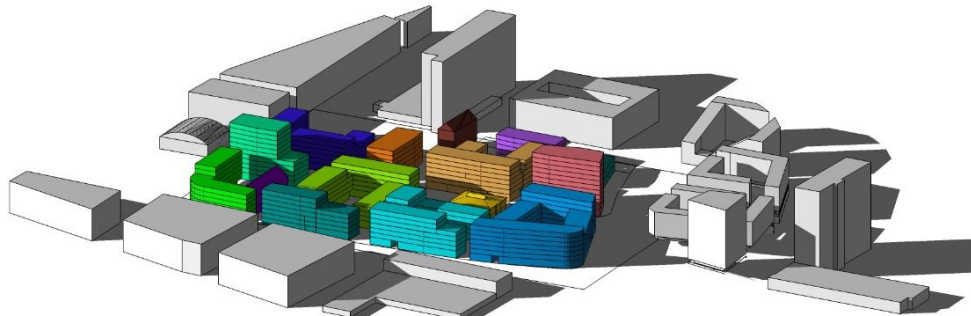
1



2



3



4

Abbildung 3-11: Vergleichsbetrachtung der untersuchten Wettbewerbsbeiträge (Bildquelle: [63])

Entwurf 3: [64]: Hierbei handelt es sich überwiegend um eine homogene Struktur mit sechs geöffneten Blockrändern (meist in U-Form angeordnet). Die Blöcke weisen insgesamt eine überwiegend einheitliche Höhe auf (vier bis sieben Geschosse) und werden zur Esplanade hin akzentuiert. Die akzentuierten Riegel erstrecken sich von Nord nach Süd. Alles in allem wird diese Bebauung durch eine sehr starke Orthogonalität gekennzeichnet. Es entstehen zahlreiche halb-geöffnete Innenhöfe.

Entwurf 4: [65]: Auch hier widmet man sich ganz bewusst der Konzeption einer durchbrochenen Hof- und Blockrandbebauung. Thema ist die detaillierte Ausarbeitung des Hofes als übergeordnete Einheit (4 Höfe bestehend aus je zwei L-förmigen Baukörpern). Die Blockränder besitzen eine Mindesthöhe von fünf Geschossen. In der Vertikalen wird der Blockrand insofern gelockert, indem unterschiedliche Höhen eine entscheidende Rolle spielen. Begleitet werden die vier Höfe von fünf nicht in unmittelbarer Verbindung stehenden Türmen – so entsteht eine Kombination von geöffneten Blockrändern und punktuellen Hochhäusern.

Energetische Analyse der Wettbewerbsbeiträge

Die Architekturbüros der vier in der ersten Wettbewerbsstufe erfolgreichen Beiträge stellten ihre Entwürfe für eine vergleichende städtebauliche und energetische Studie zur Verfügung. Untersucht wurden, vergleichend für jeweils alle vier Bebauungsvorschläge, die gegenseitige Verschattung der Baukörper in Hinblick auf die aktive und passive Nutzung von Solarenergie sowie der Zusammenhang zwischen Kompaktheit der Bebauungsstruktur und Wärmebedarf. Diese energetische Analyse wurde zu großen Teilen im Rahmen des von der FFG geförderten Forschungsprojektes *CityCalc – Energieplanungs- und Bewertungsinstrument für den Städtebau* durchgeführt [66].

Abbildung 3-12 zeigt eine vergleichende Bewertung in Bezug auf die Nutzung des Potenzials der solaren Einstrahlung. Betrachtungsgröße ist die gesamte jährliche solare Einstrahlung durch die Fenster (Fensterflächenanteil 30 % in OGs und 60 % in EGs) bezogen auf die gesamte Fassadenfläche (Brutto, inkl. Fenster).

Alle Gebäude verfügen im Vergleichsaufbau über den gleichen Ausgangswert an solarer Einstrahlung. In Abbildung 3-12 wird dies durch die gleich hohen braunen Säulen, die sich jeweils ganz links je Entwurf befinden, dargestellt. Kann die gegenseitige Verschattung der Gebäude nicht detailliert berechnet werden, so können im Energieausweis Standardwerte eingesetzt werden. Als ungünstiger Standardwert für die Intensität der gegenseitigen Gebäudeverschattung wird im Energieausweis ein Wert von 25 % angesetzt. Unter dieser vereinfachten Annahme treffen somit 75 % der auf das Gesamtgebiet einfallenden Solarstrahlung auf die Gebäudehüllen auf und können somit optional in der Form von aktiven oder passiven Gewinnen nutzbar gemacht werden.

Die jeweils zweite hellbraune Säule von links zeigt diese entsprechenden Größen. Die aufgrund der geometrischen Verhältnisse und der Ausrichtungen tatsächliche Reduktion der nutzbaren Solarstrahlung infolge Verschattung in den vier untersuchten Projekten zeigt Abbildung 3-12 mit der orangen Säule für den Winterfall und der grünen Säule für den Sommerfall. Die über alle Gebäudeflächen gemittelte Verschattung liegt in den einzelnen Entwürfen zwischen 38 % und 52 %. Das nutzbare Solarpotenzial (beispielsweise auch für gebäudeintegrierte PV) unterscheidet sich demnach im Vergleich der vier städtebaulichen Konfigurationen um bis zu 25 %.

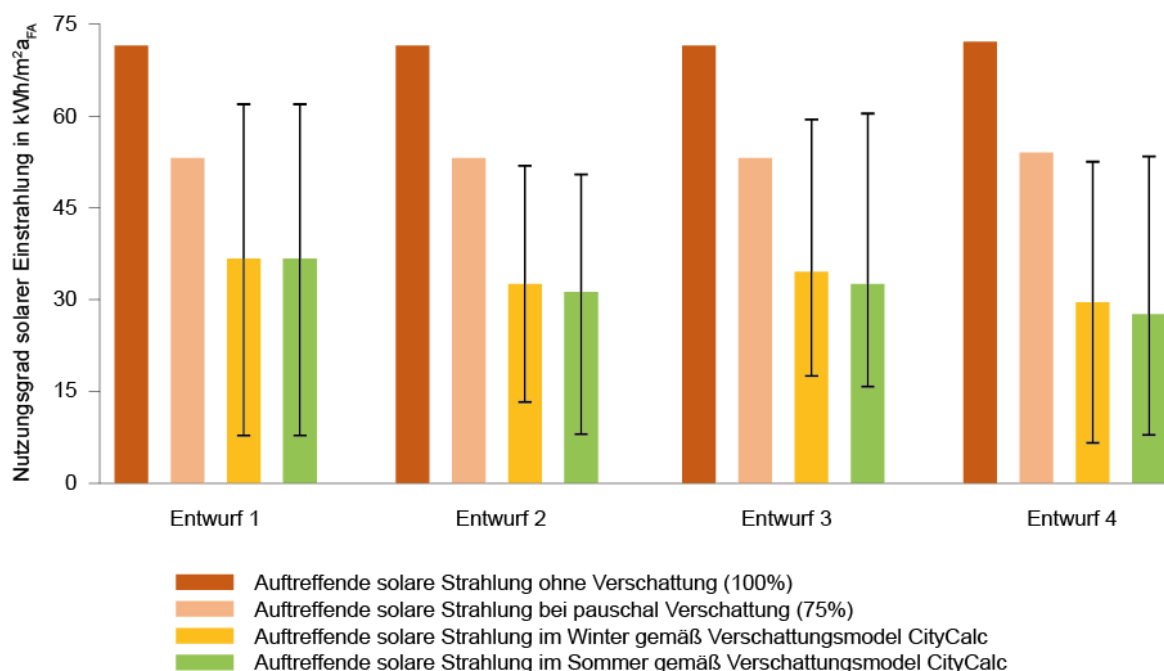


Abbildung 3-12: Vergleichsbetrachtung Energie: Nutzungsgrad solare Einstrahlung

Diese Unterschiede im Grad der gegenseitigen Verschattung wirken sich deutlich auf die ermittelten Energiekennzahlen aus. Die gute Nutzbarkeit des solaren Strahlungseintrages reduziert den Heizwärmebedarf deutlich, lässt aber gleichlaufend auch den Kühlbedarf ansteigen. Je nach Qualität und Regelung der Verschattungseinrichtungen kann sich dieser Umstand positiv oder auch negativ auf die Gesamtenergieperformance auswirken. Dieser dargestellte Vergleich der Bewertungsmethoden zeigt deutlich, dass vereinfachte Annahmen zur gegenseitigen Verschattung in urbanen Bebauungsstrukturen, so wie sie beispielsweise im Energieausweis angewendet werden, zu bedeutenden Fehleinschätzungen der Heiz- bzw. Kühlbedarfe führen können.

Weiterführende Entwicklung des Siegerprojektes

Die Entscheidung des städtebaulichen Wettbewerbes „Alt-Reininghaus Goes Smart“ ermöglichte, die für die Quartiere 1 und 4a getroffenen Annahmen zu konkretisieren. Die durch das Institut für Städtebau entwickelte Bebauungsstruktur wurde durch die Bebauungsstruktur des Siegerprojektes ersetzt und in die Modellierung des primären Analyse-Gebietes übernommen. Parallel dazu wurde eine zweite, deutlich detailliertere, thermische Modellierung der Bebauung der Quartiere 1 und 4a durchgeführt. Ausgewertet wurden Heiz- und Kühlbedarf sowie Heizlast und Kühllast der geplanten Bebauung. Die Bewertungsergebnisse wurden in mehreren Workshops mit dem beauftragten Planerteam diskutiert und mit den Ergebnissen der klassischen vereinfachten ingenieurtechnischen Berechnungsmethoden verglichen. Eine detaillierte Darstellung der Modellannahmen und der Bewertungsergebnisse zeigt der entsprechende Annexbericht.

Die zwischen dem ECR-Team und dem Planerteam weitergeführte Diskussion über das Design des Energieversorgungssystems führte in der Folge zur Definition weiterer Forschungsfragen und zur Definition des Energiebausteins 3 (siehe Kapitel 3.11).

3.5 Stadtbaustein Parkquartier 5

Basierend auf den Erkenntnissen des Wettbewerbes der Stadtquartiere Q1 und Q4 erfolgte die Wettbewerbsausschreibung des Stadtquartieres 5 Parkareale Graz-Reininghaus. Auch hier konnte die Stadtbaudirektion Graz mit Hilfe des ECR-Teams den Wettbewerb positiv beeinflussen. Der Investor und das Architekturbüro des Wettbewerbssiegerprojektes gaben alle Wettbewerbsunterlagen an das ECR-Team weiter. Durch diese Kooperation konnte das Wettbewerbssiegerprojekt bei der Bearbeitung des *Rahmenplanes Energie ECR* optimal berücksichtigt und integriert werden. Abbildung 3-13 bis Abbildung 3-15 illustrieren das Wettbewerbssiegerprojekt von Quartier 5.



Abbildung 3-13: Dachdraufsicht Wettbewerbssiegerprojekt Quartier 5 [67]



Abbildung 3-14: Rendering Wettbewerbssiegerprojekt Quartier 5 [67]



Abbildung 3-15: Rendering Wettbewerbssiegerprojekt Quartier 5 [67]

3.6 Stadtbaustein Kern-Quartiere Graz-Reininghaus

Besonderes Entwicklungspotenzial sieht das ECR-Team der Technischen Universität Graz in jenen Quartiersflächen des primären Analyse-Gebietes, in denen noch keine städtebaulichen Wettbewerbe ausgelobt und durchgeführt wurden. In diesen Quartieren (18, 18a, 6, 6a, 3, 7 und 7a) besteht noch die Möglichkeit große Potenziale zu wecken. Basierend auf den Erkenntnissen der Analyse von nachhaltigen Stadtentwicklungsprojekten in Europa und Empfehlungen von StadtplanerInnen wird eine zusammenhängende gemeinsame städtebauliche Konzeption der genannten Quartiere empfohlen. Aus diesem Grund wurde in einem weiteren Bearbeitungsschritt vom ECR-Team ein detailliertes städtebauliches Konzept für diese Quartiere entwickelt. Zu bedenken ist, dass man hier noch die größten Eingriffsmöglichkeiten bzgl. der räumlichen Stadtgestalt und Energieoptimierung hat — vor allem was die aktive Mitgestaltung und Konzepterstellung sowie die Vorgaben für zukünftige Wettbewerbsausschreibungen angeht. Um eine möglichst hohe Qualität zukünftiger Entwicklungen dieser Flächen zu gewährleisten, war man sich innerhalb des Forschungsteams einig, dass sich diese Quartiere optimal für eine „Internationale Bauausstellung“ (IBA Graz) eignen würden.

Europäischer Trend „Back to the Block“

Im nationalen und internationalen Austausch mit Experten und Fachleuten stellte sich alsbald eine starke Tendenz der Wiederentdeckung von Hof- und Blockrandbebauung heraus. Mit diesem Hintergrund entwickelte das Forschungsteam eine geeignete Bebauungsstruktur mit dem Fokus „Back to the Block“. In der laufenden Optimierung der Bebauungsszenarien stellte sich heraus, dass urbane Hof- und Blockrandstrukturen aufgrund ihrer Struktur ein sehr großes urbanes und gleichzeitig ein hohes energetisches Entwicklungspotenzial aufweisen. Im Vergleich zu Turm- und Zeilenbebauungen wirkt sich die Hof- und Blockrandstruktur besonders positiv auf folgende urbane Aspekte aus:

- Dichte Begrünung der Höfe ermöglicht die Ausbildung eines verbesserten Mikroklimas.
- Die zum Straßenraum geschlossenen Strukturen ermöglichen die Ausbildung von schallberuhigten Innenhöfen.
- Blockrandbebauungen ermöglichen in ihren Sockel- und Erdgeschosszonen die Ansiedlung von Gewerbenutzungen.
- Eine Blockrandbebauung ermöglicht die Entwicklung eines Gemeinschaftshofes als soziale urbane Integrationszone für BewohnerInnen (siehe Freiburg Rieselfeld).
- Die geschlossene Bebauung ermöglicht die Entwicklung unterschiedlicher Freiräume.
- Die Bebauungsstruktur ermöglicht die klar ablesbare Verortung der drei sozial unterschiedlichen Grünräume – öffentliches Grün, Gemeinschaftsgärten, Privatgärten.
- Höfe sind leichter überschaubar als Freiräume offener Bebauungsstrukturen, so entsteht das Sicherheitsprinzip durch „Nachbarschaftskontakt“.
- Die klare Trennung zwischen urbanem Straßenraum und Hof ermöglicht die Ausbildung von sicheren Rückzugsmöglichkeiten und Nachbarschaften.

- Die geschlossene Bebauung ermöglicht die Ausbildung unterschiedlicher Raumfolgen wie städtischer Straßenraum, Wohn- und Spielstraßen, Plätze, Begegnungszonen, Gemeinschaftshof.
- Die klaren städtischen Räume unterstützen die Entwicklung nachbarschaftlicher Identitäten („Grätzlbildung“).
- Städtische Blockrandstrukturen bilden den räumlichen Rahmen für die Ausbildung kleinteiliger unterschiedlicher Architekturen — sie unterstützen räumliche Diversität (siehe Freiburg Rieselfeld).
- Aufgrund der geschlossenen Bebauung – „Haus an Haus – Pinguin Prinzip“ – werden von Haus aus Kosten und Energie eingespart.
- Die gemeinsame Nutzung der Höfe ermöglicht die Integration von „Urban Gardening“.
- Block und Hof ermöglichen eine geordnete Umsetzung und Realisierung in Bauabschnitten, ohne dass städtischer klar definierter Raum verloren geht (einheitlicher „Rahmen“).
- Für eine Weiterentwicklung des städtischen Umfeldes von Graz-Reininghaus eignet sich der Blockrand besonders gut zum „Andocken“ und Weiterbauen der Strukturen.

Das im Zuge des *ECR Rahmenplanes Energie* ausgearbeitete urbane Blockbebauungsszenario wurde so konzipiert, dass dieses als Benchmark bei zukünftigen Wettbewerbsausschreibungen verwendet werden kann. Im Folgenden wird dieses detailliert entwickelte städtebauliche Prinzip anhand der Hof- und Blockrandstrukturen der Quartiere 18, 18a, 6, 6a, 3, 7 und 7a vorgestellt.

Hof- und Blockrandstruktur in den Quartieren 18, 18a, 6, 6a, 3, 7 und 7a

Abbildung 3-16 und Abbildung 3-17 zeigen die drei großen nördlichen Einheiten der sogenannten „Hof- und Blockrandquartiere“ (Quartiere 18+18a, 6 und 6a). Die südlichen Einheiten bilden die Quartiere 7 und 7a. Zwischen den nördlichen und südlichen Einheiten verläuft von Ost nach West die Wetzelsdorfer Straße als Haupteerschließungsstraße der beiden Großeinheiten (Nord und Süd).



Abbildung 3-16: Modellfoto Bebauungsszenario der Hof- und Blockrandquartiere

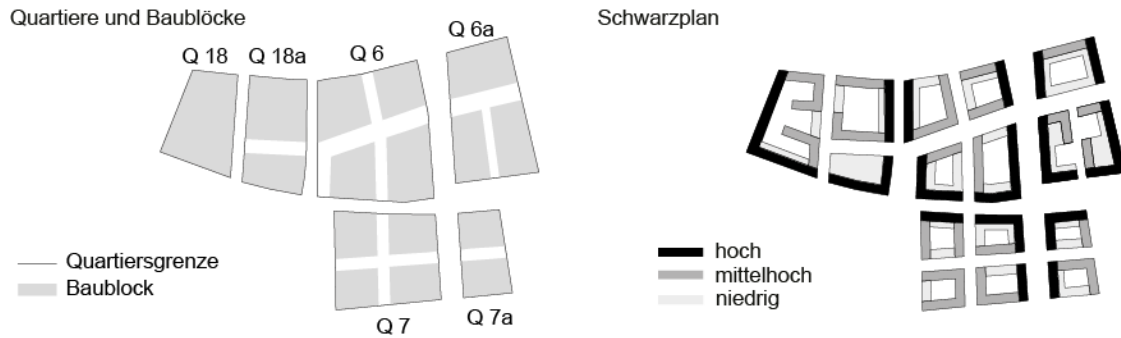


Abbildung 3-17: Links: Überblick der Quartiere und Baublöcke, rechts: Schwarzplan mit Differenzierung der Gebäudehöhen

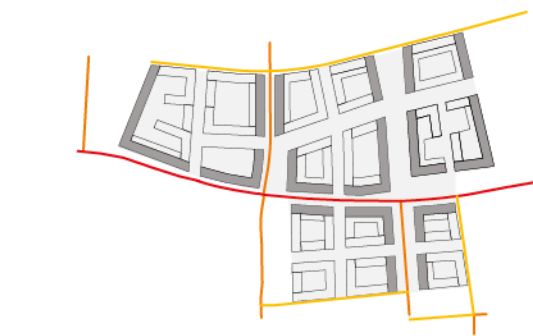
Da es sich bei diesen Quartieren überwiegend um urbane Wohnquartiere handelt, wurde besonderes Augenmerk auf die Gestaltung und die Qualität der städtischen Freiräume gelegt. Der städtebauliche Fokus des Bebauungsszenarios konzentriert sich auf die Qualitäten der verschiedenen öffentlichen (Straßen, Plätze) und halböffentlichen (Nachbarschaftshof, Spielstraße) Stadträume, innerhalb der Quartiere und quartiersübergreifend.



Abbildung 3-18: Detailausschnitt – Bebauung und städtische Freiräume

Der Großteil der Nord-Süd-verlaufenden Stadträume zwischen den Gebäudestrukturen sind als „Wohn- und Spielstraßen“, sogenannte Begegnungszonen für die Bewohner, konzipiert. Ausnahmen bilden eine Erschließungsstraße zwischen Quartier 18a und 6 sowie die großzügige Fußgänger- und Parkpromenade zwischen den Quartieren 6 und 6a, die laut Rahmenplan auch als Verbindung und Verlängerung des „Central-Parks“ dient und sich bis zu den südlichsten Quartieren erstreckt.

Verkehr



- Hauptverkehrsachsen
- Nebenstraßen
- Quartierserschließung

Wegenetz mit öffentlichen Verkehr




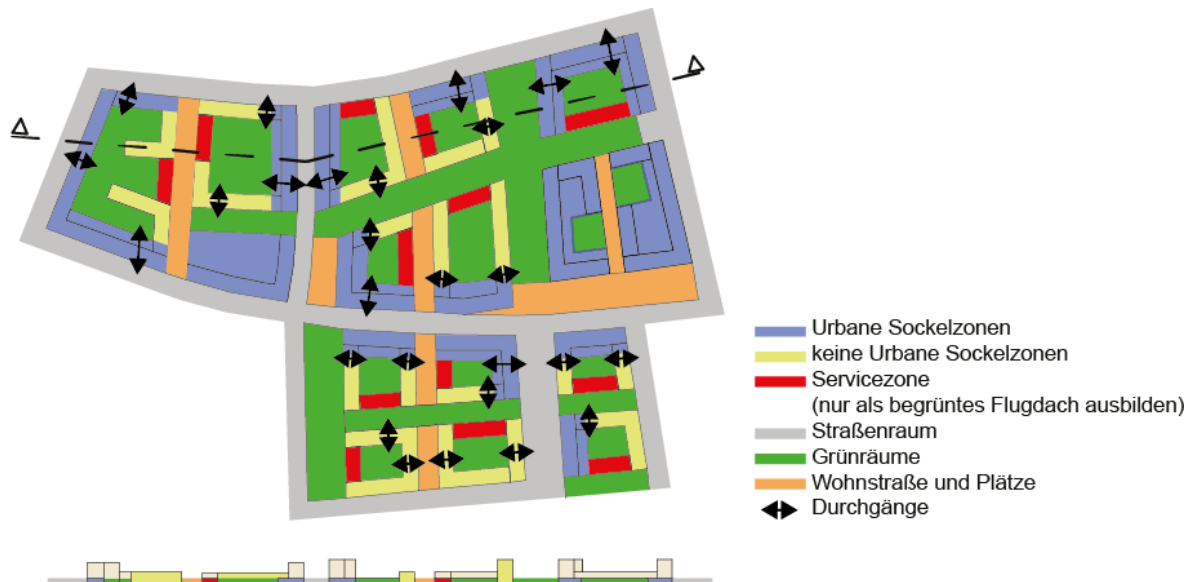
-  bei Schrittempo 3,6 km/h Reichweite Fußgänger 600m/min blauer Radius 5 min Etappen

Abbildung 3-19: Links: Übersicht der Verkehrserschließung, rechts: Übersicht Wegenetz mit ÖV (Durchwegung der Höfe – blau, Fahrradwege – grün)

Da auch in diesen Quartieren die Nutzung der Sockelzonen ein wichtiges Thema ist, wurde die genaue Lage der „urbanen Sockelzonen“ festgelegt. Die Nutzungen wurden in den Flanken der Blockränder entlang der Erschließungsstraßen, an Plätzen und teilweise entlang der Parkpromenade situiert, sodass die zu Grünräumen, zu Innenhöfen und Wohnstraßen angrenzenden Ränder der Blöcke der Nutzungsart „Wohnen“ vorbehalten sind (Abbildung 3-20).




- Urbane Sockelzonen
- keine Urbane Sockelzonen
- Servicezone (nur als begrüntes Flugdach ausbilden)
- Straßenraum
- Grünräume
- Wohnstraße und Plätze
-  Durchgänge

Abbildung 3-20: Übersicht der städtischen Freiraumqualitäten

Die Gebäudestrukturen sind städtebaulich so konzipiert, dass jeder Block einen entsprechenden Hof als Nachbarschaftszone erhält. Die Blockbebauung wurde an einer Flanke geöffnet, sodass sie sich zu den Nachbarblöcken bzw. den städtischen Freiräumen räumlich vernetzen kann. Aus der Erkenntnis von Freiburg Rieselfeld ist es wichtig, dass die Höfe per Fußweg miteinander verbunden sind.

Abbildung 3-21 links zeigt das mögliche Fußwegenetz in der Nachbarschaft. An den offenen Flanken der Blöcke können sogenannte „Servicezonen“ implementiert werden. In dieser Servicezone können E-Bike-Stationen, Geräteaufbewahrung für die gemeinsame Bewirtschaftung der Grünflächen, Gemeinschaftsräume, Gemeinschaftsbüros, Waschküchen, Gästewohnungen etc. situiert werden.

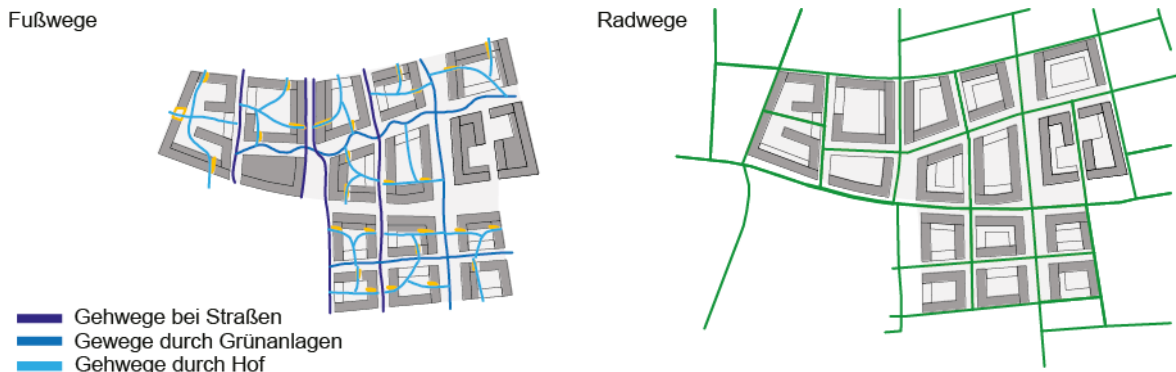


Abbildung 3-21: Links: Fußwegenetz, rechts: Fahrradwegenetz

Resultierend aus dieser klar ablesbaren städtebaulichen Strukturierung ergibt sich ein großes Potenzial für die Verortung möglicher Grünräume in unterschiedlichster Art und Weise. Abbildung 3-22 oben zeigt die unterschiedlichen Grünraumtypologien: Straßenbegleitungsgrün (Alleen, Baumreihen, Grüninseln), Terraingrün in Parks und Höfen, Dach-, Terrassen-, Balkongrün und optional Fassadengrün (vertikales Grün). Die Blockstrukturen ermöglichen die räumliche Ausbildung von sozial ablesbaren öffentlichen, halböffentlichen (nachbarschaftlichen) und privaten Grünbereichen (Kleingärten zugeordnet zu den Wohnungen im Hof, Dachterrassen, Loggien Balkone eventuell Wintergärten). Abbildung 3-22 unten zeigt die klare Verortung und Ablesbarkeit der Grünräume.

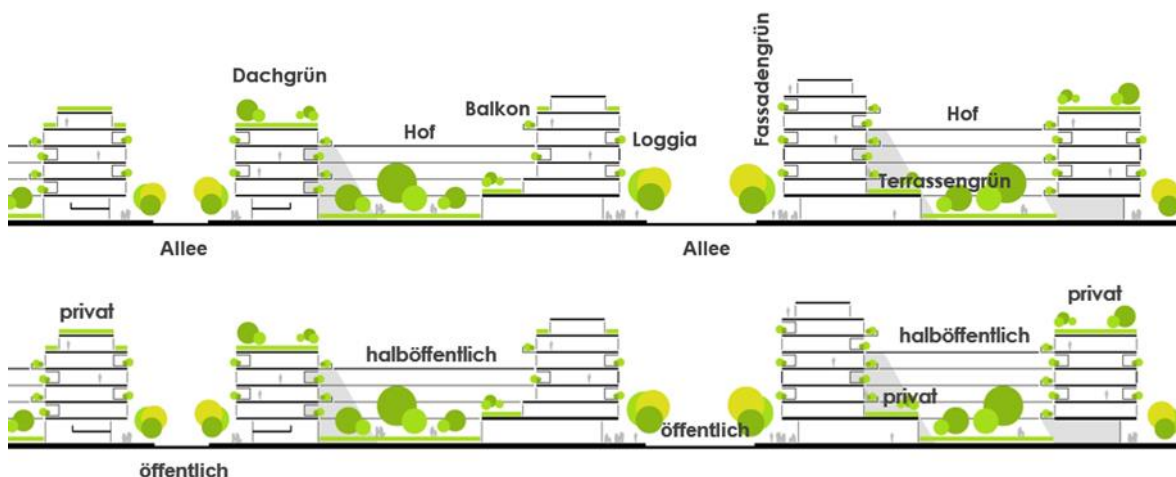


Abbildung 3-22: Verortung öffentlicher, halböffentlicher und privater Grünräume

Abbildung 3-23 verdeutlicht nochmals die klare Zonierung der Quartiere und die Ausbildung der urbanen Sockelzone (blau markiert). Abbildung 3-24 zeigt die mögliche Strukturierung der Nutzungen innerhalb eines urbanen Blockes.

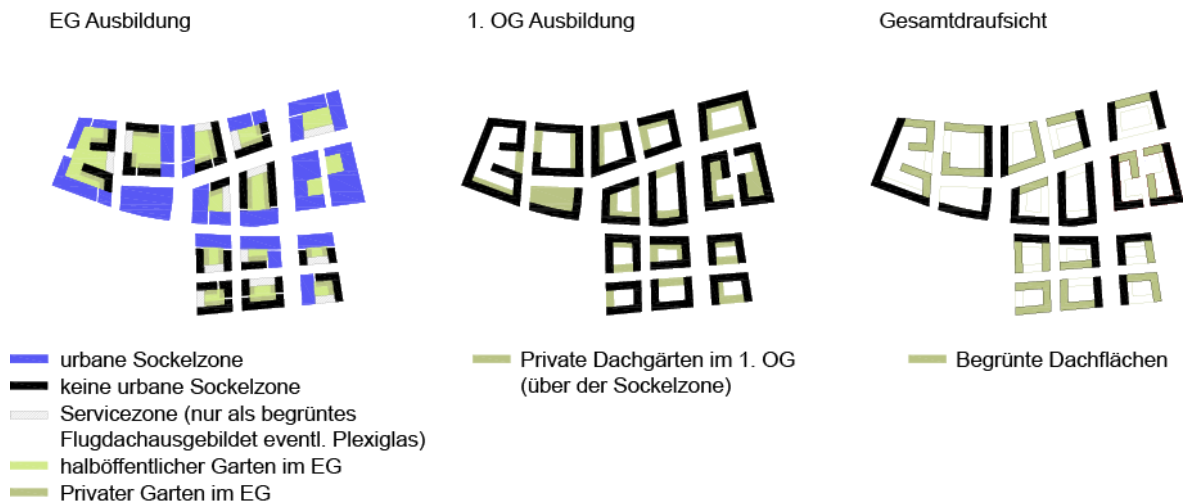


Abbildung 3-23: Strukturierung der öffentlichen, halböffentlichen und privaten Grünräume

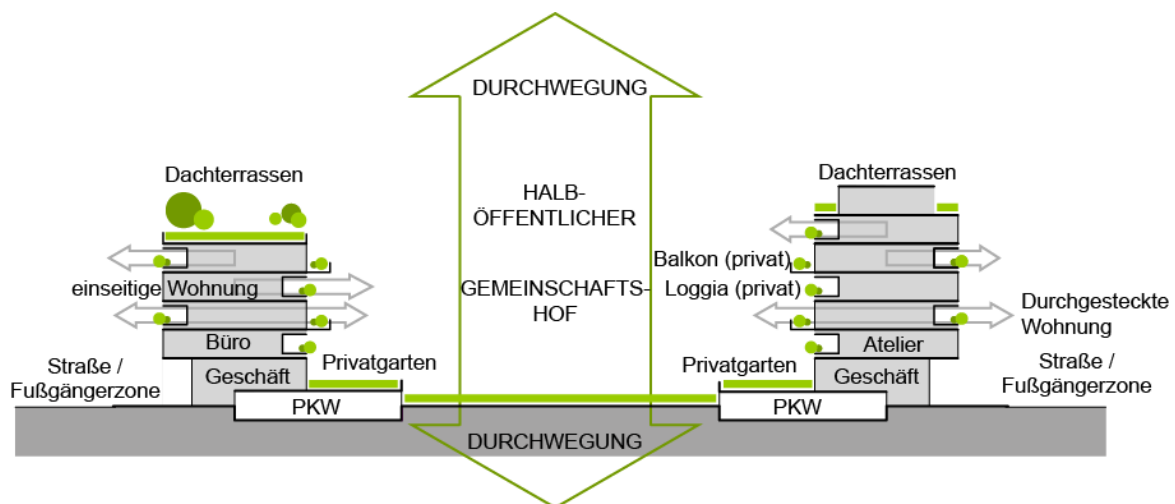


Abbildung 3-24: Strukturierung und Nutzungszonierung eines urbanen Blockes

Die Hof- und Blockrandbebauung ermöglicht die ideale Integration „grüner Infrastruktur“ im Stadtgebiet. Die „grüne Infrastruktur“ sorgt für Optimierung des Mikroklimas, Windschutz, Sonnenschutz, Feuchtigkeitsabgabe, Schutz vor Staubbildung, Erzeugung von Atmosphäre (im Stadtbild), Schallschutz („Soundscaping“), Entschärfung von Versiegelungsflächen, Schaffung von Versickerungsflächen etc. Weitere Infos dazu siehe auch Kapitel 2.1.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse von Kopenhagen, Freiburg und Basel ist bei der Bebauung des Stadtgebietes besondere Beachtung auf Vermeidung von großmaßstäblicher Monotonie zu legen. Um eine große architektonische Vielfalt in den Quartieren zu ermöglichen, ist auf eine kleinteilige Umsetzung und Realisierung der Blockrandbebauungen zu achten. Zu vermeiden sind sogenannte „Megablocks“.

Die erfolgreiche Strategie von Rieselfeld zeigt, dass durch mehrere Investoren mit kleineren Gebäudeeinheiten oder durch Aufteilung in Baulose an mehrere Architekten pro Hof eine „urbane Vielfalt“ und ein angemessener menschlicher Maßstab im Stadtgebiet geschaffen werden kann. Abbildung 3-25 erklärt dieses städtebauliche Grundprinzip zur „urbanen Vielfalt und Maßstäblichkeit“

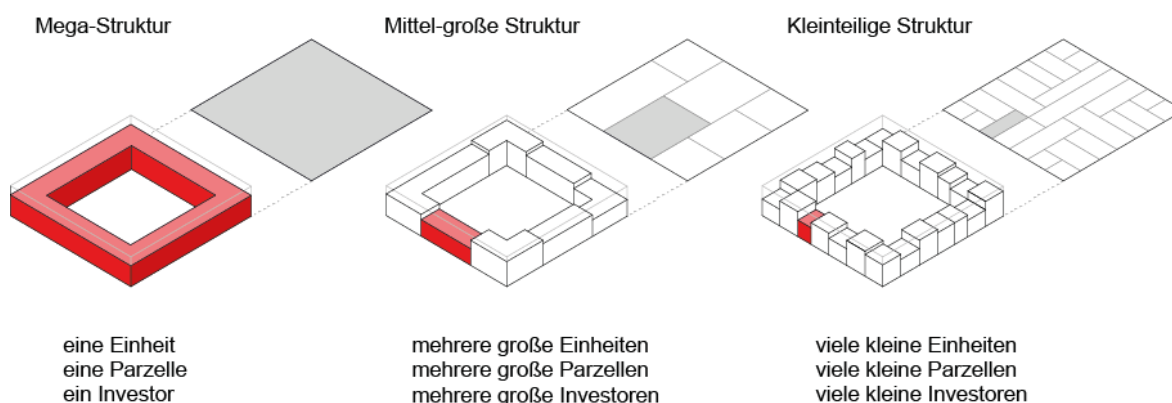


Abbildung 3-25: Freiheit des Systems – Urbane Diversität in Abhängigkeit von Parzellierung und Investorenzahl oder verschiedener Architekturen

3.7 Stadtbaustein Plus-Energieverbund Reininghaus Süd

Dieser Stadtbaustein ist ein gutes Beispiel dafür, wie sich die positiven Impulse des Forschungsprojektes ECR auf die laufende Entwicklung der Bauvorhaben von Graz-Reininghaus ausgewirkt haben. Das mit Fördermitteln von *Haus der Zukunft Plus* und des Landes Steiermark errichtete ECR-Demonstrationsbauvorhaben war und ist der „gebaute Benchmark des Stadtteils Graz-Reininghaus“. Durch diesen Stadtbaustein konnte die Entwicklung des zukünftigen Stadtteiles maßgeblich positiv beeinflusst werden.

Im Süden der Peter-Rosegger-Straße, im Stadtquartier 9, hat die Firma Aktiv Klimahaus GmbH und die Firma WEGRAZ ein städtisches Wohnquartier mit rund 172 Wohneinheiten errichtet. Das Projekt gliedert sich in drei Bauabschnitte. Der erste Bauabschnitt wird durch die WEGRAZ, der zweite und dritte Bauabschnitt durch die Aktiv Klimahaus GmbH finanziert und errichtet. Abbildung 3-26 zeigt ein Modellfoto des Demobauvorhabens *Plus-Energieverbund Reininghaus Süd*. Blau markiert ist Bauabschnitt 1 der WEGRAZ, rot markiert die Bauabschnitte 2 und 3 von Aktiv Klimahaus GmbH. Bei dem Bauvorhaben handelt es sich um ein multifunktionales Stadtquartier. In Bauabschnitt 1 befinden sich im Erdgeschoß ein Nahversorger (Sparmarkt), eine Bank, Dienstleister, 10 Wohnungen und Büroflächen. In den Obergeschossen 32 Einheiten für betreutes Wohnen. Im Bauabschnitt 2 befinden sich 162 Wohneinheiten.

Konsortialführer des Projektes ist der Bauträger Aktiv Klima Haus GmbH Graz. Die Projektleitung der wissenschaftlichen Begleitforschung wird von AEE Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC) wahrgenommen. Das Architekturbüro Nussmüller Architekten ZT GmbH ist in der Umsetzung als Generalplaner und in der wissenschaftlichen Begleitung als Partner vertreten. Das Projektteam wird vom Technischen Büro Hammer unterstützt. Die wissenschaftliche Begleitung erfolgte durch die Technische Universität Graz mit dem Institut für Wärmetechnik, der Arbeitsgruppe Nachhaltigkeitsbewertung des Instituts für Materialprüfung und Baustofftechnologie und dem Institut für Städtebau.

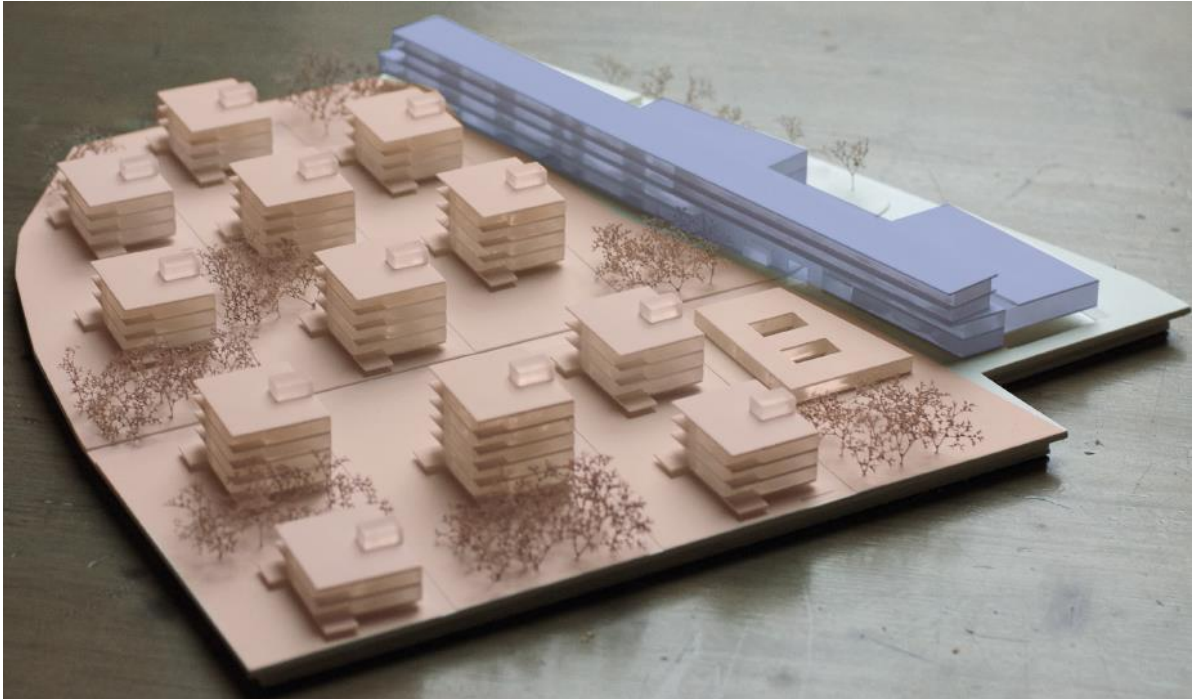


Abbildung 3-26: Modellfoto Demobauvorhaben Plusenergieverbund Reininghaus Süd [68]

Mit der Realisierung des *Plusenergieverbundes Reininghaus Süd* ist ein Demonstrationsbauvorhaben in Graz geschaffen worden, das eine wirtschaftlich umsetzbare, technisch und organisatorisch innovative Lösung für Plusenergieverbundkonzepte der Zukunft präsentiert. Der Plusenergieansatz findet dabei nicht auf Ebene des einzelnen Gebäudes, sondern innerhalb eines multifunktionalen Gebäudeverbundes statt. In einem ersten Schritt wird das einzelne Gebäude optimiert und wandelt sich vom Energieverbraucher zum Energieerzeuger, im zweiten Schritt bringen Synergien innerhalb des Gebäudeverbundes eine weitere Optimierung des Systems. Abbildung 3-27 zeigt einen Systemschnitt durch den Plusenergieverbund Reininghaus Süd.

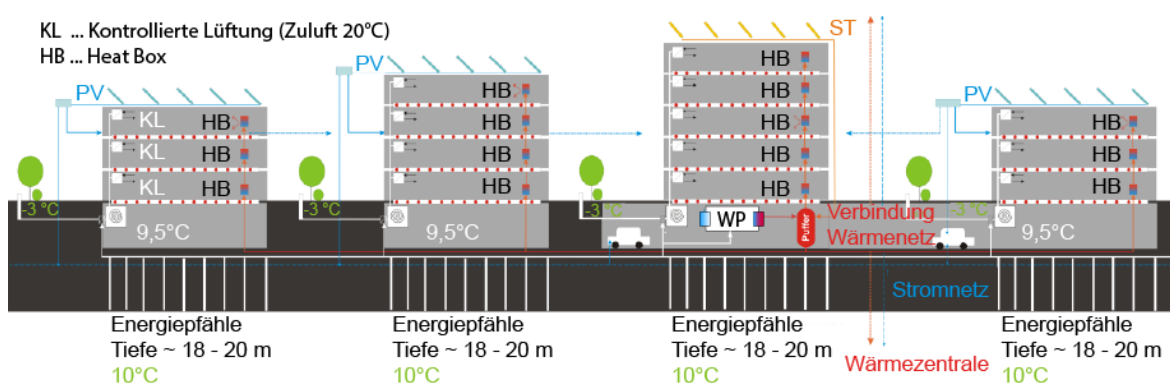


Abbildung 3-27: Systemschnitt Plusenergieverbund Reininghaus Süd [69]

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass es sich bei den im Bauabschnitt 2 und 3 errichteten Wohngebäuden um Passivhäuser in 3 bis 5 geschossiger Massivholzbauweise mit innenseitigen Lehmputz handelt. Die Gebäude wurden im Rahmen des Qualitätsmonitorings von der Arbeitsgruppe Nachhaltigkeitsbewertung des Instituts für Materialprüfung und Baustofftechnologie umfassend in der Planungs- und Errichtungsphase begleitet.

Unter Anwendung des von der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB) entwickelten Bewertungsinstruments – TQB – wurde eine Bewertung und Zertifizierung im Hinblick auf nachhaltiges Bauen durchgeführt. Dabei erreichte das Demobauvorhaben im Endzertifikat 869 von 1.000 möglichen Qualitätspunkten und bestätigt damit die erfolgreiche Umsetzung der Qualität in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung. Die erreichte Punkteanzahl und die Verleihung der damit verbundenen Qualitätsurkunde stellt eine Auszeichnung für alle Projektbeteiligten dar. Das ECR-Demobauvorhaben wurde 2013 mit dem ÖGUT-Umweltschutzpreis in der Kategorie „Stadt der Zukunft“ ausgezeichnet und 2014 für den Klimaschutzpreis des ORF nominiert. Abbildung 3-28 zeigt links oben die TQB Urkunde und rechts unten Fotos vom ersten Bauabschnitt. Basis für die erfolgreiche Realisierung dieses Bauvorhabens bildete das bereits erwähnte Konsortium und die Unterstützung der genannten FördergeberInnen.



Abbildung 3-28: Oben links TQB Urkunde (Quelle AGNHB, IMBT, TU Graz), rechts und unten: fertiges Projekt © Martin Grabner



Abbildung 3-30: Ansicht Pflegewohnheim Peter Rosegger Graz-Reininghaus © Paul Ott, Graz



Abbildung 3-31: Einschnitt Pflegewohnheim Peter Rosegger Graz-Reininghaus © Paul Ott, Graz

3.9 Stadtbaustein Kommunalen Wohnbau Hummelkaserne

Am Grund der ehemaligen Hummelkaserne, dem Stadtquartier 8 von Graz-Reininghaus, entstehen bis zum Jahr 2016 92 soziale Gemeindewohnungen in der Größenordnung von 33 bis 93m². Das Bauprojekt „Kommunalen Wohnbau Hummelkaserne“ wird gemeinsam vom Wohnungsamt der Stadt Graz und der ENW gemeinnützigen Wohnungsgesellschaft m.b.H mit Wohnbaufördermitteln des Landes Steiermark errichtet.

Die strengen Zielvorgaben für die Bauvorhaben des Stadtquartiers – Passivhausgebäudestandard und gleichzeitig „leistbarer sozialer Wohnbau“ – führten dazu, dass den 2012/2013 einstufig geladenen Generalübernehmerwettbewerb nur ein innovatives Projekt gewinnen konnte. Konzipiert wird das zukunftsweisende Bauvorhaben von sps÷architekten (Architekturbüro DI Simon Speigner) aus Thalgau bei Salzburg, einem im nachhaltigen Bauen sehr erfahrenen Architekturbüro. Sämtliche Wohnbauten dieses Projektes werden im erforderlichen Passivhausstandard und ab dem ersten Stockwerk in Holzbauweise errichtet. Bei Fertigstellung werden die sechsstöckigen Gebäude die höchsten Holzwohnbauten im Passivhausstandard in der Steiermark und Österreich sein und damit neue Maßstäbe für nachhaltige urbane Wohngebäude setzen. Abbildung 3-32 zeigt den kommunalen Wohnbau Hummelkaserne.



Abbildung 3-32: Neues Leben auf dem ehemaligen Kasernenareal, Graz-Reininghaus Stadtquartier 8 © ht-vis

Nach dem Konzept von sps÷architekten werden alle Wohnräume grundsätzlich südwestlich ausgerichtet und verfügen über großzügige Balkone und Terrassen. Durch Veränderung der flexiblen Zimmertrennwände können die Wohnungen innerhalb ihrer Grundstruktur leicht individualisiert werden. Photovoltaikanlagen, überdachte Kinderwagen- und Fahrradabstellplätze, Gemeinschaftsräume sowie Autofreiheit des Grundstückes sind weitere Charakteristika dieses innovativen urbanen Wohnprojektes.

3.10 Stadtbaustein Wohnbau Hummelkaserne Süd

Im September 2013 konnte ein weiterer zukunftsfähiger Stadtbaustein für Graz-Reininghaus initiiert werden. Die Firma Kohlbacher, Liegenschaftseigentümerin des südlichen Grundstücksteils des Stadtquartiers 8, hat in Abstimmung mit der Stadtbaudirektion Graz und den Planungsabteilungen der Stadt Graz einen geladenen Architekturwettbewerb ausgeschrieben.

Ziel der Wettbewerbsausschreibung war die Prämierung eines zukunftsweisenden Architektur-entwurfes für die Errichtung eines nachhaltigen urbanen Wohnquartieres. Auch bei diesem Wettbewerbsverfahren gewann ein im nachhaltigen Bauen sehr erfahrenes Architekturbüro. Das prämierte Siegerprojekt stammt von Nussmüller Architekten ZT GmbH, dem Generalplanerbüro des ECR-Demoprojektes *PLUS ERS – Plus Energieverbund Reininghaus Süd*.

Das Entwurfskonzept zum Stadtquartier Hummelkaserne Süd verfolgt einerseits das Ziel der Schaffung eines offenen Stadtraumes als „südliches Tor“ zum neuen Stadtteil Graz-Reininghaus und andererseits der Schaffung von qualitativ hochwertigem Wohnraum. Abbildung 3-33 zeigt die städtebauliche Konzeption der offenen urbanen Wohnbebauung.



Abbildung 3-33: „Wohnbau Hummelkaserne Süd“, Graz-Reininghaus Stadtquartier 8, oben: Ansicht Ost, unten: Ansicht West [68]

Mit dem Ziel der Errichtung nachhaltigen und leistbaren Wohnbaus wird die Firma Kohlbacher die acht jeweils fünf bis sechs Geschosse hohen Gebäude in Massiv- und Niedrigenergiebauweise errichten. Das Gesamtprojekt umfasst 148 Wohnungen in acht Baukörpern, die Gesamtinvestitionen werden mit ca. 25 Millionen Euro beziffert.

3.11 Energiebausteine

Die Reduktion des durch die Klimatisierung des Gebäudebestandes verursachten Energieverbrauches und der damit verbundenen Umweltbelastung ist ein gesellschaftliches Ziel ersten Ranges.

Das Erreichen dieses Zieles kann mit unterschiedlichsten Ansätzen verfolgt werden. Ein Ansatz auf Gebäudeebene liegt in der konsequenten Reduktion der thermischen Verluste an der Systemgrenze Gebäudehülle. Ein anderer, der technologischen Ebene zuzuordnender Ansatz baut auf die Ausweitung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger. Im Rahmen einer urbanen, auf ganze Städte gerichteten Sichtweise, steht noch ein weiterer Ansatz zu Diskussion: die Ausweitung der Betrachtungsgrenze vom Einzelgebäuden zu größeren städtebaulichen Einheiten und die damit verbundene Möglichkeit, einen Ausgleich von Energiebedarf und Energieüberschuss innerhalb der Betrachtungsgrenzen vorzunehmen. Diese Idee der energietechnischen Vernetzung innerhalb eines Betrachtungsgebietes wurde im vorliegenden Projekt als einer der grundlegenden Bearbeitungsansätze definiert (siehe Abbildung 2-8). Dieser Ansatz ist für das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus besonders interessant, weil sich das bereits bestehende Stadtgebiet und auch die in Entwicklung befindliche Nutzungsstruktur durch eine hochgradige Heterogenität auszeichnen. Die Mischung aus industrieller Nutzung, Büro- und Verwaltungsbau, gewerblicher Nutzung und Wohnbau bietet Potenzial verschiedenste energietechnische Vernetzungen einzelner Stadtteilkomponenten untereinander zu gestalten.

Im Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus wurden in der Projektlaufzeit bisher drei Vorhaben begonnen, die diesen Ansatz der energietechnischen Vernetzung umsetzen. Abbildung 3-10 zeigt die räumliche Zuordnung dieser Vorhaben unter der Bezeichnung „Energiebausteine“.

Energiebaustein 1: Energieverbund Graz-Reininghaus Süd – Quartier 9

Das am weitesten fortgeschrittene energietechnische Vernetzungsvorhaben befindet sich am südlichen Ende des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus. Im Quartier 9 wurde in den letzten Jahren der erste Bauabschnitt eines ambitionierten Wohnbauprojektes umgesetzt. Das Energiekonzept vernetzt das energietechnische Angebot aus thermischer Solarenergienutzung, Umweltwärme auf der Grundlage von Tiefensonden und der Abwärme eines Lebensmittelgroßmarktes. Zur Entwicklung und Evaluierung des Energiekonzeptes wurde das dem ECR-Leitprojekt zugehörige Forschungsprojekt *PLUS ERS – Plusenergieverbund Reininghaus Süd* ins Leben gerufen. Weiterführende Informationen dazu finden sich in Kapitel 3.7.

Energiebaustein 2: Nahwärmenetz auf der Basis industrieller Abwärme – alle Quartiere

Am östlichen Rand des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus befindet sich ein industrieller Betrieb, dessen Prozess große Mengen an Abwärme produziert. Die Abwärme hoher Temperatur wird bereits in das nahegelegene Fernwärmenetz eingespeist. Daneben existiert noch eine große Menge an Abwärme im Temperaturniveau bis ca. 32°C, die zurzeit ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Eine Nutzung dieser Abwärme als Wärmequelle einer industriellen Großwärmepumpe und die Verteilung über ein lokales Nahwärmenetz (Vorlauftemperatur 68 °C) wird zurzeit vom vor Ort zuständigen Energieversorger umgesetzt. Weiterführende Informationen dazu finden sich in Kapitel 5.

Energiebaustein 3: Reininghaus goes Smart – Quartier 1, 4a und 5

Im Nord-Osten des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus wird zurzeit ein Stadtgebiet entwickelt, das die Quartiere 1, 4a und 5 umfasst. Nach Durchführung der Architekturwettbewerbe und damit einhergehender Festlegung der Massen- und Nutzungsverteilung wird zurzeit das entsprechende Energiekonzept entwickelt. Die Vorgabe des Investors verlangt ein „nachhaltiges und smartes Energiemanagement“. Das Energiekonzept beinhaltet die Nutzung der beiden bestehenden und genehmigten Brunnenanlagen mittels Wärmepumpen. Weiters wird die Abwärme des Abwassers des benachbarten Industriebetriebes zur Beheizung bzw. Warmwasserbereitung für das Quartier 5 verwendet. Nutzbare Dach- und Fassadenflächen werden mit Photovoltaik-elementen besetzt, die zur Stromversorgung der eingesetzten Wärmepumpen bzw. Allgemein-anlagen dienen. Die Spitzenlastabdeckung wird aus den öffentlichen Netzen lukriert. Im Kellerbereich der neu zu errichtenden Tiefgarage wird für die Quartiere Q1-Q4 eine neue Energie-zentrale errichtet. Von dort aus werden die einzelnen Objekte über Energiegänge in der Tiefgarage mit Heizwasser bzw. Kühlwasser versorgt [71]. Das vorliegende Energiekonzept verfolgt somit eine Kombination aus Nutzung der Potenziale der naheliegenden Industriebetriebe, Nutzung von Umweltwärme, sowie Produktion elektrischen Stroms über lokal positionierte photovoltaische Großanlagen. Da sämtliche Energieströme über zentral positionierte Energiezentralen geführt werden, ist die Frage der optimalen Betriebsführung dieses komplexen Systems Gegenstand zurzeit bearbeiteter Einreichungen in Programmlinien der Forschungsförderung.

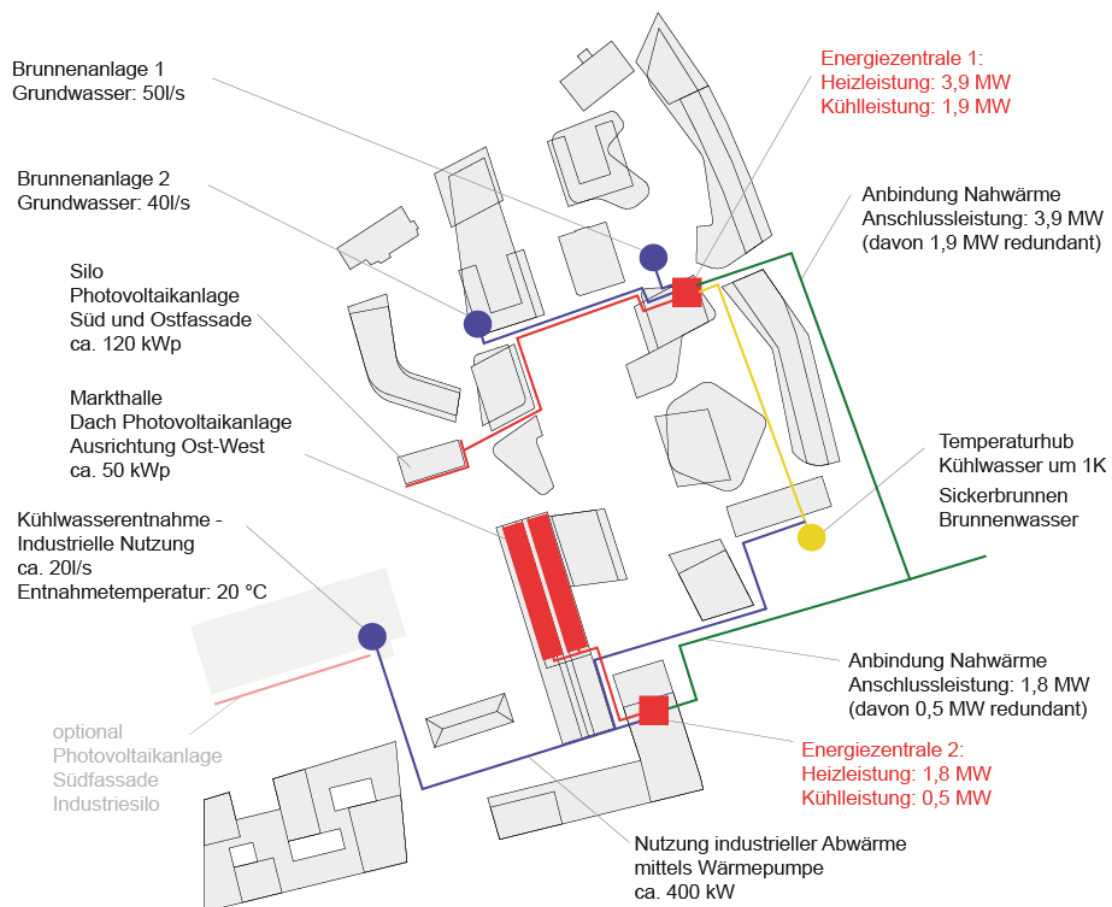


Abbildung 3-10: Energiekonzept der Quartiere 1, 4a und 5, Quelle: [71]

Erfolgsstrategie: Schritt für Schritt die Bauträger einbinden

Es hat sich gezeigt, dass aufgrund der in der Steiermark geltenden Wohnbauförderrichtlinien der Wohnbau gegenüber anderen Bundesländern im Energieeffizienz- und Nachhaltigkeitsbereich auf einem sehr hohen Standard ist.

Der Stadtentwicklungsprozess von Graz-Reininghaus ist gekennzeichnet davon, dass sich die betroffenen Grundstücke weitgehend nicht im Eigentum der Stadt Graz oder des Landes Steiermark befinden. Die Grundstücke befinden sich im Besitz von privaten Investoren und öffentlichen Wohnbauträgern (siehe auch Kapitel 3.1, Abbildung 3-2 rechts oben). Aufgrund dieser Tatsache hat die Stadt Graz den Weg des permanenten Abstimmungsprozesses mit Investoren und Bauträgern gewählt. Die Bauträger sind generell an der energetischen und nachhaltigen Optimierung Ihrer Bauprojekte interessiert, haben aufgrund der sehr hohen Grundstückspreise im Stadtgebiet von Graz (und somit auch in Graz-Reininghaus) jedoch massive Kostenrisiken zu tragen.

Umso erfreulicher ist es, dass es der Stadtbaudirektion Graz und den beteiligten Planungsabteilungen gelungen ist die vorgeschlagenen Gebäudekriterien des *ECR Rahmenplanes Energie* (mind. Niedrigstenergiebauweise oder Passivhausstandard) mit allen betroffenen Bauträgern und Investoren über die Bebauungsplanung privatrechtlich zu verankern. Bis jetzt konnten alle laufenden Bauvorhaben auf die Empfehlungen des *ECR Rahmenplanes Energie* abgestimmt werden. Abbildung 3-34 zeigt die von der Stadtbaudirektion Graz abgestimmten Stadtbausteine.

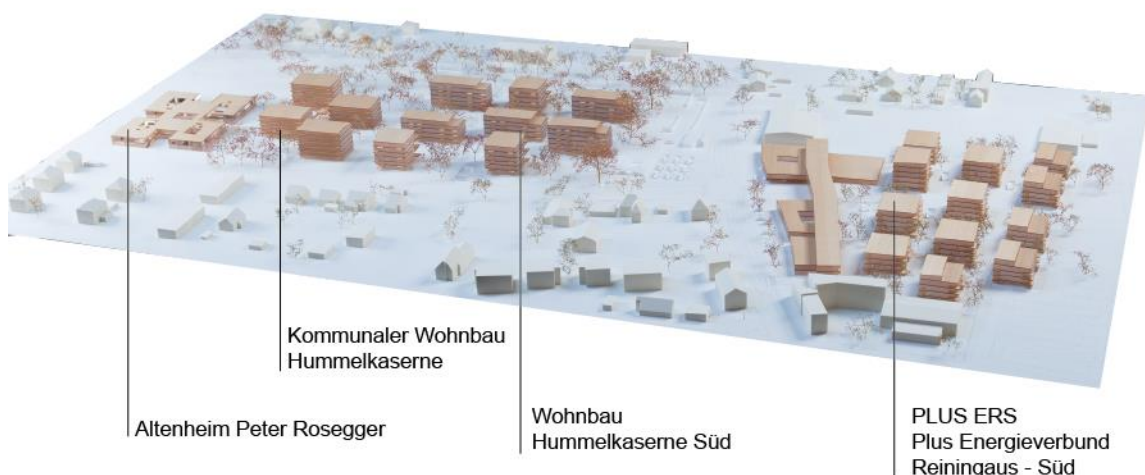


Abbildung 3-34: „Stadtbausteine 1 bis 4“, Graz-Reininghaus Stadtquartier 8 und 9 [68]

Nicht die starre Vorgabe von sogenannten „verbindlichen und rechtlich nicht durchsetzbaren Zielwerten“ führte zum Erfolg, sondern die kooperative Vorgangsweise der Stadtbaudirektion und der betroffenen Bauträger. Es zeigte sich, dass die laufende Beratung der Bauträger durch die Stadtbaudirektion und das ECR-Team zu größeren Erfolgen führt als die Vorgabe von starren Zielwerten. Dazu am meisten beigetragen hat auf jeden Fall die erfolgreiche Realisierung des ECR-Demobauvorhabens *PLUS ERS – Plusenergieverbund Reininghaus Süd*. Die Strahlkraft dieses Projektes motivierte die weiteren Bauträger, ähnliche Schritte für die nachhaltige Entwicklung von Graz-Reininghaus zu setzen. Als größten Erfolg kann die Einbindung des Hauptinvestors von Graz Reininghaus, des Investors der Stadtquartiere Q1 und Q4 (Reininghaus Alt), in den *Rahmenplan Energie Graz-Reininghaus* genannt werden.

4 Stadtklimatologische Untersuchungen

Graz liegt eingebettet am Randgebirgsfuß zum südöstlichen Alpenvorland in einer Talausgangslage und besitzt im Norden des Grazer Feldes eine asymmetrische Form. Das Becken wird durch den Plabutsch-Buchkogelzug im Westen und das tertiäre Riedelland im Osten begrenzt. Durch die abschirmende Wirkung der Alpen aus Westen und Norden treten atlantische Störungseinflüsse abgeschwächt auf als im nördlichen Alpenvorland, womit das Grazer Klima im Vergleich zu Städten nördlich des Alpenhauptkammes kontinentalere Züge aufweist. Dies zeigt sich vor allem bei der Temperatur und beim Niederschlag durch stärkere jahreszeitliche Gegensätze, aber auch bei der Durchlüftung der Stadt [72]. Die jährliche Durchschnittstemperatur von Graz liegt an der Station Graz-Universität (Periode 1971-2000) bei 9,4°C, wobei an 6,5 Tagen ein Temperaturmaximum von $\geq 30,0^\circ\text{C}$ („heiße Tage“) erreicht wird und 19,8 „Eistage“ auftreten. Mit 199,6 Heiztagen, an denen das Temperaturtagesmittel unter 12°C liegt und geheizt werden muss, zeigt sich bereits die Notwendigkeit einer nachhaltigen Stadtplanung. Die Niederschläge erreichen im Sommer ihr Maximum, wobei der mittlere jährliche Niederschlag in der Periode von 1971 bis 2000 bei rund 820 mm liegt. Die Windgeschwindigkeiten sind mit 1,4 m/s im Jahresmittel relativ gering, was eine schlechte Durchlüftung der Stadt zur Folge hat [73]. Die Windverhältnisse in der Stadt Graz sind von Hang- und Talwindssystemen, Flurwinden, dem Antgebirgsrandwind und vor allem vom mächtigen Murtalaus- bzw. Murtaleinwind geprägt. Letzterer ist für die Schadstoffausbreitung bzw. für die Lufthygiene der Stadt von besonderer Bedeutung [72].

4.1 Datenlage und Methodik

Bezüglich der Datenlage ist das Stadtentwicklungskonzept (STEK) Graz die wichtigste Ressource. In dieser sind seit 1994 die Stadtklimaanalysen integriert, die von Lazar et al. erstellt wurden [72]. Im Zuge dessen wurden mehrere Messkampagnen, Befliegungen und die Errichtung von Sondermessstationen durchgeführt. Die Stadtklimaanalysen werden nachfolgend genauer beschrieben.

Im Rahmen der Stadtklimaanalysen von 1986, 1996, 2004 und 2011 wurden mehrere Befliegungen durchgeführt und auf deren Basis Versiegelungskarten erstellt. Darüber hinaus gab es mehrere begleitende klimatische Messkampagnen, die ebenfalls als Grundlage für Temperatur- und Klimatopkarten sowie die Karten der planerischen Hinweise dienten. Es folgt ein Überblick, dessen Daten und Angaben aus *Stadtklimaanalysen* [74] stammen.

Die Anfänge städteklimateischer Untersuchungen wurden bereits 1974 gemacht, als erstmals Klimasonderstationen errichtet wurden; in dieser Zeit (1977) fand auch die erste Thermalbefliegung statt. Im Jahr 1983 konnte die Universität Graz eine Fesselballonsonde anschaffen, mit der erstmals auch vertikale Aufstiege realisiert werden konnten. Im Jahr 1986 gab es dann neuerliche Befliegungen, die dann in der 1994 erschienenen Stadtklimaanalyse [72] analysiert und ausgewertet wurden. Wichtige Ergebnisse waren damals die Klimatopkarte sowie die Karte der planerischen Hinweise, die auch im Stadtentwicklungskonzept und dem Flächenwidmungsplan berücksichtigt wurden. In den folgenden Jahren gab es immer wieder Befliegungen und Aktualisierungen der Stadtklimaanalysen, bis im Jahr 2011 die bis dato letzte erschien.

Daneben gab es noch mehrere wissenschaftliche Arbeiten zum Thema von Graz-Reininghaus (vgl. z.B. [75] sowie [76]), wo teils auf bestehende Messnetze zurückgegriffen wurde, aber auch eigene Erhebungen durchgeführt wurden.

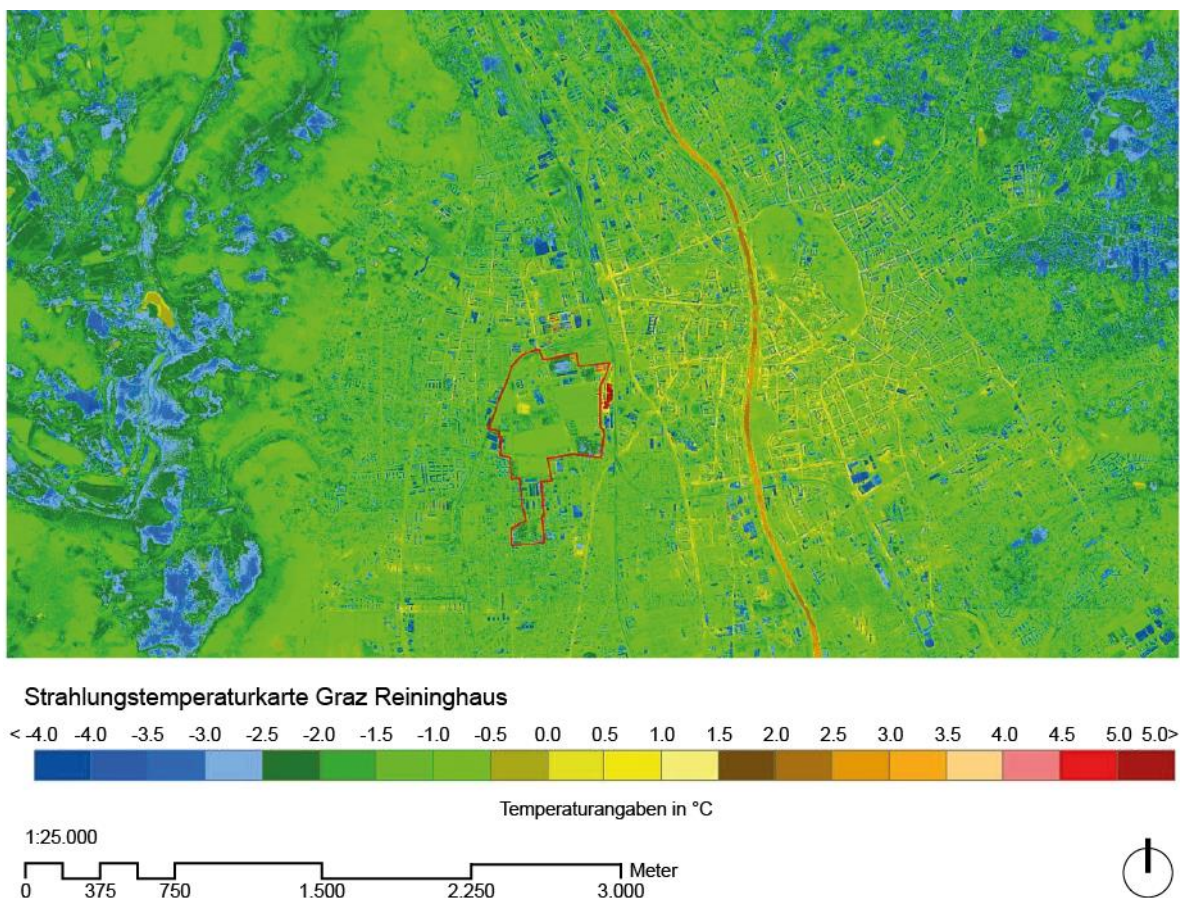
4.2 Beurteilung des Oberflächentemperaturverhaltens

Es ist evident, dass nach einer Bebauung von Graz-Reininghaus eine thermische Erhöhung der nächtlichen Temperaturen eintreten wird – im Sinne des Effektes einer städtischen Wärmeinsel. Diese wird wesentlich davon abhängen, wie umfangreich die Bebauungsdichte bzw. die verbleibenden restlichen Grünflächen sein werden. Ziel dieses Projektberichtes ist es, mit den zur Verfügung stehenden methodischen Möglichkeiten das Ausmaß dieser Erwärmung abzuschätzen.

Was die Temperaturen tagsüber anbelangt, darf erwartet werden, dass durch die Beschattung der höheren Gebäude einerseits größere Kontraste innerhalb der Quartiere (speziell in den windgeschützten Abschnitten und Innenhöfen) eintreten werden. Andererseits werden die Lufttemperaturen sehr stark vom Taleinwind aus südöstlicher Richtung gesteuert, so dass die Differenzen zum gegenwärtigen Stand gering bleiben dürften, falls die Grünraumverteilung optimal genutzt wird.

Ergebnisse der Thermalkartierung aus dem Jahr 2011

Die neueste Befliegung vom 20. Dezember 2011 in Abbildung 4-1 zeigt ebenfalls ein besonders gutes Bild der Temperatursituation im Untersuchungsraum. Daneben werden die leichten baulichen Veränderungen im engeren Untersuchungsraum im Vergleich zu 1986 sowie die Überwärmung der Innenstadt gut ersichtlich.



Für einen Vergleich wurde die Hochhaussiedlung *Grünanger* in der Kasernstraße herangezogen, zumal es 1986 noch keine sinnvolle Alternative gegeben hätte. Weiters wurden die einzelnen Quartiere passend zur Anordnung der Baukörperstrukturen gewählt, welche einerseits Hochhäuser und andererseits eine offene Blockbebauung darstellen. Die Auflösung beträgt 2,5 m, wobei der Kanal im Infrarotbereich von 3,7 bis 4,8 μm liegt.

Der Vergleich zeigt nun, dass die verbleibenden Flächen innerhalb der Baukörper merklich höhere Strahlungstemperaturen aufweisen als in der „freien“ Wiese von Graz-Reininghaus. Dabei muss aber beachtet werden, dass auch innerhalb der Freiflächen Unterschiede zwischen den kalten offenen und recht trockenen Ackerböden sowie den Wiesen zu finden sind. Die niedrigsten Werte erreichen etwa $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, die Wiesen $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, während die Wiesenflächen in den Innenhöfen wegen der Abschirmung und der Rückstrahlung durch die Gebäude eine Spannweite von $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufweisen.

Eine relativ hohe Oberflächentemperatur wurde für den östlichen Innenhof bei der Linse (ca. $-1,5^{\circ}$) ausgewiesen, der jedoch dann bei Umsetzung des Vorschlages mit einer Dachbegrünung (es handelt sich um eine eingeschossige Bebauung; Bauten mit bis zu 5 Geschossen sollten begrünte Dachflächen haben) wieder eine merklich tiefere Temperatur aufweist. Entlang von einigen Hochhäusern in der Grünangersiedlung fallen ebenfalls warme, schmale Streifen auf, was auf versiegelte Gehsteig- und Autoparkflächen zurückzuführen ist.

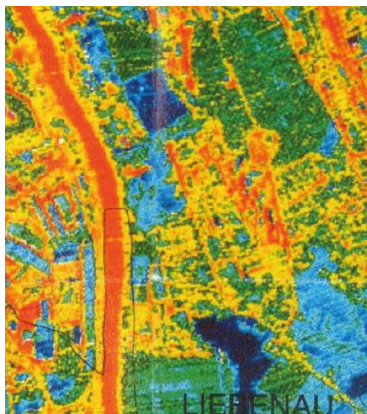
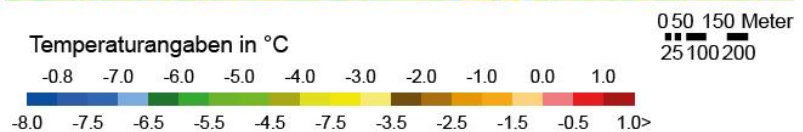


Abbildung 4-2:

Links Thermalbefliegung von 1986 der Hochhaussiedlung Grünanger [72]

Rechts: Thermalbefliegung aus dem Jahr 2011 mit Ausschnitt von Graz-Reininghaus [74]



4.3 Beurteilung der neu gewonnenen Daten aus dem Vertikalprofil

Im Zuge der klimatischen Analyse von Graz-Reininghaus wurde auch eine Studie zu den Ausbreitungsklassen gemacht [76], um die Qualität der Luft analysieren zu können. Ausbreitungsklassen dienen einer Klassifizierung der Atmosphäre in Schichtungszustände (thermisch labile, indifferente oder stabile Schichtung). Diese Klassifizierung wird aus meteorologischen Daten (z.B. Windgeschwindigkeit und Bedeckungsgrad) und astronomischen Daten (Tages- und Jahreszeit) bestimmt. Die Ausbreitungsklassen dienen als Grundlage zur Bestimmung der Ausbreitung von Luftschadstoffen [78].

In Abbildung 4-3 ist diese Auswertung der Ausbreitungsklassen für die Monate Mai bis Oktober 2012 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass in fast jedem Monat die (leicht) labilen Bedingungen dominieren und an über 50% der Zeitpunkte im Untersuchungszeitraum vorherrschend waren. Die Ausbreitungsbedingungen sind also größtenteils gut, wobei der Anteil der (leicht bis stark) stabilen Bedingungen in den Wintermonaten prinzipiell stark zunimmt; das Maximum wird im Februar erreicht [76]. Aus diesem Grund werden die Grenzwerte der Luftschadstoffe (vor allem PM₁₀) meistens im Winter überschritten.

Diese Ausbreitungsklassen wurden noch an 3 anderen Standorten in und um Graz erstellt (Kärntnerstraße, Schlossberg, Plabutsch), und wie nicht anders zu erwarten war, nimmt die Zahl der Tage mit (leicht) labilen Bedingungen ab, je höher die Station liegt; am Plabutsch machen die (leicht) labilen Bedingungen nur noch einen Anteil von durchschnittlich rund 30% aus und die leicht labilen übertreffen die labilen bei Weitem.

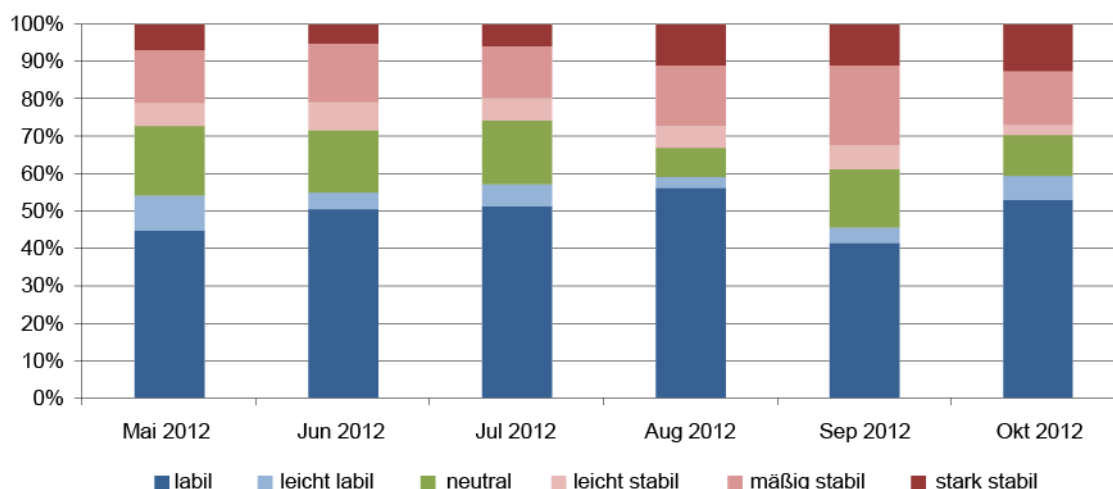


Abbildung 4-3: Anteil der Ausbreitungsklassen nach Monaten an der Station Graz / Mälzerei.
[76] Datenquelle: [79]

Abbildung 4-4 (oberes Bild) zeigt die Windverhältnisse während der Nachtstunden verschiedener Stationen im Südwesten bzw. Westen von Graz. Die Hauptwindrichtungen sind dabei N bzw. NNW sowie S, was auch dem allgemeinen Strömungsfeld in Graz entspricht; kleine Abweichungen sind dabei der Bebauung zuzurechnen. Die Windrichtungsverteilung in der Nacht (Abbildung 6-5, oberes Bild) tendiert an der Station Mälzerei in eine Nordwestliche-Richtung. Hier herrschen Windstärken der Klasse >2-4 vor und Kalmen treten mit einer Häufigkeit von 12% und Windstärken über 4 m/s mit 15,7 % auf, wobei diese stark zu einer NW-Richtung tendieren.

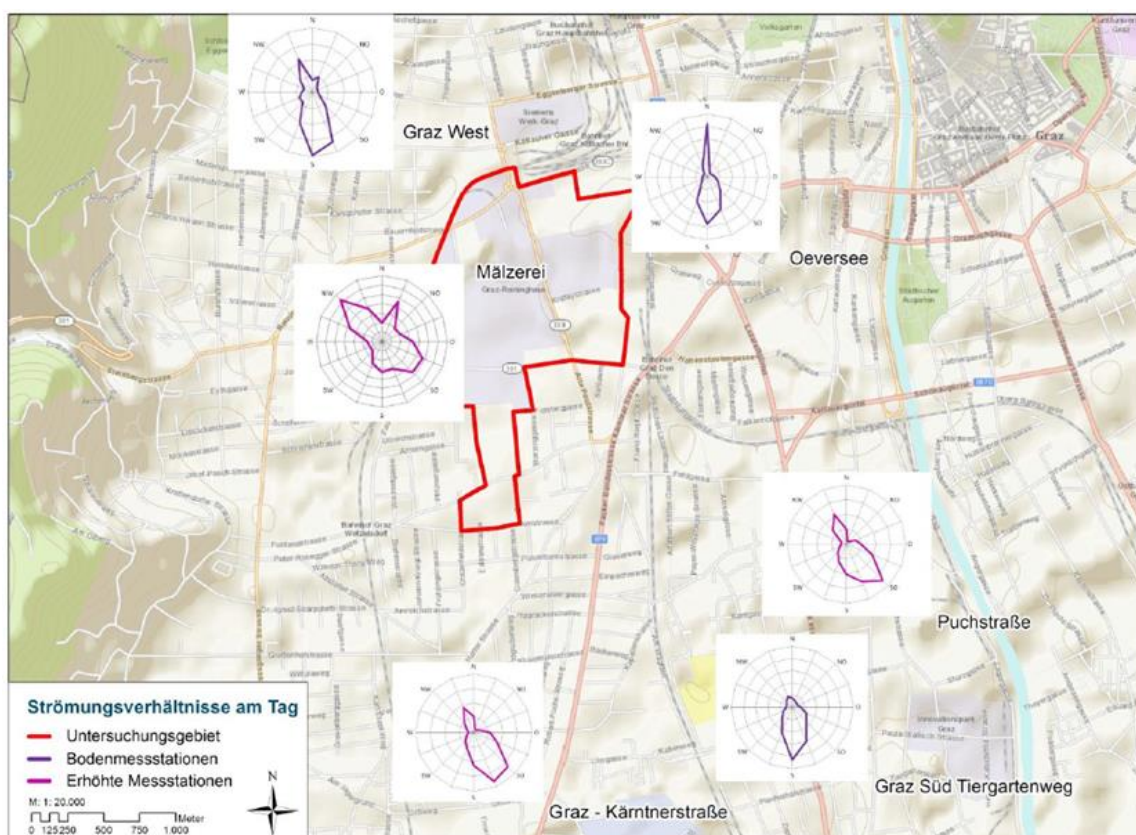
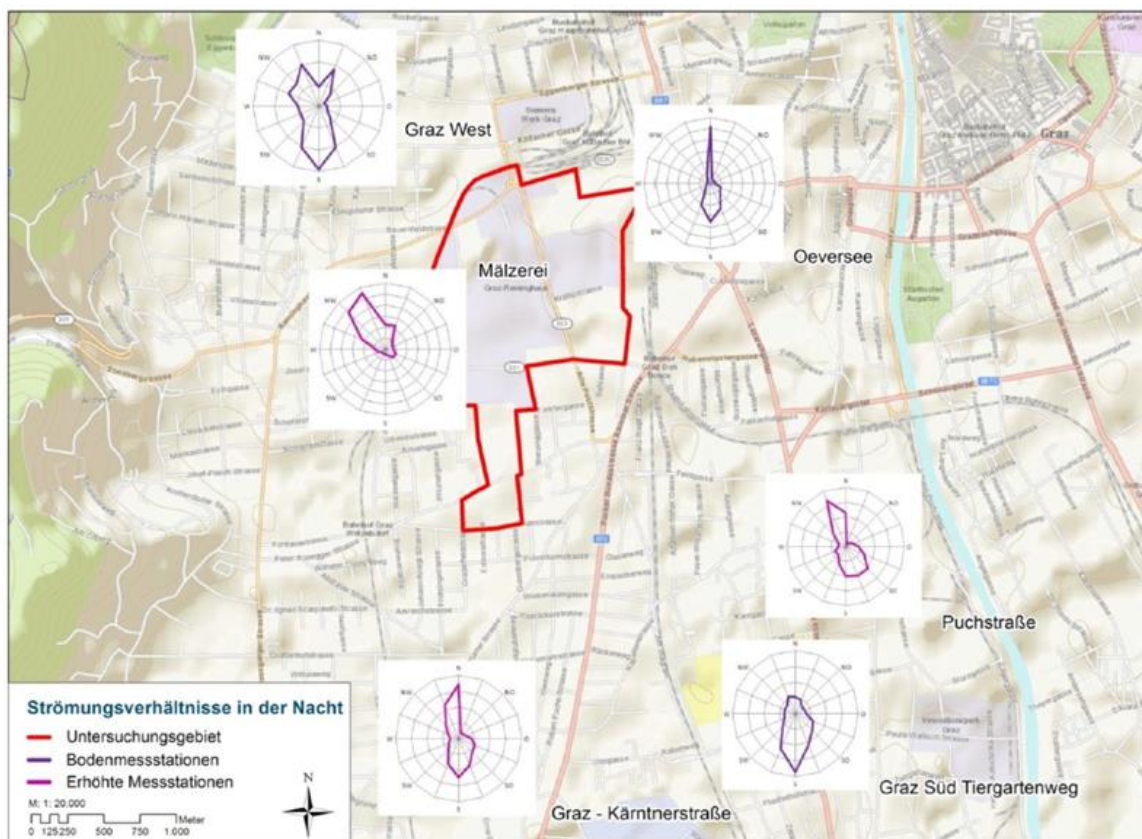


Abbildung 4-4: Windrichtungsverteilung mehrerer Stationen in der Nacht (18-06 Uhr) (oberes Bild) und am Tag (unteres Bild) in Graz aus 2011 (bzw. von 20.4.2012 bis 16.08.2012 im Falle der Station Mälzerei) [75] Datengrundlage: [80].

An der Station Mälzerei überwiegen am Tag ebenso wie in der Nacht Winde der Klasse >2 bis 4 m/s (Abbildung 4-5) und weisen ebenso deutliche Nordwestpräferenzen auf. Winde aus Nordnordwest treten hingegen nicht so häufig, nur zu 7,4% (Nacht 22 %) auf. Kalmen treten etwas häufiger auf und haben auch am Tag eine wesentliche Tendenz zu nordnordöstlicher Richtung. Winde aus Südost und Ostsüdost, welche in der Nacht kaum vorkommen, haben am Tag eine stärkere Bedeutung. Die Windrichtungsverteilung am Tag zeigt ein ähnliches Bild wie in der Nacht, auch hier sind Strömungen aus N bzw. NNW sowie S bzw. SSO vorherrschend. Der kurze Zeitraum der Datenerfassung im Falle der Mälzerei ist hier wohl hauptverantwortlich für die Unregelmäßigkeit der Windrichtungsverteilung.

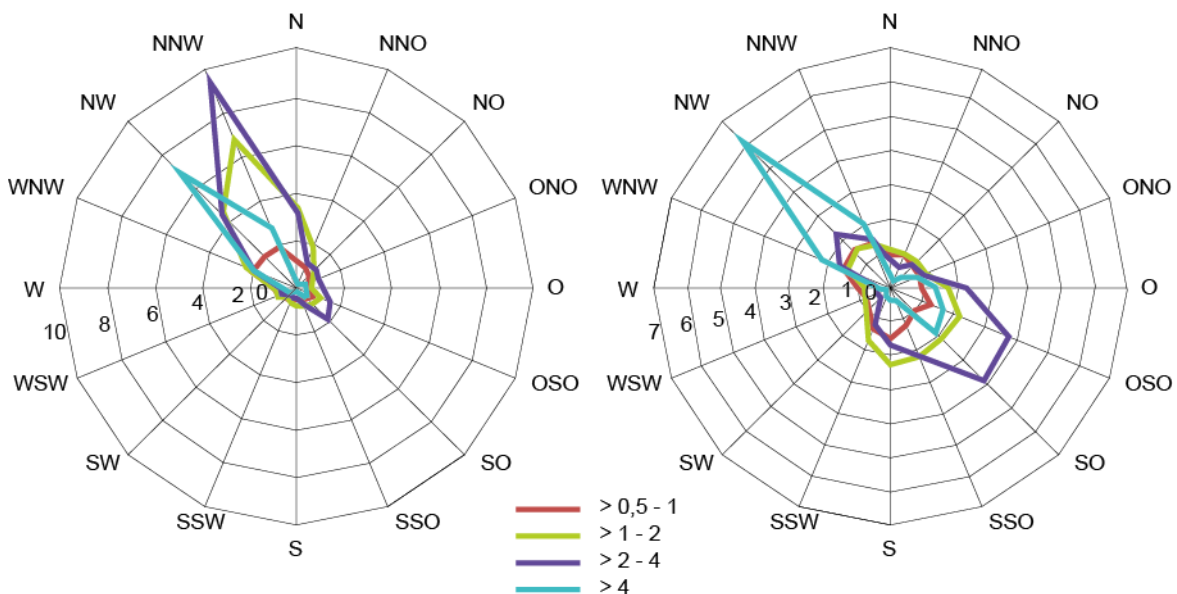


Abbildung 4-5: Windrichtungsverteilung der Station Mälzerei in der Nacht (linkes Bild) und am Tag (rechtes Bild) nach Windklassen von 20.4.2012 bis 16.08.2012 [75] Datengrundlage: [80]

4.4 Strömungstechnische Beurteilung von Querbauwerken

Im Rahmen stadtklimatischer Untersuchungen wurde u.a. eine Strömungsanalyse des Windes im Gebiet von Graz-Reininghaus durchgeführt. Die Messstation wurde am Dach der Mälzerei im Westen des Gebietes in einer Höhe von 66 m ü.G. angebracht und darunter im Abstand von 10 m das Strömungsfeld simuliert. Zur Gewinnung der Winddaten für die Strömungssimulation wurde eine Messung am Dach der Mälzerei durchgeführt.

Die folgenden Abbildungen beschreiben die Strömungssituation in 10, 30 und 60 m ü.G. des Siegerprojektes. In niedrigen Höhen spielt die Bebauung die größte Rolle, die Windgeschwindigkeiten erreichen hier nur knapp 1 m/s und die Kalmenhäufigkeit ist sehr hoch. Ab etwa 30 m ü.G. sind großflächige Gebiete im Westen und Osten bereits fast störungsfrei und nur mehr hohe Gebäude wie die Mälzerei beeinflussen die Durchlüftung. Es bildet sich auch ein Korridor in W-E-Richtung aus. In 60 m über Grund spielt die Bebauung kaum noch eine Rolle, und es werden durchschnittliche Geschwindigkeiten von 2 m/s erreicht. Die Hauptwindrichtung ist allgemein 315°. Sämtliche Daten und Abbildungen stammen aus [81]. Die Farbgebung steht in den einzelnen Abbildungen für jeweils unterschiedliche Windgeschwindigkeiten, wobei Blau immer für 0 m/s steht.

Das Siegerprojekt erreicht also sogar in niedrigen Höhen eine vergleichsweise gute Durchlüftung auch innerhalb des Gebietes, wobei im SE aufgrund der Positionierung der Gebäude eine noch bessere Durchlüftung verhindert wird. Dies kann man gut an der blauen Zone im SE in Abbildung 4-6 erkennen.

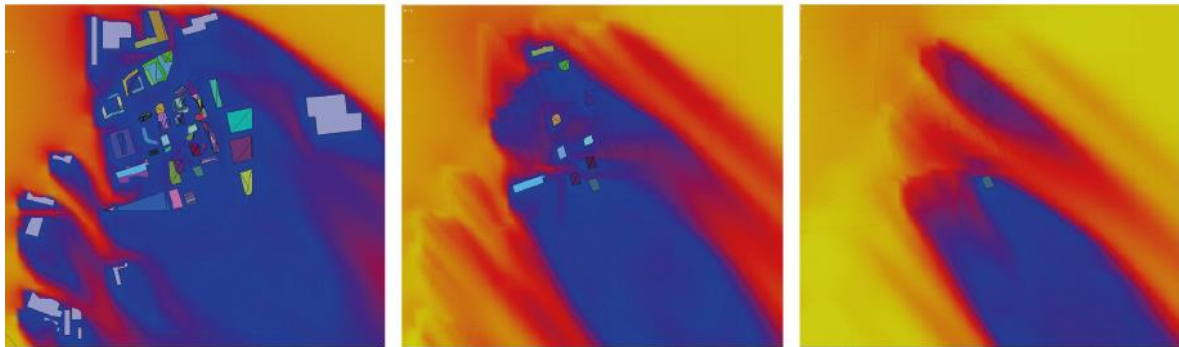


Abbildung 4-6:
links: Strömungsverhältnisse in einer Höhe von 10 m ü.G. Blau: 0m/s; Rot: 0,5 m/s. Gelb: 1 m/s.
mitte: Strömungsverhältnisse in einer Höhe von 30 m ü.G. Blau: 0m/s; Rot: 0,8 m/s. Gelb: 1,7 m/s.
rechts: Strömungsverhältnisse in einer Höhe von 60 m ü.G. Blau: 0m/s; Rot: 1 m/s. Gelb: 2 m/s.
[81]

4.5 Immissionstechnische Beurteilung

Hinsichtlich der Luftschadstoffe wurden in der Studie von [76] die Werte der NO_x - (Stickoxide) und PM_{10} -Konzentrationen (Feinstaub) betrachtet. Als Stationen wurden die in unmittelbarer Umgebung zu Graz-Reininghaus liegenden Luftgütemessstationen Graz-West sowie Don Bosco ausgewählt. Die Daten stammen aus [79].

PM_{10} -

Die Konzentrationen des Feinstaubes (PM_{10}) sind in den letzten Jahren zurückgegangen, was aus der Abbildung 4-7 gut erkennbar ist. Auch der deutliche Jahresgang mit Wintermaximum und Sommerminimum ist gut ersichtlich und wird in der Folge noch genauer betrachtet. Die Gründe für den Rückgang in den letzten Jahren liegen einerseits in den besseren Ausbreitungsbedingungen der Schadstoffe und andererseits vor allem in der geringeren Aufwirbelung von Straßenstaub.

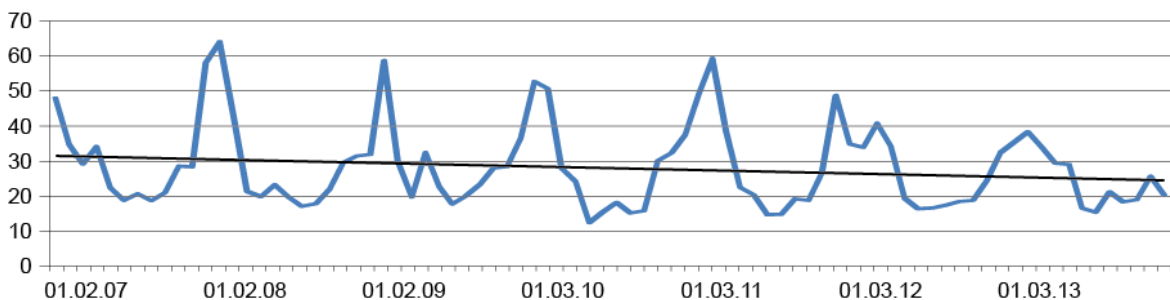


Abbildung 4-7: Konzentration des Feinstaubes (PM_{10}) an der Station Graz-West als Monatsmittel der Jahre 2007-2013 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [76] Datenquelle: [79]

Die folgende Abbildung 4-8 zeigt die beiden Jahresgänge der PM₁₀-Werte aus 2012 und 2013 an der Station Graz-West. Der Grenzwert von 50 µg/m³ wurde demnach fast ausschließlich in den Wintermonaten überschritten, was vor allem an Hausbrand und der durchschnittlich etwas stabileren Luftschichtung liegt. Spitzenwerte werden auch regelmäßig am 1.1. eines Jahres erreicht, hervorgerufen durch die Feuerwerksraketen der Neujahrsfeierlichkeiten.

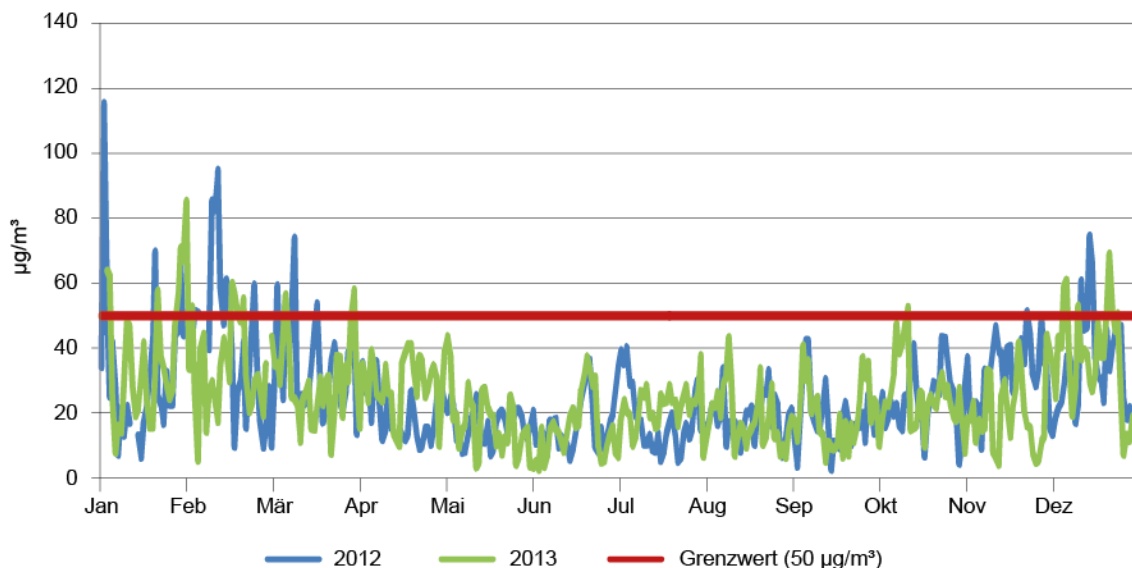


Abbildung 4-8: Jahresgänge der Feinstaubkonzentrationen von 2012 und 2013 an der Station Graz-West in µg/m³ [76] Datenquelle: [79].

Die folgende Abbildung 4-9 zeigt die Häufigkeiten der Grenzwertüberschreitungen nach Monaten und Jahren im Zeitraum von 2007-2013. Dabei bestätigen sich die oben getätigten Aussagen: die Anzahl der Überschreitungen des Grenzwertes pro Monat und Jahr gehen deutlich zurück, und das Maximum liegt in den Wintermonaten. Die Station Don Bosco weist ein sehr ähnliches Bild auf, wobei an dieser Station der Rückgang der Überschreitungstage deutlich schwächer ausgeprägt ist (Abbildung 4-10).

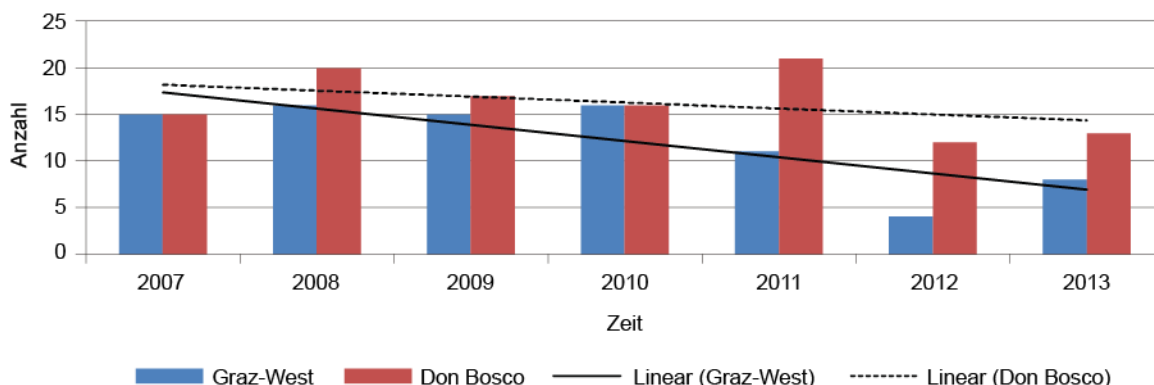


Abbildung 4-9: Vergleich der Tage mit Überschreitungen des Grenzwertes der PM₁₀-Konzentrationen von 50 µg/m³ zwischen den Stationen Graz-West und Don Bosco mit linearen Trends [76] Datenquelle: [79].

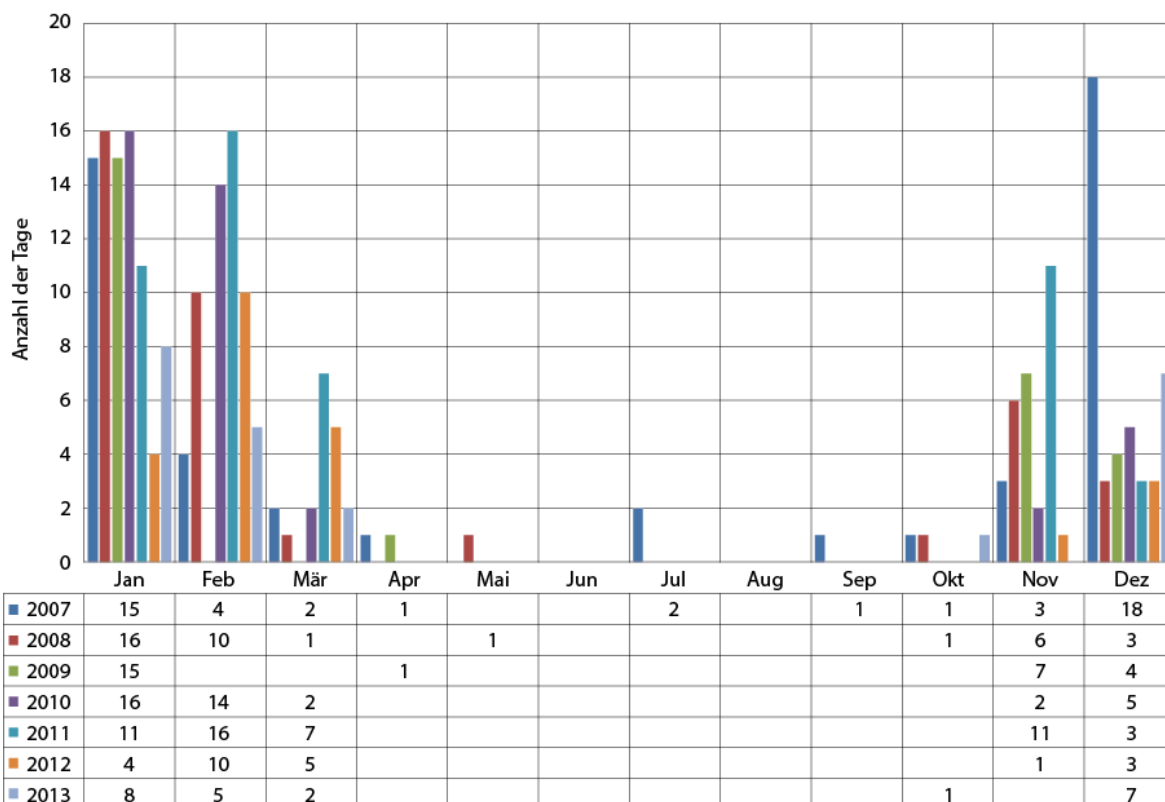


Abbildung 4-10: Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Grenzwertes der PM10-Konzentrationen von 50 µg/m³ an der Station Graz-West im Zeitraum von 2007-2013 [76]
Datenquelle: [79]

NO_x

Unter der Bezeichnung NO_x sind in dieser Untersuchung NO (Stickstoffmonoxid) und NO₂ (Stickstoffdioxid) zusammengefasst. Der Hauptverursacher von NO_x ist der Verkehr, der Konzentrations-schwerpunkt befindet sich somit entlang von Straßen [82]. Die Abbildung 4-11 zeigt die Verursacher der NO_x-Konzentration an der Station Don Bosco, wobei beinahe die Hälfte der Konzentration auf LKWs und Busse zurückzuführen ist. Daneben ist mit 38% der PKW-Verkehr der Hauptverursacher, andere Quellen wie Gewerbe und Hausbrand spielen nur eine untergeordnete Rolle.

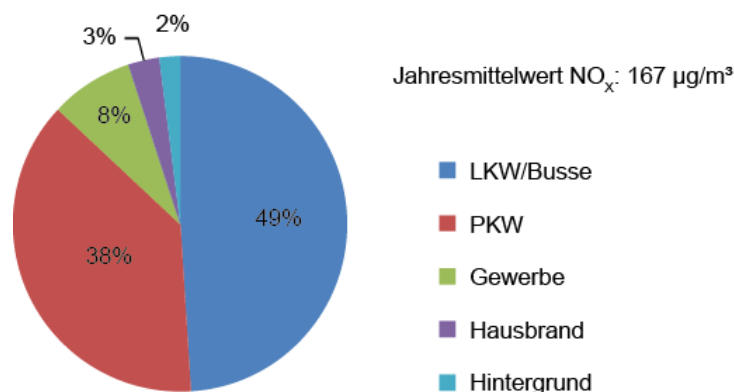


Abbildung 4-11: NO_x-Quellbeiträge an der Messstation Don Bosco für das Jahr 2006 im Jahresmittel in [%] [76] Datenquelle: [82].

5 Modellierung des Bedarfs an und der Versorgung mit Wärme und elektrischem Strom

Das Forschungsprojekt *Rahmenplan Energie ECR* entwickelt und bewertet im Vorfeld der Realentwicklung unterschiedlichste Entwicklungsszenarien zur zukünftigen Energieversorgung des Stadtareals Graz Reininghaus. Die im Rahmen einer Energieversorgung zu erfüllenden nachgefragten Energiedienstleistungen werden ursächlich durch die lokal vorherrschenden klimatischen Bedingungen beeinflusst. Solare Strahlung, Außenlufttemperatur und Luftfeuchtigkeit sowie Bodentemperaturen bilden dabei die Rahmenbedingungen unter denen jede Dienstleistung zu erbringen ist. Die Energieversorgung wird zudem durch die Eigenschaften der zu versorgenden Bebauungs- und Infrastruktur sowie durch die Anforderungen der beinhalteten Nutzung bestimmt. Unterschiedliche Nutzungen haben unterschiedliche Anforderungen an die Konditionierung der Innenraumtemperaturen, an die Bereitstellung von Brauchwarmwasser und an die Versorgung mit elektrischem Strom. Eine Untersuchung der aufzuwendenden thermischen und elektrischen Energie kann demnach nur unter der Einbeziehung dieser Rahmenbedingungen durchgeführt werden. Abbildung 5-1 zeigt entsprechend dazu die Erbringung energietechnischer Dienstleistungen im Spannungsfeld dieser Rahmenbedingungen. Gegenstand der Untersuchung ist die in diesem Spannungsfeld zu erbringende Dienstleistung, die in die thermische und die elektrische Komponente unterteilt werden kann. In der Betrachtung dieser Dienstleistungen in einem Analysegebiet stehen sich der jeweilige Bedarf und der mögliche Ertrag gegenüber. Das Verhältnis von Bedarf und Ertrag wiederum bestimmt über den zu erreichenden Grad an Autonomie.

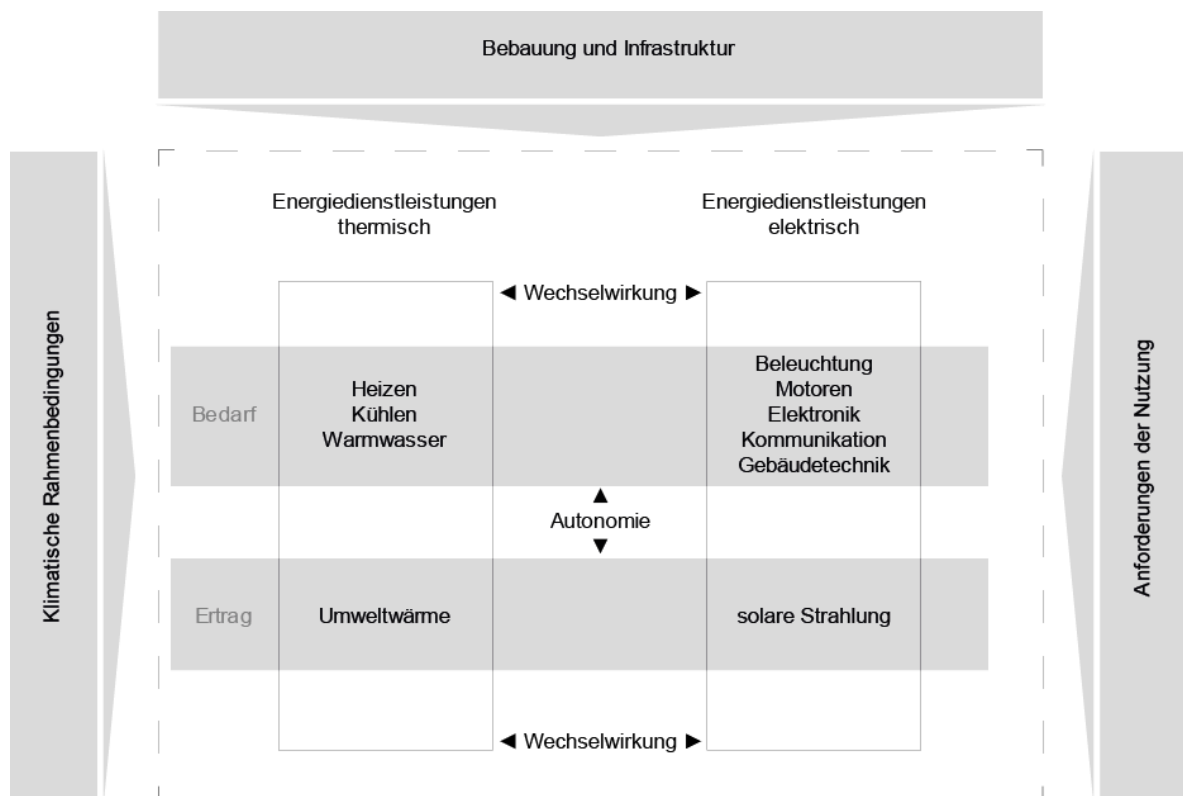


Abbildung 5-1: Spannungsfeld der Bewertung von Energiedienstleistungen im Analyse-Gebiet

Um die geforderten Dienstleistungen erfüllen zu können, greifen thermische und elektrische Energiesysteme ineinander und stehen dabei in ständiger Wechselwirkung zueinander. Die Aggregation des thermischen Teilsystems ist dabei ohne die Berücksichtigung des elektrischen Systems nicht aussagekräftig und umgekehrt. Gleichlaufend zu der Verschränkung der thermischen mit den elektrischen Komponenten im Realsystem müssen auch die dazugehörigen Bewertungsmethoden dieser Verschränkung Rechnung tragen. Im vorliegenden Projekt erfolgte dies durch einen schrittweisen, zwischen elektrischer und thermischer Modellierung wechselnden Bearbeitungsprozess:

Bearbeitungsprozess

In **Schritt (1)** wurden die durch die Nutzung angeforderten elektrischen Dienstleistungen, die nicht Klimatisierung und Brauchwarmwasser betreffen, analysiert und für jede Nutzung in Form eines spezifischen elektrischen Jahreslastgangs je Quadratmeter Nutzfläche aufgestellt. In **Schritt (2)** wurden die Anteile der elektrischen Energie, die im Rahmen der jeweiligen Nutzung als Abwärme an die jeweiligen Innenräume abgegeben werden, an die thermische Bewertung übergeben. In **Schritt (3)** wurde eine thermische instationäre Gebäude- und Anlagensimulation durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Bearbeitungsschrittes beschreiben Jahresverläufe des thermischen Energiebedarfes für die Beheizung bzw. Kühlung der Gebäudestruktur sowie den Wärmebedarf zur Bereitung des von der Nutzungsstruktur geforderten Brauchwarmwassers. Die Auswertungen in **Schritt (4)** liefern den Bedarf an elektrischer Energie, der zur Innenraumkonditionierung und Brauchwarmwasserbereitung aufgewendet werden muss, welcher an die Aggregation des Bedarfes an elektrischer Energie in **Schritt (5)** übergeben wird. Der Gesamtbedarf an elektrischer Energie ergibt sich aus der Summe des im Schritt (1) angesetzten Verbrauchsmusters und dem Bedarf an elektrischer Energie aus Schritt (4). **Schritt (6)** bewertet die Energiegewinnung elektrischer Energie durch Photovoltaik. Im abschließenden **Schritt (7)** werden der Bedarf an elektrischer Energie der Energiegewinnung durch lokale photovoltaische Anlagen gegenübergestellt und Aussagen zum Autonomiegrad sowie zum Eigenverbrauchsgrad getroffen.

5.1 Randbedingungen und Bewertungsgrundlagen

Die klimatischen Randbedingungen beinhalten den Verlauf der auf das Untersuchungsgebiet auftreffenden solaren Strahlung, den Verlauf der Lufttemperatur bzw. Luftfeuchtigkeit sowie die daraus resultierenden Temperaturen in den oberflächennahen Erdschichten. Solare Strahlung und Lufttemperatur wirken dabei direkt auf den Gebäudebestand und die Temperaturen in den oberflächennahen Erdschichten, beeinflussen den Wärmeverlust von Fernwärmeleitungen sowie die Performance von erdgekoppelten Energiesystemen, wie beispielsweise den Wirkungsgrad von Wärmepumpensystemen. Die solare Strahlung hat zudem großen Einfluss auf die solarthermische oder photovoltaische Energiegewinnung.

Die Auswahl der klimatischen Rahmenbedingungen muss auf den jeweiligen Untersuchungszweck abgestimmt werden. Im vorliegenden Fall sollte eine Betrachtung der Energiedienstleistungen erstellt werden, die für einen langjährigen Verlauf als durchschnittlich angesehen werden kann. Aus dieser Motivation heraus wurde ein Klimadatensatz gewählt, der einen mittleren klimatischen Verlauf der Jahre 2001 bis 2010 am Standort Graz repräsentiert [73]. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu bedenken, dass sich auch diese auf für den Standort als durchschnittlich anzusehende klimatische Verhältnisse beziehen. Einzelne Jahre mit extremeren Bedingungen (z.B. ein sehr kalter Winter oder ein sehr kalter Sommer) können zu anderen Bewertungsergebnissen führen. Aus dem Datensatz ist ersichtlich, dass der verwendete Grazer Klimadaten-satz 3102 Heizgradtage (HGT(20 °C/12 °C)) besitzt. Die minimale Außenlufttemperatur beträgt -12,3 °C und die maximale Außenlufttemperatur 34,8 °C. Die Jahresmitteltemperatur für das verwendete Grazer Klima beträgt 10,65 °C. Kumuliert beträgt die Jahresglobalstrahlung auf die Horizontale für den angesetzten Klimadaten-satz 1195,5 kWh/(m²a).

Grundlage aller Bebauungsstudien ist der vom Gemeinderat beschlossene Quartierentwicklungsplan [83] der Grazer Stadtplanung. Das erstellte Nutzungskonzept orientiert sich an der Idee einer möglichst intensiven „vertikalen Nutzungsdurchmischung“. Die Erdgeschosszone ist über das gesamte Analysegebiet mit einer äußerst heterogenen Nutzungsstruktur im Bereich der gewerblichen Nutzung belegt. In den Geschossen darüber ist im Wesentlichen eine büroartige Nutzung und teilweise Wohnnutzung angesiedelt, welche in den wiederum darüber liegenden Geschossen die hauptsächliche Nutzungsart darstellt (Abbildung 3-9). Im Zuge der Bebauungsplanung wurden im Rahmen der Ausarbeitung eines detaillierten Nutzungskonzeptes neun unterschiedliche urbane Nutzungsarten definiert. Abbildung 3-9 zeigt den im Rahmen des Forschungsprojektes *Rahmenplan Energie ECR* in Zusammenarbeit mit den städtischen Behörden entwickelten Bebauungsvorschlag. Dieser situiert im primären Analyse-Gebiet 0,7 Mio. m² an Bruttogeschoßfläche in einer Baukubatur von 2,49 Mio. m³ Bruttobauvolumen.

5.2 Thermische Energiedienstleistungen im primären Analyse-Gebiet

Der Wärmebedarf einer urbanen Struktur setzt sich auf der Ebene der Nutzenergie aus zwei Komponenten zusammen. Einerseits wird zu verschiedensten Zwecken warmes Wasser benötigt. Die zur Erwärmung benötigte thermische Energie wird als Brauchwarmwasserwärmebedarf (WWWB) bezeichnet. Andererseits muss zur Konditionierung der Innenräume Energie eingesetzt werden. Dieser als Heizwärmebedarf (HWB) bzw. Kühlbedarf (KWB) bezeichnete Energiebedarf wird im Wesentlichen durch die Gebäudestruktur und das Klima beeinflusst.

Brauchwarmwasserwärmebedarf im primären Analyse-Gebiet

Die Zapfungen im Wohnbau zur Reinigung, Hygiene, Kochen und diversen Verwendungszwecken hängen von den jeweiligen Tagesabläufen der Verbraucher ab und ergeben über den Tag, die Woche oder ein Jahr gesehen einen intensiv schwankenden Verlauf. Das Simulationsprogramm DHWCalc [84] der Universität Kassel wurde verwendet, um auf statistischer Basis realistische Zapfprofile zu generieren. Ergebnis ist ein charakteristisches Jahresbedarfsprofil für die Brauchwarmwasserbereitung in den Wohnbauten des primären Analyse-Gebietes. In der Abbildung 5-2 ist der prozentuelle Warmwasserverbrauch beispielhaft für eine Woche (168 Stunden) und als Jahresprofil dargestellt.

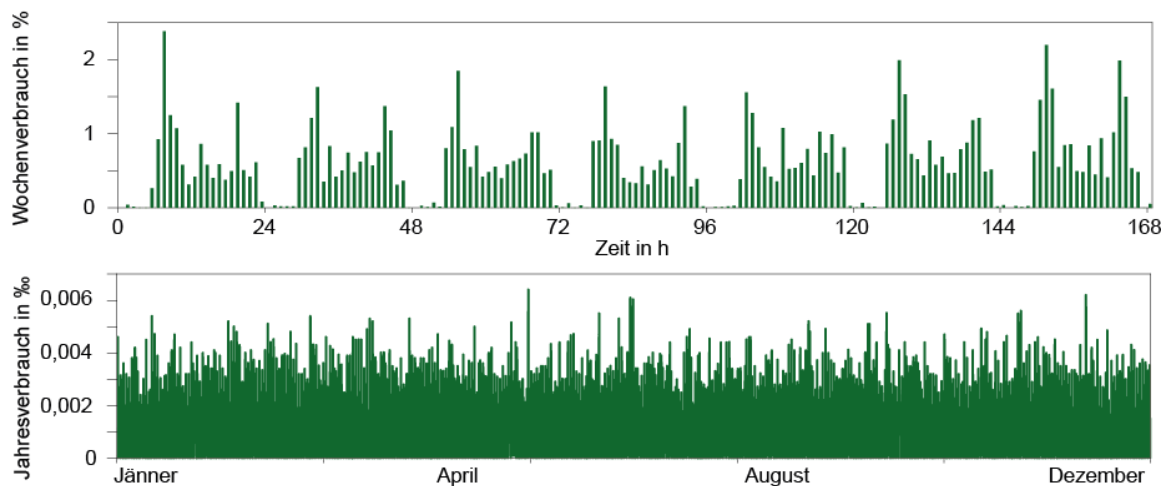


Abbildung 5-2: Jahresprofil und beispielhaftes Wochenprofil des Brauchwarmwasserbedarfes

Die Überlagerung des Verlaufes der im Wohnbau angesetzten Personenbelegung mit einem angenommenen Wärmebedarf von 2 kWh/Pers·d, in Anlehnung an die SIA 2024 [85], ergibt den Jahresverlauf des Brauchwarmwasserbedarfes für den Wohnbau im primären Analyse-Gebiet. Der Bedarf an Brauchwarmwasser für die anderen Nutzungsarten wurde ebenfalls in Anlehnung an die SIA 2024 [85] auf die Bruttogeschossfläche bezogen: Büro: 6 kWh/m²a, N1: 5 kWh/m²a, N2: 12 kWh/m²a, N3: 6 kWh/m²a, N3.1: 25 kWh/m²a, N4: 8 kWh/m²a, N5: 3 kWh/m²a, N5.1: 50 kWh/m²a, N6.1: 0 kWh/m²a, N6.2: 24 kWh/m²a, N7: 58 kWh/m²a. Der Wärmebedarf zur Deckung des Brauchwarmwasserbedarfes bezieht sich auf die Temperaturerhöhung einer über den Jahresverlauf sinusförmig angenommenen Kaltwassertemperatur (im Mittel 10 °C) und einer Zapftemperatur von 45 °C. Es zeigt sich, dass das primäre Analyse-Gebiet einen jährlichen Nutzwärmebedarf zur Bereitung des Brauchwarmwassers von 8.680 MWh/a aufweist (Abbildung 5-3).

Wärmebedarf Brauch- warmwasser MWh/a	Quartiere																Summe
	1	2	3	4	4a	5	6	6a	7+7a	11	11a	12	17	17a	18	18a	
	558	525	606	634	444	1259	762	586	526	150	314	877	17	460	510	453	

Abbildung 5-3: Wärmebedarf Brauchwarmwasser im primären Analyse-Gebiet

Heizwärmebedarf (HWB) und Kühlbedarf (KB) des primären Analyse-Gebietes

Die Bewertung des Wärmebedarfes wurde in der Simulationsumgebung TRNSYS (Transient System Simulation Tool) [86] durchgeführt. Darin werden die auftretenden Energieströme sowohl auf der Gebäude- als auch auf der Anlagenseite numerisch modelliert und bilanziert. Dies inkludiert Komponenten der Gebäudetechnik wie z.B. Raumheizung, Kühlung, Lüftungssysteme und Komponenten der lokalen Energieversorgung. In Abbildung 5-4 ist der HWB und der KB für die Gebäude im OIB- bzw. NZE-Standard (siehe Kapitel 2.3) sowohl in Monatssummen als auch als dynamischer Leistungsverlauf visualisiert.

Für die Gebäude in der Ausstattung nach OIB-Standard ergibt sich ein jährlicher Heizwärmebedarf von 31,8 GWh/a und ein jährlicher Kühlbedarf von ca. 3,2 GWh/a. Durch einen erhöhten Dämmstandard und Integration einer Wärmerückgewinnungsanlage in der kontrollierten Wohnraumbelüftung kann der HWB in der Ausstattung NZE-Standard auf ca. 6,5 GWh/a reduziert werden; der KB erhöht sich auf ca. 8,0 GWh/a.

Es ist ersichtlich, dass durch einen höheren Dämmstandard die Dauer der Heizsaison reduziert wird. Mit der Ausstattung NZE-Standard werden ca. 94 % der berechneten Heizwärme in den Monaten November bis Februar benötigt. Da die Gebäude im NZE-Standard sehr geringe Transmissionsverluste aufweisen, treten in den Sommermonaten höhere Raumlufttemperaturen auf, welche jedoch durch entsprechende Lüftungskonzepte, die hier noch nicht berücksichtigt wurden, deutlich reduziert werden könnten.

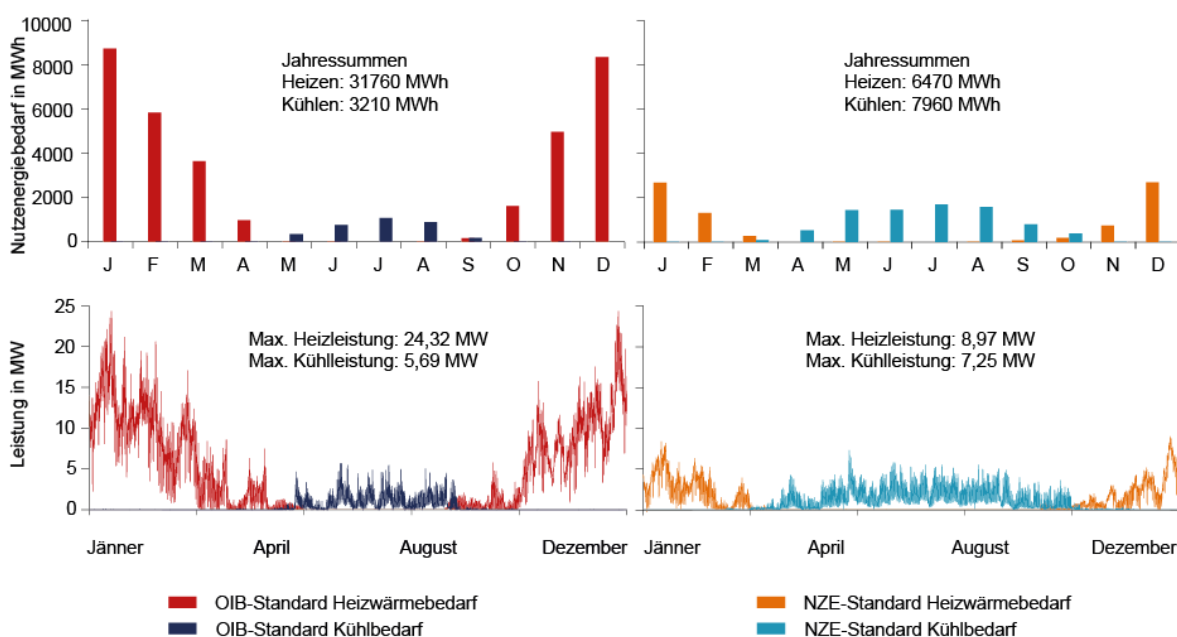


Abbildung 5-4: Heiz- und Kühlbedarf in Monatswerten (oben) und in Stundenwerten (unten)

Die maximale Leistung zur Deckung des HWB (OIB-Standard) beträgt 24,3 MW und die maximale Leistung zur Deckung des Kühlbedarfs 5,7 MW. Aus dem dynamischen Verlauf für die Heiz- bzw. Kühlanwendung sind deutlich Wärme- bzw. Kälteperioden ersichtlich. Im Leistungsverlauf der Ausstattung NZE-Standard reduziert sich die maximale Leistung des HWB auf 9,0 MW und die Kühlleistung steigt auf 7,3 MW.

In Abbildung 5-5 ist der HWB und der KB für die verschiedenen Nutzungsarten dargestellt. Den größten Bedarf an Heizwärme zeigt die Nutzungsart Wohnen (W), deren Anteil am Heizwärmebedarf des gesamten primären Analyse-Gebietes in der Ausstattungsvariante OIB-Standard bei 52 % und in der Ausstattungsvariante NZE-Standard bei 58 % liegt. Für den Bereich Wohnen (W) berechnet sich ein spezifischer HWB für die Ausstattung OIB-Standard von ca. 45 kWh/(m²a) und für den NZE-Standard von ca. 10 kWh/(m²a). Die Nutzungsarten Wohnen (W), Büro (B) und Gastronomie (N6.2) benötigen gemeinsam anteilmäßig am gesamten HWB in der Ausstattung OIB-Standard ca. 78 % und in der Ausstattung NZE-Standard ca. 82 %.

Es ist ersichtlich, dass die weiteren Nutzungsarten trotz hoher spezifischer Bedarfswerte, weil sie flächenmäßig nur einen kleinen Teil der Gesamtfläche beanspruchen, nur einen sehr geringen Anteil am gesamten Heizwärmebedarf ausmachen.

Zusätzlich zum HWB, ist in Abbildung 5-4 der KB der einzelnen Nutzungsarten dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für die Nutzungsarten Büro (B) und Nahversorger (N3) die größten Mengen an Kühlenergie aufzubringen sind. Für die Ausstattung gemäß OIB-Standard variiert der spezifische KB zwischen 1,5 kWh/(m²a) und 80 kWh/(m²a). Bei der Ausstattung nach NZE-Standard dagegen beträgt der minimale spezifische Kühlbedarf 13 kWh/(m²a) und der maximale Kühlbedarf 163 kWh/(m²a). Der Blick auf die absoluten Werte zeigt demgegenüber ein ganz anderes Bild. Bezogen auf jeweils einen Quadratmeter Nutzfläche hat die Nutzungsart Backshop den bei Weitem höchsten Kühlbedarf. Dieser wirkt sich jedoch auf den Gesamtkühlbedarf des primären Analyse-Gebietes nur marginal aus, da die zur Nutzungsart zugeordnete Nutzfläche vergleichsweise klein ist.

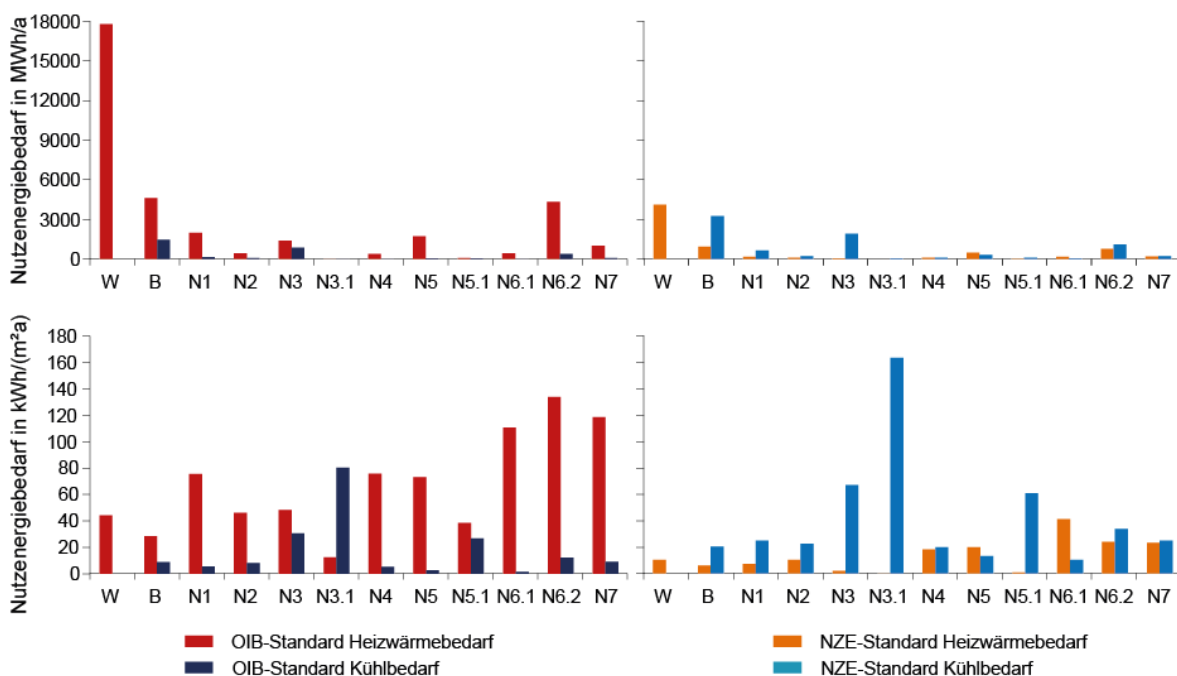


Abbildung 5-5: Jährlicher Heizwärme- und Kühlbedarf je Nutzungsart; links: OIB; rechts: NZE

Wärmeversorgung durch industrielle Abwärme und ein Nahwärmenetz

Das Forschungsprojekt ECR erarbeitet eine Analyse der lokalen Verhältnisse und Entscheidungsgrundlagen, die bei der Gestaltung eines zukünftigen Systems zur Wärmeversorgung des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus zu berücksichtigen sind. Die Einstufung des Areals als „Luftsanierungsgebiet“ [87] zeigt, dass auf die Belastung der Luftqualität ein besonderes Augenmerk zu legen ist. Zudem sind sowohl im Areal als auch am Rande des Areals Industriebetriebe mit beachtlichen Mengen an bislang ungenutzter Abwärme situiert.

Auf der Grundlage dieser im Stadtareal Graz-Reininghaus gültigen Gegebenheiten wurden im vorliegenden Bearbeitungsteil des Forschungsprojektes ausschließlich Versorgungsszenarien untersucht, die vor Ort keine zusätzlichen Emissionen verursachen, da diese die höchste Umsetzungswahrscheinlichkeit aufweisen.

Andere Teile des Forschungsprojektes untersuchen vorrangig die gesamte theoretische Breite aller denkbaren Versorgungsszenarien und nehmen daher auf die lokal vorgegebenen Einschränkungen bewusst keine Rücksicht, um die gesamte Bandbreite an Möglichkeiten betrachten zu können (siehe Kapitel 6).

In unmittelbarer Nähe zum primären Analyse-Gebiet liegt ein Stahlwerk, dessen industrielle Prozesse große Mengen an noch ungenutzter Abwärme hervorbringen. Neben der bereits implementierten Einspeisung überschüssiger Abwärme in das Fernwärmesystem auf einem hohen Temperaturniveau $> 80\text{ °C}$ bleibt ein bisher großes Potenzial an Abwärme auf einem Temperaturniveau von ca. 32 °C noch ungenutzt. Ein ambitioniertes, vom lokalen Energieversorger diesbezüglich angedachtes Konzept sieht vor, mittels einer zentral am Einspeisepunkt situierten Wärmepumpe das Temperaturniveau zu heben und damit Wärme über ein Nahwärmenetz mit einer Vorlauftemperatur von 68 °C (Spreizung 25 K) den Verbrauchern zur Verfügung zu stellen.



Abbildung 5-6: Annahme eines zukünftigen Nahwärmenetzes im primären Analyse-Gebiet

Das in Abbildung 5-6 schematisch dargestellte Wärmenetz besteht aus drei Abschnitten. Das „primäre Wärmenetz“, als übergeordneter Netzabschnitt, verbindet den Einspeisepunkt mit den Quartiers-Anschlusspunkten der einzelnen Quartiere. Durch das primäre Wärmenetz werden, ausgehend vom zentralen Anschlusspunkt, alle Quartiere erschlossen. Von diesen Quartiers-Anschlusspunkten wird die Wärme innerhalb der einzelnen Quartiere durch das „sekundäre Wärmenetz“ bis zu den Gebäude-Anschlusspunkten verteilt. Sowohl das primäre Wärmenetz als auch das sekundäre Wärmenetz sind im Erdreich in 1,3 m Tiefe verlegt (Abstand Erdoberfläche zur Achse der Fernwärmeleitung). Das nachgeschaltete „tertiäre Wärmenetz“ verbindet die jeweiligen Gebäude-Anschlusspunkte innerhalb der unbeheizten Zonen mit den beheizten Gebäudezonen. Bei jedem Gebäude wurde zusätzlich ein Wärmespeicher modelliert, welche so dimensioniert wurden, dass das jeweilige Volumen des Wärmespeichers das an einem Tag benötigte Brauchwarmwasser fassen kann. Die Summe aller Wärmespeicher im primären Analyse-Gebiet ergibt ein Speichervolumen von 730 m³.

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Trassen des tertiären Wärmenetzes in den unbeheizten Kellervolumen der Bebauung befinden. Für die Beheizung der thermischen Zonen wurde ein Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem gewählt. Die Vorlauftemperatur des Heizungssystems wird abhängig von der Außenlufttemperatur geregelt (35/30 °C bei Auslegungstemperatur, Heizkörperexponent 1,1). Für das Erdreich (Umgebungstemperatur für das erdreichvergrabene primäre Wärmenetz und das sekundäre Wärmenetz) lässt sich eine mittlere Umgebungstemperatur von ca. 10,65 °C berechnen. Das Modell berücksichtigt den Ansatz von Kasuda [88] für die Berechnung der Erdreichtemperatur. Die minimale Erdreichtemperatur (5,14 °C) tritt am 12. Tag im Jahr auf.

Im Folgenden wird der Betrachtungskreis um das beschriebene Wärmenetz erweitert. Der „Gesamtwärmebedarf“ (GWB) des primären Analyse-Gebietes ist die Jahressumme der am Einspeisepunkt nahe des Stahlwerkes in die Netzstruktur einzubringenden thermischen Energie. Der Gesamtwärmebedarf ergibt sich wie folgt:

$$GWB = HWB + WWWB + VPW + VSW + VTW + VS \quad [\text{GWh/a}]$$

GWB ...	jährlicher Gesamtwärmebedarf des primären Analyse-Gebietes am Einspeisepunkt
HWB ...	jährlicher Heizwärmebedarf der Bebauungsstruktur
WWWB ...	jährlicher Brauchwarmwasserwärmebedarf der Bebauungsstruktur
VPW ...	jährlicher Wärmeverlust des primären Wärmenetzes
VSW ...	jährlicher Wärmeverlust des sekundären Wärmenetzes
VTW ...	jährlicher Wärmeverlust des tertiären Wärmenetzes
VS ...	jährlicher Wärmeverlust der Wärmespeicher

Abweichungen vom geplanten Vollausbau

Städtebauliche Entwicklungsprozesse erstrecken sich im europäischen Kontext zumeist über Jahrzehnte. Die Wahrscheinlichkeit einer Änderung der Rahmenbedingungen ist daher deutlich höher als in Entwicklungsprozessen auf der Ebene einzelner Gebäude, die sich in der Regel über wenige Jahre erstrecken. Änderungen der gesellschaftlichen, politischen, ökonomischen oder rechtlichen Rahmenbedingungen können dabei gravierende Auswirkungen auf den Betrieb bzw. Ausbau des energietechnischen Versorgungssystems nehmen.

Bei der Entscheidung für ein energietechnisches Versorgungssystem ist es daher wichtig dessen Stabilität gegenüber geänderten Rahmenbedingungen zu kennen. Im vorliegenden Projekt wurden diesbezüglich verschiedene Abweichungsszenarien untersucht.

- Abweichungen in der Ausstattung der Gebäude Die Ausstattung **OIB-Standard** orientiert sich am vorgeschriebenen Mindestwärmeschutz und stellt somit die zu erwartende Obergrenze des HWB einer zukünftigen Bebauungsstruktur dar. Demgegenüber steht die Ausstattung **NZE-Standard** für umfassende Wärmeschutzmaßnahmen und somit für die zu erwartende Untergrenze des HWB einer zukünftigen Bebauungsstruktur.
- Abweichungen in der Anschlussdichte Die städtebauliche Planung kennt Bebauungsdichten in der Regel als vorgeschriebene Obergrenzen. Änderungen in den ökonomischen Rahmenbedingungen können jedoch dazu führen, dass diese Dichten in der realen Bebauung nicht erreicht werden. Die im primären Analyse-Gebiet vorgeschriebenen Obergrenzen sind im Quartierentwicklungsplan der Grazer Stadtplanung vom 26.02.2014 festgelegt [83] und werden in der Folge als „**Referenzdichte**“ bezeichnet. In der Folge wird der Extremfall untersucht, dass nur die Hälfte der Bruttogeschossfläche entsteht bzw. an das Versorgungsnetz angeschlossen wird und diese als „**reduzierte Dichte**“ bezeichnet wird.
- Abweichungen im Nutzungsmix Das für den Stadtteil Graz-Reininghaus erstellte Konzept setzt auf eine vielfältige Nutzungsstruktur aus Wohnen und anderen Nutzungsarten. Die Entwicklung der Attraktivität des Standortes wird darüber entscheiden, ob es in der realen Umsetzung tatsächlich zur Ansiedelung einer intensiven Nutzungsstruktur kommen wird oder ob der Anteil des Wohnbaus höher liegen wird. In der Folge wird der angestrebte Nutzungsmix als „**Referenznutzung**“ bezeichnet, der ein geänderter Nutzungsmix mit einem halbierten Anteil an Nicht-Wohnbau, mit der Bezeichnung „**mehr Wohnbau**“, entgegengesetzt wird.

In der Kombination der einzelnen Verschiebungen ergeben sich acht Szenarien. Abbildung 5-7 zeigt die Zusammensetzung der Szenarien, die simulationstechnisch ermittelten Bedarfswerte sowie die thermischen Verluste der einzelnen Netzabschnitte.

Szenariendefinition	1	2	3	4	5	6	7	8
Ausstattung	OIB-Standard	OIB-Standard	OIB-Standard	OIB-Standard	NZE-Standard	NZE-Standard	NZE-Standard	NZE-Standard
Bebauungsdichte	Referenz-dichte	Referenz-dichte	reduzierte Dichte	reduzierte Dichte	Referenz-dichte	Referenz-dichte	reduzierte Dichte	reduzierte Dichte
Nutzungsmix	Referenz Nutzung	mehr Wohnbau	Referenz Nutzung	mehr Wohnbau	Referenz Nutzung	mehr Wohnbau	Referenz Nutzung	mehr Wohnbau
in [GWh]								
HWB	31,76	32,98	18,17	18,69	6,47	7,09	4,04	4,40
WWWB	8,68	8,06	4,34	4,03	8,68	8,06	4,34	4,03
VPW	0,70	0,71	0,65	0,67	0,71	0,73	0,65	0,67
VSW	2,10	2,13	2,03	2,06	2,16	2,19	2,05	2,09
VTW	1,36	1,36	1,31	1,31	1,19	1,19	1,12	1,13
VS	0,45	0,45	0,29	0,29	0,47	0,47	0,30	0,30
Σ GWB	45,05	45,69	26,79	27,05	19,68	19,74	12,50	12,62

Abbildung 5-7: Auswirkungen von Abweichungen vom geplanten Vollausbau

Der Wärmeschutz der Gebäudehülle besitzt einen direkten Einfluss auf die entstehenden Transmissionswärmeverluste des Gebäudebestandes und somit auf den Heizwärmebedarf (HWB). In Abbildung 5-7 ist ersichtlich, dass durch Erhöhung des Dämmstandards und Berücksichtigung einer Abluftwärmerückgewinnung der Heizwärmebedarf im primären Analyse-Gebiet von 31,76 GWh/a (in Szenario 1) auf ca. 6,47 GWh/a (in Szenario 4) reduziert werden kann. Da aber der Energiebedarf in den anderen Bedarfspositionen (Brauchwarmwasser, Netzverluste und Speicher- verluste) davon unberührt bleibt, verringert sich die zu erreichende Reduktion des Gesamtwärme- bedarfes (GWB) im primären Analyse-Gebiet auf ca. 56 % (45,05 GWh/a auf 19,68 GWh).

Die Änderung im Nutzungsmix bewirkt nur kleine Änderungen im HWB und im WWB. Unter Annahme des OIB-Standards wird mit der Änderung des Nutzungsmixes eine Änderung des Gesamtwärmebedarfes (GWB) von 45,05 GWh/a in Szenario 1 auf 45,69 GWh/a in Szenario 2 bewirkt. Unter Annahme des NZE-Standards ist mit der Änderung des Nutzungsmixes eine Ver- schiebung des GWB von 19,68 GWh/a in Szenario 5 auf 19,74 GWh/a in Szenario 6 verbunden.

Im Gegensatz dazu haben Schwankungen in der Anschlussdichte hohe Auswirkungen auf den GWB im primären Analyse-Gebiet. Derartige Änderungen sind in der Aufbauphase des Versorgungssystems zu erwarten, aber auch durch nicht erreichte städtebauliche Dichten sowie durch die Versorgung eines Teils der Bebauung durch andere Energieträger- bzw. Versorgungs- strukturen. Der Einfluss der Anschlussdichte zeigt sich als äußerst markant auf den GWB im primären Analyse-Gebiet. Unter Annahme des OIB-Standards zeigt sich eine Reduktion von 45,05 GWh/a in Szenario 1 auf 26,79 GWh/a in Szenario 3 bzw. unter Annahme des NZE-Standards eine Reduktion von 19,68 GWh/a in Szenario 5 auf 12,5 GWh/a in Szenario 7.

Auswirkungen der Abweichungen auf die Effizienz der Netzstruktur

Eine Reihe verschiedener Publikationen hat Netzverluste von Fernwärmesystemen im städtischen und urbanen Bereich analysiert [89] [90] [91] [92]. Insbesondere [93] geht auf die ökonomischen Aspekte ein. Die steigende Energieeffizienz der Gebäudestruktur und damit einhergehender verkleinerter Wärmebedarf sowie geringe Anschlussdichten [94] haben sich als Hindernisse für die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit netzgebundener Wärmeversorgung herausgestellt. Um ver- schiedene Verteilstrukturen in Bezug setzen zu können, bietet sich die der Anteil der Wärme- verluste ε und die Anschlussdichte ρ an, welche wie folgt definiert werden.

$$\varepsilon = \frac{\int (\dot{Q}_{VPW} + \dot{Q}_{VSW} + \dot{Q}_{VTW} + \dot{Q}_{VS}) \cdot dt}{\int (\dot{Q}_{HWB} + \dot{Q}_{WWB}) \cdot dt} \quad [-]$$

$$\rho = \frac{\int (\dot{Q}_{HWB} + \dot{Q}_{WWB} + \dot{Q}_{VTW} + \dot{Q}_{VS}) \cdot dt}{LLP + LLS} \quad [\text{MWh}/(\text{a} \cdot \text{m})]$$

Q_{VPW} ...	Wärmeleistung zur Deckung der Wärmeverlust des primären Wärmenetzes
Q_{VSW} ...	Wärmeleistung zur Deckung der Wärmeverlust des sekundären Wärmenetzes
Q_{VTW} ...	Wärmeleistung zur Deckung der Wärmeverlust des tertiären Wärmenetzes
Q_{VS} ...	Wärmeleistung zur Deckung der Wärmeverlust der Wärmespeicher
Q_{HWB} ...	Wärmeleistung zur Deckung des Heizwärmebedarfes
Q_{WWB} ...	Wärmeleistung zur Deckung der Brauchwarmwassererwärmung
LLP ...	Leitungslänge des primären Wärmenetzes
LLS ...	Leitungslänge des sekundären Wärmenetzes

Aus Abbildung 5-8 ist ersichtlich, dass sich bei den oben beschriebenen Abweichungen in Bezug auf den Wärmeschutz der Gebäude, den Nutzungsmix und/oder die Bebauungsdichte gravierende Änderungen im Anteil der thermischen Netzverluste am Gesamtwärmebedarf (GWB) des primären Analyse-Gebietes ergeben können. Änderungen im Nutzungsmix bewirken nur geringe Änderungen im Anteil der Wärmeverluste. Wird dagegen eine Anschlussdichte von 50 % angenommen, dann erhöht sich bei gleichbleibendem Verteilnetz der Anteil der Wärmeverluste (Szenario 3) von ca. $\epsilon = 0,114$ auf $\epsilon = 0,191$. Wird der Dämmstandard erhöht und bleibt die Bebauung und Nutzung gleich (Szenario 5), hat dies noch größere Auswirkungen auf den Anteil der Wärmeverlust (Erhöhung auf $\epsilon = 0,299$). Eine Kombination im NZE-Standard von einer reduzierten Anschlussdichte mit dem geänderten Nutzungsmix (Szenario 7) erreicht $\epsilon = 0,492$.

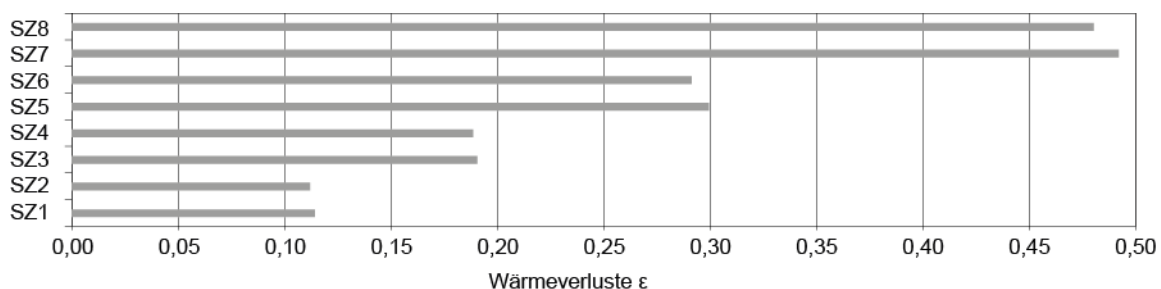


Abbildung 5-8: Wärmeverluste ϵ der Szenarien im Vergleich

Bei der Interpretation der Anschlussdichte kann das *Planungshandbuch* der Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke [94] herangezogen werden. Darin werden zum effizienten und ökonomischen Betrieb im Endausbaustadium bei „günstigen Rahmenbedingungen“ eine Anschlussdichte von $p > 1,2$ (MWh/(a·m)) und bei „ungünstigen Rahmenbedingungen“ eine Anschlussdichte von $p > 2,0$ (MWh/(a·m)) empfohlen. Die Einteilung in ungünstige und günstige Rahmenbedingungen wird dabei über die Bauerschweraxis, das lokale Preisniveau, die Geschwindigkeit des Erschließungsfortschrittes, die Investitionshilfen und die erzielbaren Erlöse definiert. Abbildung 5-9 zeigt für das Szenario 1 (OIB-Standard) eine Anschlussdichte von $p = 3,6$ (MWh/(a·m)). Werden die Gebäude mit einem erhöhten Dämmstandard und einer Abluftwärmerückgewinnung (NZE-Standard) ausgestattet, reduziert sich die Anschlussdichte auf 1,4 (MWh/(a·m)) (Szenario 5). Wird die Bebauung im OIB-Standard durchgeführt, dann wird die Bedingung $p > 2,0$ (MWh/(a·m)) für alle dazugehörigen Szenarien (Szenario 1 bis Szenario 4) erfüllt, wobei dies für die Szenarien 3 und 4 sehr knapp gelingt. Wird die Bebauung im NZE-Standard durchgeführt, dann erfüllt kein einziges dazugehöriges Szenario (Szenarien 5-8) die Bedingung für „ungünstige Rahmenbedingungen“. Die Szenarien 5 und 6 erfüllen noch die Bedingungen für „günstige Rahmenbedingungen“. Die Szenarien 7 und 8 hingegen erfüllen keines der genannten Kriterien.

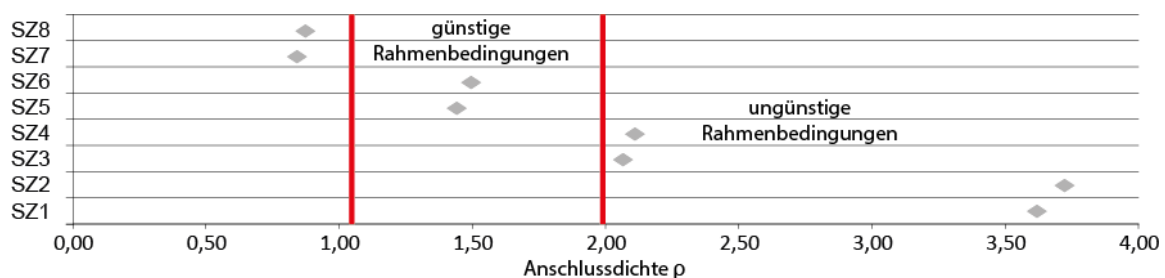


Abbildung 5-9: Vergleich und Einordnung der Anschlussdichten

Da grundsätzlich auch eine Versorgung über das bestehende Fernwärmenetz durchgeführt werden könnte, wurde zudem eine Anhebung des Temperaturniveaus des Wärmeverteilnetzes auf 90 °C im Vorlauf untersucht. Würde das lokale Wärmenetz statt mit 68 °C mit 90 °C im Vorlauf betrieben, würde sich der Anteil der Wärmeverluste ε im Szenario 1 von 0,114 auf 0,166 erhöhen. Dies zeigt deutlich, dass das Temperaturniveau so gering wie möglich gehalten werden sollte.

5.3 Elektrische Energiedienstleistungen im primären Analyse-Gebiet

Die Aufteilung der Bruttogeschoßflächen in unterschiedliche Nutzungen (Haushalt, Büro und Gewerbe) auf Basis des Flächenwidmungsplanes (Bebauungsszenarien) der Stadt Graz ermöglicht eine detaillierte Berechnung der zu erwartenden elektrischen Anschlussleistungen hinsichtlich der elektrischen Last sowie des jährlichen elektrischen Energiebedarfs des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus. Anhand der geplanten Dach- und Fassadenflächen werden Einspeiseszenarien („PV Moderat“ bzw. „PV Intensiv“) definiert, um einerseits die elektrische Anschlussleistung dezentraler elektrischer Erzeugungsanlagen in der Planung des zukünftigen Energiesystems zu berücksichtigen und andererseits daraus den möglichen Autonomiegrad hinsichtlich der elektrischen Energieversorgung des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus zu eruieren.

Elektrische Anschlussleistungen

Die Entwicklung eines zukunftsorientierten elektrischen Versorgungskonzeptes für das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus stellt eine große Herausforderung dar, da bei dieser Entwicklung einerseits zukunftsorientierte Technologien, wie z.B. dezentrale Photovoltaik-Anlagen und Ladestationen für Elektroautos, berücksichtigt und andererseits die Auslegung der elektrischen Betriebsmittel wirtschaftlich und vor allem effizient gestaltet werden soll. Im konkreten Fall besteht die Herausforderung darin, die Integration des neuen Stadtteils Graz-Reininghaus in ein bestehendes elektrisches Energieversorgungssystem mittels einer aktuellen verbraucherdaten-basierten Planung durchzuführen [95].

Die Anschlussleistungen der Quartiere unterscheiden sich einerseits durch den Gebäudestandard (OIB-Standard bzw. NZE-Standard) und andererseits durch die Berücksichtigung verschiedener Wärmeversorgungskonzepte (dezentrale Wärmepumpen in den einzelnen Quartieren bzw. zentrale Wärmepumpe). Bei der Wärmeversorgung mit dezentralen Wärmepumpen sind die entsprechenden Anschlussleistungen der Wärmepumpen jeweils in den Quartieren bei der Auslegung der Betriebsmittel (Leitungen, Transformatoren, ...) entsprechend zu berücksichtigen. Bei der Wärmeversorgung mittels einer zentralen Wärmepumpe verringert sich die Anschlussleistung in den Quartieren, jedoch muss die Anschlussleistung der zentralen Wärmepumpe berücksichtigt werden.

Die Anschlussleistungen der dezentralen Wärmepumpen bzw. Kältemaschinen in den Quartieren des primären Analyse-Gebietes sowie einer zentralen Wärmepumpe werden wie die Anschlussleistungen der kontrollierten Wohnraumbelüftungen in den NZE-Standard-Gebäuden vom Institut für Wärmetechnik (IWT) der Technischen Universität Graz definiert.

- Unter Berücksichtigung eines Wärmeversorgungskonzeptes mit dezentralen Wärmepumpen entspricht die gesamte elektrische Anschlussleistung des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus 32,7 MW (OIB-Standard) bzw. 30,8 MW (NZE-Standard).
- Für die Variante der Wärmeversorgung mit einer zentralen Wärmepumpe ergibt sich die gesamte Anschlussleistung des Stadtentwicklungsgebietes zu 32,3 MW (OIB-Standard) bzw. 29,8 MW (NZE-Standard) (In diesem Fall wird die zentrale Wärmepumpe über einen eigenen Regeltransformator (110 kV/20 kV) im Bereich des Stahlwerkes versorgt. Die elektrische Anschlussleistung der zentralen Wärmepumpe beträgt ca. 5,6 MW (OIB-Standard) bzw. ca. 2,7 MW (NZE-Standard).)

Die Einbindung der dezentralen Erzeugungsanlagen (Photovoltaik-Anlagen) wird im Hinblick auf normative Vorgaben (EN 50160 [96]) bzw. einschlägige Richtlinien (TOR D2 [97], TOR D4 [98]), unter Berücksichtigung der eruierten Anschlussleistungen der dezentralen Erzeugungsanlagen, mittels Lastflussberechnungen untersucht. Das Szenario „PV Moderat“ stellt eine dem Stand der Technik entsprechende Bebauung dar. Hierbei wird unter Berücksichtigung unterschiedlicher Faktoren (wie z.B. Dachflächennutzung, Anteil zwischen Photovoltaik und Solarthermie, Aufständerungsfaktor) ein Anteil von ~ 7 % der Dachfläche genutzt. Im Gegensatz stellt das Szenario „PV Intensiv“ ein sehr ambitioniertes Szenario dar. Hierbei soll das maximal mögliche bzw. sinnvolle Flächenpotenzial (Dach-, sowie Fassadenflächen) zur Bebauung mit Photovoltaik-Modulen berücksichtigt werden. Es werden im Szenario „PV Intensiv“ ein Anteil von 42 % der Fassadenflächen sowie ein Anteil von 33 % der Dachflächen genutzt. Die Berechnungen zeigen, dass durch die dezentrale elektrische Energieeinspeisung der Photovoltaik-Anlagen im Szenario „PV Intensiv“ mit einer elektrischen Anschlussleistung von 20,9 MW bzw. bei „PV Moderat“ von 1,3 MW die normativen Vorgaben bzw. die einschlägigen Richtlinien eingehalten werden können. In Abbildung 5-10 sind die Anschlussleistung der Last (Gesamt OIB-Standard bzw. Gesamt NZE-Standard) mit Berücksichtigung der dezentralen Wärmepumpen und Kältemaschinen, der kontrollierten Wohnraumbelüftung, Straßenbeleuchtung, Tiefgaragen und die Anschlussleistung (Wechselrichter) der Szenarien „PV Intensiv“ und „PV Moderat“ dargestellt.

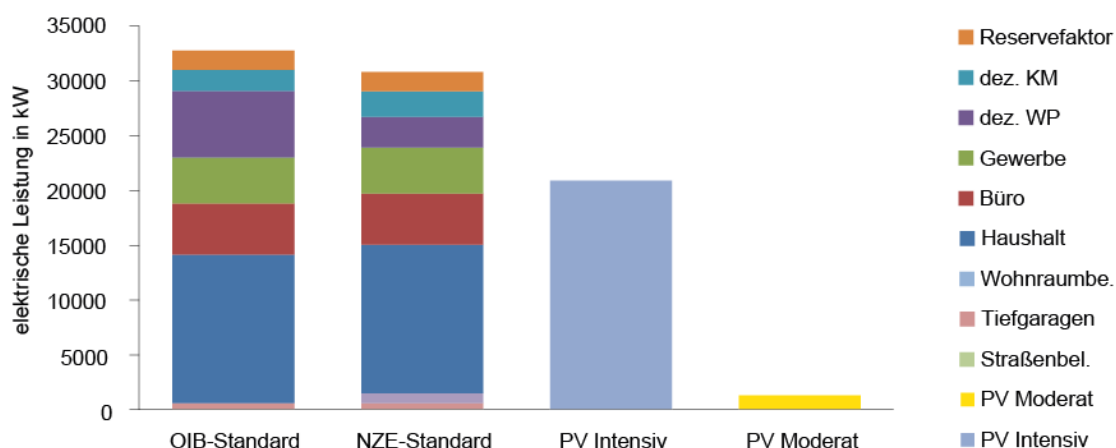


Abbildung 5-10: Anschlussleistungen der Last und Erzeugung im Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus nach Gebäudestandard (OIB-Standard bzw. NZE-Standard) bzw. gemäß unterschiedlicher Szenarien (PV Intensiv, PV Moderat)

Aus Abbildung 5-10 ist ersichtlich, dass die Anschlussleistungen der Last (Gesamt OIB-Standard bzw. Gesamt NZE-Standard) unter Einbeziehung der dezentralen Wärmepumpen und Kältemaschinen einzelner Quartiere des primären Analyse-Gebietes höher als die eruierten Anschlussleistungen des Szenarios „PV Intensiv“ sind.

Das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus befindet sich hinsichtlich der Versorgung mit elektrischer Energie auf dem Konzessions-Gebiet von zwei Netzbetreibern (*Stromnetz Graz* bzw. *Energienetze Steiermark*). Für die Versorgung des neuen Stadtteils Graz-Reininghaus sind zwei getrennte Mittelspannungsverteilernetze vorgesehen.

Für das elektrische Verteilernetz des Netzbetreibers *Stromnetz Graz* ergibt sich somit eine Anzahl von 36 Transformatoren (1000 kVA) bzw. 46 Transformatoren (1000 kVA). Diese Aufstellung ermöglicht die makroökonomische Beurteilung der Transformatorkosten in Abhängigkeit des Wärmeversorgungskonzeptes. Unter Berücksichtigung eines zentralen Wärmeversorgungskonzeptes ergibt sich eine Anzahl von 36 Transformatoren (1000 kVA) im Versorgungsgebiet (*Stromnetz Graz*). Die Stückkosten eines 1000-kVA-Transformators belaufen sich nach [99] auf ca. 19.000 €. Somit kumulieren sich die Investitionskosten der Verteilernetztransformatoren unter Berücksichtigung eines zentralen Wärmenetzes (36 Transformatoren) auf 684.000 €. Im Fall der dezentralen Wärmeversorgung mit Wärmepumpen in den einzelnen Quartieren werden die Anschlussleistungen vor Ort berücksichtigt. So ergibt sich eine Anzahl von 46 Verteilernetztransformatoren (1000 kVA). Die dadurch zu berücksichtigenden Investitionskosten belaufen sich auf 874.000 € und stellen damit eine Erhöhung der Investitionskosten um 28 % dar.

Die Gegenüberstellung der eruierten Anschlussleistungen der Last bzw. der dezentralen Photovoltaik-Anlagen zeigt, dass die Leistungen der einzelnen Quartiere des primären Analyse-Gebietes höher sind als die Anschlussleistungen der dezentralen Erzeugungsanlagen. Daraus folgt, dass die Dimensionierung der Betriebsmittel im gegenständlichen Fall in jedem Quartier auf die betragsmäßig höhere Anschlussleistung (Last bzw. Erzeugungsleistung) zu erfolgen hat. Durch die Integration des neu entstehenden Mittelspannungsnetzes in das bestehende umliegende elektrische Versorgungsnetz ergeben sich zusätzliche Synergieeffekte hinsichtlich der Zuverlässigkeit durch erweiterte Umschaltmöglichkeiten.

Elektrischer Jahresenergiebedarf und Jahresenergiebereitstellung

Die Ermittlung des Jahresenergiebedarfs der Last einzelner Quartiere basiert auf der Überlagerung von Standardlastprofilen mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten der Haushalte (H0) und den verschiedenen Gewerbelastprofilen (G0 – G6). Die Skalierung dieser Profile erfolgt anhand definierter spezifischer Energiekennzahlen. Zusätzlich werden die öffentliche Straßenbeleuchtung und die Tiefgaragen ebenfalls mitbetrachtet.

Die Jahresprofile dezentraler Wärmepumpen und Kältemaschinen unterschiedlicher Gebäudestandards (OIB-Standard bzw. NZE-Standard) werden vom Institut für Wärmetechnik (IWT) der TU Graz mittels Jahreslastprofilen zur Verfügung gestellt. Die Jahresprofile der Einspeiseszenarien („PV Moderat“ und „PV Intensiv“) mit den unterschiedlichen Ausrichtungen und Aufstellungswinkeln werden auf Basis von Langzeitmessungen der Globalstrahlung [100] beschrieben, um in weiterer Folge den Jahresenergieertrag der beiden Einspeiseszenarien zu ermitteln.

In Abbildung 5-11 ist der Jahresenergiebedarf der Last und der jährliche Energieertrag der Szenarien „PV Intensiv“ bzw. „PV Moderat“ des gesamten Gebietes Graz-Reininghaus dargestellt.

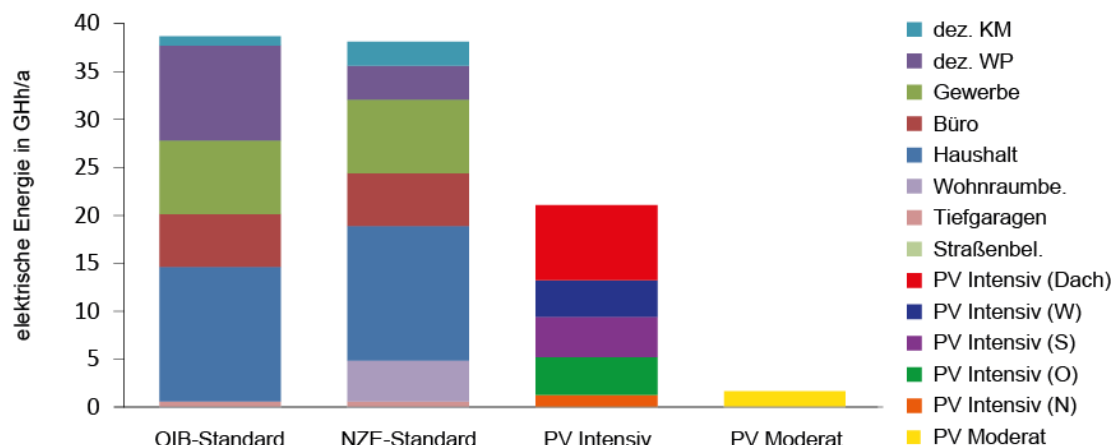


Abbildung 5-11: Jahresenergiebedarf (Last) und jährlicher Energieertrag der Szenarien „PV Intensiv“ und „PV Moderat“ des primären Analyse-Gebietes

Aus Abbildung 5-11 ist ersichtlich, dass der jährliche Energieertrag des Szenarios PV Intensiv bilanziell den Energiebedarf der Straßenbeleuchtung, Tiefgaragen, Haushalts-, Büro- sowie Gewerbebereiche des OIB-Standards deckt. Für den NZE-Standard kann der Energiebedarf des Bürobereiches aufgrund des zusätzlichen Energiebedarfs der kontrollierten Wohnraumbelüftung bereits nicht mehr vollständig gedeckt werden.

Der zu erwartende elektrische Jahresenergiebedarf des Stadtentwicklungsgebietes unter Berücksichtigung der Last (Haushalt, Büro, Gewerbe, Kältebereitstellung und aktive Raumbelüftung des NZE-Standards, ohne dezentrale Wärmepumpen) liegt bei 27,8 GWh (OIB-Standard) bzw. 32,1 GWh (NZE-Standard). Unter Berücksichtigung des dezentralen Wärmeversorgungskonzeptes ergibt sich ein elektrischer Jahresenergiebedarf von 38,7 GWh (OIB-Standard) bzw. 38,1 GWh (NZE-Standard). Bei der Umsetzung des zentralen Wärmeversorgungskonzeptes ist ein elektrischer Jahresenergiebedarf von 38,4 GWh (OIB-Standard) bzw. 38,2 GWh (NZE-Standard) zu erwarten.

Das Einspeiseszenario „PV Intensiv“ besitzt einen gesamten elektrischen Energieertrag von 21,6 GWh. Der Energieertrag der Nordfassaden des Szenarios „PV Intensiv“ ist im Vergleich zum Energieertrag der Ost-, West- und Südfassaden relativ gering, allerdings mit 1,26 GWh/a bereits annähernd so groß wie der Energieertrag des gesamten Szenarios „PV Moderat“ von 1,66 GWh/a. Auf Basis von wirtschaftlichen Überlegungen kann es natürlich sinnvoll sein, die nördliche Fassade nicht zu berücksichtigen, aufgrund der Forschungsfrage hinsichtlich der möglichen Autonomie des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus werden diese Flächenbetrachtungen jedoch miteinbezogen.

5.4 Eigenverbrauchsgrad, Autonomiegrad und dezentraler Deckungsbeitrag

Das Ziel, den vor Ort erzeugten elektrischen Strom auch vor Ort zu verbrauchen, wird einerseits durch die Photovoltaik-Anlage am Dach (Ausrichtung Süden, 35°) und andererseits durch die Einbindung der Fassade (Ausrichtung N-O-S-W, 90°) zur Stromerzeugung der einzelnen Quartiere erreicht. Die Unterscheidung zwischen Autarkie (Leistungsschalter offen, keine Verbindung zum elektrischen Netz) und Autonomie (Netzkupplerschalter geschlossen, Netzparallelbetrieb) – aus netztechnischer Sicht – ist in der Abbildung 5-12 dargestellt [101].

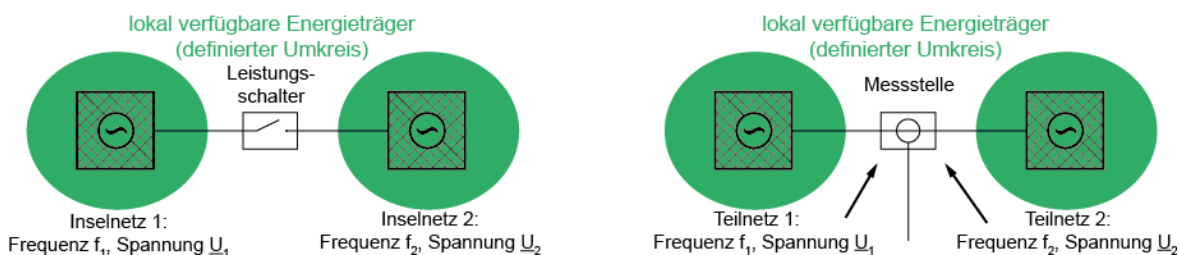


Abbildung 5-12: links: Autarkie – Netzkupplerschalter offen, Inselnetzbetrieb (Inselnetz 1 und 2)
rechts: Autonomie – Leistungsschalter (Netzkupplerschalter) geschlossen, Netzparallelbetrieb (Teilnetz 1 und 2) [102]

Abbildung 5-12 (links) stellt beispielsweise eine abgelegene autarke Siedlung mit einem lokalen Inselnetz (Inselnetz 1) dar. In dem elektrischen Inselnetz 1 und 2 befinden sich beispielsweise unabhängige, inselnetzfähige Wechselrichter. Diese Netze sind elektrotechnisch gesehen nicht (z.B. durch einen metallischen Leiter) miteinander verbunden. Dies bedeutet, dass die benötigte Leistung in dem Inselnetz zu jedem Zeitpunkt lokal zur Verfügung gestellt werden muss. Daraus folgt, dass diese Inselnetze als leistungs- sowie energieautark anzusehen sind.

Der **dezentrale Deckungsbeitrag DB** beruht – im Vergleich zum **Eigenverbrauchsgrad EG(T)** bzw. **Autonomiegrad AG(T)** – ausschließlich auf der verhältnismäßigen Bilanzierung der dezentral umgewandelten Energie seitens der dezentralen Erzeugungsanlagen (dezentrale Photovoltaik-Anlagen) bezogen auf die Energie der Verbraucher (Büro, Haushalt, Gewerbe,...), ohne den zeitlichen Zusammenhang zwischen diesen näher zu betrachten. Um eine Aussage über die Autonomie des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus zu tätigen, wird der Eigenverbrauchsgrad bzw. der Autonomiegrad für eine dezentrale sowie eine zentrale Wärmeversorgung errechnet.

Der zeitliche **Eigenverbrauchsgrad EG(T)** zeigt, wie viel von der selbst umgewandelten Energie der dezentralen Erzeugungsanlage direkt von den Verbrauchern genutzt wird. Auch hierbei muss der zeitliche Zusammenhang zwischen den dezentralen Erzeugungsanlagen und den lokalen Verbrauchern miteinbezogen werden, um die rückgespeiste Energie und die bezogene Energie aus dem vorgelagerten Netz zu eruieren.

Die Ermittlung des zeitlichen **Autonomiegrades AG(T)** unter Einbeziehung des zeitlichen Verlaufes der Erzeugercharakteristik, z.B. der Photovoltaik-Anlage (DEA) sowie des zeitlichen Verlaufes der elektrischen Verbraucher (Büro, Haushalt, Gewerbe), zeigt die Energie- bzw. Leistungsunabhängigkeit von der übergeordneten Netzebene.

Die dezentral umgewandelte elektrische Energie aus Photovoltaik-Anlagen beläuft sich im Jahr auf 1,66 MWh (PV Moderat) bzw. 21,6 MWh (PV Intensiv). Aus der bilanziellen Gegenüberstellung des Energieertrages der dezentralen Erzeugungsanlagen und dem Energiebedarf seitens der Last (Haushalt, Büro, Gewerbe, Kältemaschine, Wärmepumpe) ergibt sich ein Mittelwert über alle Quartiere des primären Analyse-Gebietes mit einem **dezentralen Deckungsbeitrages** DB von 5 % (PV Moderat) bzw. 59 % (PV Intensiv).

Das Szenario „PV Moderat“ zeigt aufgrund der geringen Einspeiseleistung (im Vergleich zur Last) einen hohen **Eigenverbrauchsgrad** bzw. einen geringen **Autonomiegrad** für das zukünftige Stadtentwicklungsgebiet. Es ergibt sich ein Mittelwert des **Eigenverbrauchsgrads** ohne Berücksichtigung von dezentralen elektrischen Stromspeichern von 99,9 %. Werden zusätzlich dezentrale elektrische Stromspeicher in den einzelnen Quartieren berücksichtigt, so können 100 % der dezentral umgewandelten Energie in den jeweiligen Quartieren genutzt werden (OIB- und NZE-Standard). Der **Autonomiegrad** für das Szenario „PV Moderat“ liegt mit bzw. ohne Berücksichtigung von dezentralen elektrischen Stromspeichern bei 6 % (OIB-Standard bzw. NZE-Standard).

Das ambitionierte Szenario „PV Intensiv“ zeigt unter Berücksichtigung einer dezentralen Wärmeversorgung ohne dezentrale elektrische Stromspeicher im Mittel (Mittelwert aus den Quartieren des primären Analyse-Gebietes) einen **Eigenverbrauchsgrad** lt. OIB-Standard von 59 % bzw. von 65 % lt. NZE-Standard. Unter Berücksichtigung von dezentralen elektrischen Stromspeichern (100 kWh je Quartier) kann der **Eigenverbrauchsgrad** der einzelnen Quartiere im Mittel (Mittelwert aus den Quartieren des primären Analyse-Gebietes) auf lt. OIB-Standard auf 75 % bzw. lt. NZE-Standard auf 80 % gesteigert werden. Aufgrund der zeitlichen Verschiebung der Erzeugungsleistung (Erzeugungsschwerpunkt in den Mittagsstunden) bzw. des Verbrauches (Verbrauchsspitze in den Abendstunden) liegt der **Autonomiegrad** der einzelnen Quartiere für das Szenario „PV Intensiv“ im Mittel (Mittelwert aus den Quartieren des primären Analyse-Gebietes) lediglich bei 41 % für den OIB-Standard sowie für den NZE-Standard. Durch die Berücksichtigung von dezentralen elektrischen Stromspeichern (100 kWh je Quartier) in den jeweiligen Quartieren kann der **Autonomiegrad** im Mittel (Mittelwert aus den Quartieren) auf 54 % lt. OIB-Standard sowie 53 % lt. NZE-Standard angehoben werden. Der Einsatz dezentraler elektrischer Stromspeicher ist demnach erst bei der Installation einer hohen Photovoltaik-Leistung (PV Intensiv), im Vergleich zur Last, sinnvoll und wirksam [101].

Bei Betrachtung einer zentralen Wärmeversorgung im zukünftigen Stadtteil Graz-Reininghaus ergeben sich **Eigenversorgungsgrade** lt. OIB-Standard von 65 % bzw. lt. NZE-Standard von 71 %. Die zusätzliche Integration eines zentralen Stromspeichers mit einer speicherbaren Energiemenge von 1,6 MWh und einer Be-/Entladeleistung von 0,8 MW ergibt **Eigenversorgungsgrade** im Szenario „PV Intensiv“ lt. OIB-Standard von 72 % bzw. lt. NZE-Standard von 78 %. Aus den Simulationen für das Szenario „PV Intensiv“ können **Autonomiegrade** ohne Stromspeicher lt. OIB-Standard von 36 % bzw. lt. NZE-Standard von 40 % erreicht werden. Bei einer Integration des elektrischen Stromspeichers ist es möglich, den **Autonomiegrad** im OIB-Standard auf 41 % bzw. im NZE-Standard auf 44 % zu erhöhen. Der Vergleich dieser Ergebnisse mit den jeweiligen **Eigenverbrauchsgraden** (OIB-Standard bzw. NZE-Standard / mit bzw. ohne Stromspeicher) der dezentralen Wärmepumpen bzw. dezentralen Stromspeicher ist nur bedingt zulässig, da bei der dezentralen Wärmeaufbringung ein Mittelwert über die einzelne **Eigenverbrauchsgrade** bzw. **Autonomiegrade** der einzelnen Quartiere gebildet wird.

6 Ökonomisch- ökologische Optimierung

Für eine umfassende ökonomisch-ökologische Betrachtung und Optimierung der Energieversorgung des Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus war es notwendig alle Energietechnologien zu definieren, die grundsätzlich für den Einsatz in einem urbanen Umfeld möglich wären. Das bedeutet, dass damit keine Energietechnologie und keine Kombination verschiedener Energieversorgungsszenarien bereits im Vorhinein privilegiert bzw. ausgeschlossen wurde. Der Auswahlprozess sollte sich ausschließlich an den technologischen, ökonomischen und ökologischen Potenzialen der einzelnen Technologien orientieren und die Diskussion um das „ideale“ Energiesystem auf eine breite Basis stellen (Abbildung 6-1, oberste Ebene).



Abbildung 6-1: Auswahlprozess auf der Grundlage der Prozess Netzwerk Synthese (PNS) [103]

In einem ersten Schritt wurden alle für den städtischen Raum gängigen Technologien diskutiert. Im ersten Filter wurde diese breite Auswahl an Technologien durch die Berücksichtigung der lokal-spezifischen Rahmenbedingungen entsprechend reduziert. Die Nutzung von Wind zur Stromerzeugung wurde beispielsweise aufgrund der niedrigen Durchschnittsgeschwindigkeiten im Grazer Raum ausgeschlossen (siehe Kapitel 2.2).

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie in verdichtetem (urbanem) Raum wurde als bedingt nutzbar eingeordnet, da eine Nutzung dessen in der Forschung als umstritten gilt, weil nicht vollständig geklärt ist, ob ein Mindestabstand zwischen Geothermieinstallationen eingehalten werden muss, damit aus der hauptsächlich von der Sonneneinstrahlung gespeisten oberflächennahen Bodenschicht über einen längeren Zeitraum konstant Energie gefördert werden kann. Zudem ist die Nutzung von Biomasse in diesem Teil der Stadt Graz durch gesetzliche Rahmenbedingungen auf der Grundlage der „Grazer Luftschutzzonen“ ebenfalls ausgeschlossen [104].

In der Folge wurde ein Energietechnologienetzwerk definiert, das alle „sinnvollen“ Kombinationen der verbliebenen Technologien in Form von Versorgungsszenarien beinhaltet. Diese sogenannte „Maximalstruktur“ bildete die Ausgangslage für die „Prozess Netzwerk Synthese“ (PNS). Im Rahmen der PNS wurden aus den Maximalstruktur jene Versorgungsszenarien identifiziert, die am besten die Zielfunktion „geringste Lebenszykluskosten“ erfüllten. Für diese als „Optimalstruktur“ bezeichneten Ausprägungen des Energietechnologienetzwerkes wurden im Anschluss die Änderung diverser Rahmenparameter diskutiert und daraus weitere Optimalstrukturen errechnet. Alle Optimierungen wurden auf der Grundlage von Kosten-, Wirkungsgrad- und Ressourcenverfügbarkeitsverhältnissen durchgeführt.

Für eine energetische Langzeitanalyse der Optimalstrukturen wurden die Daten dann in den ELAS-Rechner (Energetische Langzeitanalysen für Siedlungsstrukturen [105]) in den Abfragefenstern Gebäude und elektrische Energie eingegeben und mit zusätzlichen energieraumplanerischen Rahmenparametern und Bewertungsmethoden (kommunale Infrastruktur, Mobilität, volkswirtschaftliche Parameter, ökologische Bewertung etc.), die einen Siedlungsraum betreffen, ergänzt und bewertet. Die Ergebnisse aus PNS und ELAS Rechner stellen schließlich eine gesamthafte energieraumplanerische Übersicht über die Entwicklungsmöglichkeiten des betrachteten Gebietes dar.

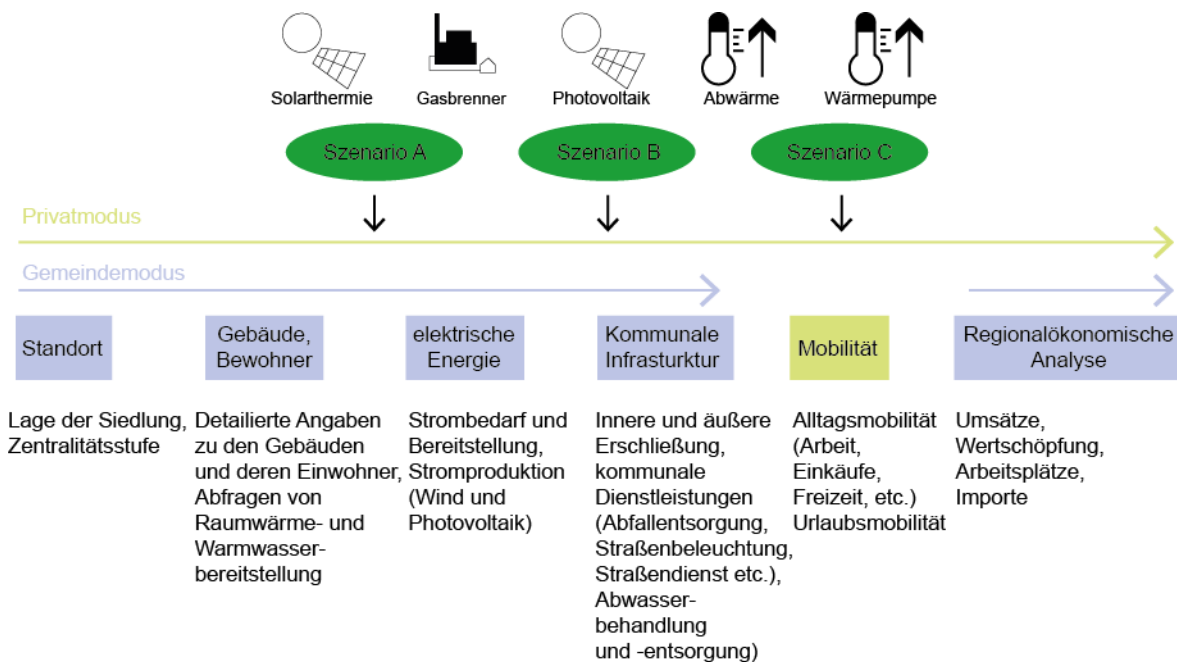


Abbildung 6-2: Bewertung der Energieversorgungszenarien der Optimalstrukturen aus der PNS durch energetische Langzeitanalysen von Siedlungsstrukturen mittels ELAS [105]

6.1 Urbane Energietechnologien

Zur Nutzung lokaler Energiequellen in urbanen Systemen steht eine Reihe von Technologien zur Verfügung. Entsprechend der lokal verfügbaren energetischen Potenziale (siehe Kapitel 2.2) und der anschließend beschriebenen Systemoptimierung werden diese abhängig von den Randbedingungen in unterschiedlichem Maße zum Einsatz kommen. In der Folge werden diese Technologien aufgeführt und im Kontext des urbanen Umfeldes diskutiert, ohne dass dabei auf eine detaillierte Technologiebeschreibung eingegangen wird. Dies deshalb, da die Technologien allgemein bekannt und an anderen Stellen hinreichend beschrieben sind. Nicht diskutiert werden Feuerungstechniken, auch wenn sie grundsätzlich mit urbanen Reststoffen oder Biogas betrieben werden könnten; sie werden aber bei der Systemoptimierung einbezogen.

Fernwärmeversorgung auf unterschiedlichen Temperaturniveaus

Der Bereich Fernwärme gehörte zwischen 2000 und 2012 in Österreich zu den boomenden Wirtschaftszweigen und den stärksten Wachstumsbranchen im Energiesektor. Erzeugung, Netzlänge und Endkundenabgabe stiegen in diesem Zeitraum kräftig an. Derzeit beträgt die Trassenlänge der Heißwassernetze der Wärmeversorgungsunternehmen Österreichs 4603 km (2012). Die jährliche Zubaurate an Trassenlänge soll in den Jahren 2013 bis 2022 bei etwa 92 km (oder 2 %) liegen. Die Fernwärme stellt in der Energieversorgung in Österreich einen wesentlichen Bestandteil der Wärmeversorgung dar. Derzeit werden etwa 22 % aller Wohnungen in Österreich mit Nah- oder Fernwärme beheizt. Wegen der Kosten bei der Fernwärmeverteilung kommt diese Art der Wärmeversorgung insbesondere in Gebieten mit ausreichend hoher Wärmedichte zur Anwendung. Die Fernwärmeversorgung erfolgt vorwiegend durch kommunale Unternehmen. Schwerpunktgebiete der Fernwärmeversorgung sind naturgemäß die einwohnerstärksten Städte Wien, Graz, Linz, Salzburg, Klagenfurt, Villach, St. Pölten und Wels. Aber auch in kleineren Gemeinden kommt die Fernwärmeversorgung zusehends zum Einsatz. [106], [107]. Das Temperaturniveau, mit dem die Fernwärmenetze in Österreich bzw. in Mitteleuropa betrieben werden, bewegt sich zumeist zwischen 80 und 120 °C Vorlauftemperatur. Die maximalen Rücklauftemperaturen erreichen zumeist 50 bis 70 °C. [106] [108] Bei einer Unterscheidung der unterschiedlichen Bauarten von Fernwärmenetzen, hinsichtlich der Temperaturniveaus, können folgende Definitionen (in Anlehnung an [109]) vorgenommen werden:

- **Herkömmliche Fernwärme (FW):** Herkömmliche, derzeit hauptsächlich in Österreich realisierte, Nah- und Fernwärmesysteme werden mit minimalen Vorlauftemperaturen von 70 °C und mehr versorgt.
- **Niedertemperatur-Fernwärme (NT-FW):** Eine NT-FW ist ein Wärmenetz mit einer Vorlauftemperatur, die es ermöglicht eine dezentral, minimal notwendige Trinkwarmwassertemperatur von 45 °C zu erreichen. Damit ergeben sich bei den NT-FW Konzepten in der Regel Vorlauftemperaturen zwischen 50 und 70 °C.
- **Ultra-Niedertemperatur-Fernwärme (U-NT-FW):** Eine U-NT-FW ist ein Wärmenetz mit Vorlauftemperaturen unter 50 °C und verwendet dezentrale, die Temperatur anhebende „Booster Units“ (meist Wärmepumpen), die eine kontinuierliche Bereitstellung von Trinkwarmwasser ermöglichen.

- Kalte Fernwärme (K-FW): Eine Kalte Fernwärme (K-FW) ist eine eher neue Idee. Die Unterscheidung zur U-NT-FW findet sich in der noch niedrigeren Vorlauftemperatur, die im Fernwärmenetz vorherrscht. Hierbei werden Temperaturen von unter 35 °C im Wärmenetz verwendet, die dann – falls nötig – dezentral, meistens von Wärmepumpen, auf das notwendige Temperaturniveau für die Warmwasserbereitung als auch für die Raumwärmeversorgung angehoben werden. Für die Bezeichnung der Kalten Fernwärme werden in der Literatur unterschiedliche Begriffe mit nicht immer eindeutig definierten Vorlauftemperaturniveaus verwendet, was einen Vergleich bzw. eine Einordnung erschwert, z.B. LowEx Fernwärme (45-60 °C), Anergienetz (6-25 °C), Kalte Fernwärme (>30 °C) und 4th Generation District heating (30-70 °C). [103] [108] [110] [111]

Die Anschlussdichte oder Wärmedichte eines Siedlungsgebietes, also der Wärmebedarf der Gebäude innerhalb dieses Gebietes geteilt durch die Trassenlänge bzw. Gebietsfläche, ist ein entscheidender Faktor für die Abschätzung, ob die siedlungsstrukturellen Randbedingungen für eine Fernwärmeversorgung gegeben sind. Unter der Berücksichtigung der lokalen Kostenstrukturen ergeben sich damit Untergrenzen hinsichtlich einer minimal erforderlichen Anschlussdichte von 0,7 - 1,4 (MWh/a) pro Trassenmeter [94]. Hinsichtlich der Wärmedichte werden in der Literatur 15 - 30 GWh/(km².a) als sinnvolle Grenze angegeben [112] [106].

Der Ausbau der Fernwärme in Gebieten mit geringerer Wärmedichte scheitert zumeist aufgrund zu hoher Investitionskosten und Wärmeverluste der verbauten Wärmeverteilung. Eine Reduktion der Kosten sowie der Verluste [113] durch eine deutliche Reduktion der Netzvorlauftemperaturen ermöglicht es, neue Gebiete mit deutlich geringeren Wärmedichten als bisher zu versorgen.

Momentan bewegen sich die Investitionskosten je Trassenlänge im urbanen Raum zwischen 300 €/m (DN 20) und 600 €/m (DN 140) [111] [114] und [115]. Durch einen Wechsel auf ein flexibles Twin-Rohr-Konzept aus Polyethylen (PE-Xa) und einen weitgehenden Verzicht auf Leitungsdämmung können die Investitionskosten deutlich reduziert werden. So ergaben sich in realen Anwendungsfällen Kosten, die um etwa 30 % bis 50 % unter den Baukosten für konventionelle Fernwärmeleitungen liegen [113]. Nachdem sich die kalte Fernwärme (K-FW) als Lösungskonzept mit einem Wärmetransport auf einem sehr niedrigen Temperaturniveau auszeichnet, eignen sich als Wärmequellen insbesondere regenerative Niedertemperaturquellen wie Solarenergie, Umgebungswärme (z.B. Regenwasser, Flusswasser, Grundwasser, Oberflächenwasser, Tunnelwasser, Sickerwasser), geothermische Wärme und „Abfallwärme“ aus lokalen Quellen wie z.B. Industrieanlagen. Zum Anheben der niedrigen Vorlauftemperaturen auf ein nutzbares Niveau werden i.d.R. elektrische Wärmepumpen eingesetzt. Diese können als kleine Einheiten dezentral in jedem einzelnen Gebäude oder alternativ als größere Einheiten zentral in Kopfstationen mit nachgeschaltetem Wärmenetz (auf höherem Temperaturniveau) realisiert werden. Vorteile der zweiten Alternative liegen im geringeren spezifischen Investitionspreis (pro Kilowatt elektrisch) und in der höheren Effizienz einer größeren Wärmepumpe.

Solarthermie

Die einfachste und unmittelbarste Technologie für die Herstellung von Wärme aus erneuerbaren Energieträgern ist die Solarthermie. Für Niedertemperaturwärme, wie sie zur Warmwasserbereitung und Raumheizung, aber auch für die meisten gewerblichen Anwendungen ausreicht, werden verglaste Flachkollektoren eingesetzt.

Im Solardachkataster für Graz wurden für die Ermittlung des nutzbaren Solarertrages für die Warmwasseraufbereitung an "sehr gut" bewerteten Dachflächen 360 kWh/m² und an "gut" bewerteten Flächen 300 kWh/m² festgesetzt [116]. Die Kriterien für „sehr gut“ bzw. „gut“ leiten sich von der Südausrichtung und der Neigung ab.

Solarpotenzial in Abhängigkeit von Neigung und Ausrichtung Klassifizierung für thermische Solaranlagen

Ausrichtung Neigung			WEST		SÜD - WEST		SÜD		SÜD - OST		OST		
	> 110	90-110	70-90	50-70	30-50	10-30	10-[-10]	10-30	30-50	50-70	70-90	90-110	> 110
0-10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10-20			2	2	2	2	2	2	2	2	2		
20-30				2	2	1	1	1	2	2			
30-40				2	1	1	1	1	1	2			
40-50				2	1	1	1	1	1	2			
50-60					2	1	1	1	2				
60-70					2	2	2	2	2		sehr gut geeignet		
70-80							2				gut geeignet		
80-90		© Stadtvermessungsamt Graz											

Abbildung 6-3: Eignung von Flächen für thermische Solaranlagen in Graz [116]

Elektrisch erzeugte Wärmeenergie

Wärme kann vor Ort aus elektrischer Energie hergestellt werden. Stammt der Strom aus einer urbanen Energiequelle (siehe 2.2), kann auch die Wärme als lokal und erneuerbar gelten. Die einfachste Technologie zur Wärmeerzeugung aus Strom sind Widerstandsheizungen. Diese wurden in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts als Nachtspeicherheizungen verbreitet eingesetzt. Hierbei wurde billiger Nachstrom in entsprechenden – meist keramischen – Heizelementen für den Tag gespeichert. Heute wird diese Technologie häufig unter der Bezeichnung Power2Heat (P2H) für die Verwendung von Überschussstrom aus Wind- und Photovoltaikanlagen propagiert. Für die Warmwasserbereitung ist diese Technologie auch heute noch weit verbreitet, wobei in Zeiten niedriger Stromtarife Heißwasser für eine spätere Verwendung erwärmt wird. Energetisch effizienter als Widerstandsheizungen sind elektrisch betriebene Wärmepumpen. Bei diesen wird der Anergiebestandteil der Wärme aus einer „Anergiequelle“ entnommen und nur der exergetische Teil aus dem Stromnetz. Die Effizienz der Wärmepumpen wird durch die Leistungszahl beschrieben, die angibt, wie oft die elektrische Antriebsleistung durch den Wärmepumpenprozess vervielfacht wird. Übliche Leistungszahlen liegen zwischen 2 und 4, stark abhängig von den Temperaturniveaus von Anergiequelle und Nutzwärme. Als Anergiequelle im urbanen Bereich kommen infrage: Erdreich, Brunnenwasser, Außenluft, Abwasser, thermische Solaranlagen sowie Abwärme aus Kühl- oder Klimaanlage oder gewerblichen Prozessen.

Wärmepumpen

Wärmepumpen und Kältemaschinen sind Aggregate, mit denen der natürliche Wärmefluss von einem höheren zu einem tieferen Temperaturniveau durch Zufuhr von Arbeit (zumeist elektrische Arbeit) umgekehrt wird. Nutzt man die auf tieferem Temperaturniveau entnommene Wärme zur Kühlung, spricht man von einer Kältemaschine. Nutzt man die auf dem tieferen Temperaturniveau entnommene und auf ein höheres Temperaturniveau gebrachte – "gepumpte" – Wärme für Heizzwecke, so nennt man dies eine Wärmepumpe.

Die Wärmepumpe besteht im Wesentlichen aus vier Bauteilen: dem Verdampfer, dem Kompressor, dem Verflüssiger und dem Entspannungsventil. Im Verdampfer entzieht das Kältemittel bei einem Druck von etwa 3 bar (abhängig vom Kältemittel) seiner Umgebung sensible Wärme, ohne sich jedoch selbst dabei wesentlich zu erwärmen, da die Wärme als latente Verdampfungswärme aufgenommen wird. Durch den Kompressor (Verdichter) wird das Kältemittel dann verdichtet, der Druck wird somit erhöht, wodurch die Temperatur des Kältemittels ansteigt. Der Kompressor benötigt Antriebsenergie, die üblicherweise in Form von elektrischem Strom zugeführt wird. Durch den hohen Druck steigt der Kondensationspunkt des Kältemittels so stark an, dass eine Wärmeübertragung auf den Nutzkreislauf, hier den Heizungskreislauf, möglich wird. Im Verflüssiger kondensiert das unter hohem Druck stehende Kältemittel und gibt dabei seine Wärme an den Nutzkreislauf (z.B. Fußbodenheizung) ab. Anschließend strömt das Kältemittel durch das Entspannungsventil. Durch den Druckverlust kühlt es stark ab und kann im Verdampfer wieder Wärme aus der Umgebung aufnehmen.

Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Umgebungswärme und Heizkreislauf ist, desto effizienter arbeiten Wärmepumpen. Heizungssysteme mit niedrigen Vorlauftemperaturen (z.B. Fußbodenheizung) lassen sich daher besonders effizient mit Wärmepumpen betreiben. Als Wärmequellen werden üblicherweise Erdreich, Luft oder Wasser genutzt. Des Weiteren kann aber auch Abwärme aus der Industrie und von Abwasser genutzt werden. Von den im Jahr 2013 in Österreich installierten Wärmepumpen verwendeten 35 % Erdreich als Wärmequelle und 59 % der installierten Anlagen nutzten die Wärmequelle Luft. Die restlichen Anlagen nutzen Wasser als Wärmequelle [117]. Bei der Verwendung von Wasser als Wärmequelle kann Oberflächen-, Grund- oder Abwasser genutzt werden. Eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung von See- oder Flusswasser ist, dass dieses ganzjährig ein ausreichend hohes Temperaturniveau aufweisen muss. Oberflächenwasser folgt in seinem Temperaturniveau zeitverzögert dem Außentemperaturverlauf, die Wassertemperatur darf jedoch auch bei einer Abkühlung um 4 K bis 5 K nicht unter den Gefrierpunkt absinken, da sonst die Wärmetauscher vereisen. Grundwasser weist das ganze Jahr über eine nahezu konstante Temperatur von etwa 10 °C auf.

Über einen Förderbrunnen wird das Wasser entnommen, über den Verdampfer geleitet und anschließend in einem Schluckbrunnen wieder dem Grundwasser zugeführt (offenes System). Grundwasserwärmepumpen können auch im tiefsten Winter wirtschaftlich eingesetzt werden.

Die **Außenluft** stellt ein leicht zu erschließendes Energiepotenzial dar. Allerdings unterliegt der Temperaturverlauf großen Schwankungen. Gerade während des größten Wärmebedarfs im Winter sind die Lufttemperaturen am niedrigsten. Besser eignet sich die Abluft einer Lüftungsanlage, die kontinuierlich ein hohes Temperaturniveau aufweist. Bei der Nutzung von **Erdreich** als Wärmequelle können entweder Rohrregister oder Erdsonden eingesetzt werden. Rohrregister werden in einer Tiefe von etwa 1,5 bis 2 m flächig im Erdreich verlegt. Meist wird ein Wasser-Glykol-Gemisch durch das Rohrregister gepumpt und gibt die Wärme an den Verdampfer ab. Das Erdreich sollte eine möglichst gute Wärmeleitfähigkeit und eine hohe Wärmekapazität besitzen. Feuchtlehmige Böden eignen sich besser als trocken-sandige Böden. Die notwendige Verlegefläche des Rohrregisters beträgt bei heutigen Neubauten das 1,5 bis 2,0 fache der beheizten Gebäudefläche. Senkrecht in die Erde gebohrte Erdsonden eignen sich für kleinere Grundstücke oder für den nachträglichen Einbau im Rahmen einer Sanierung. Ab einer Tiefe von 15 m liegt die Erdreichtemperatur das ganze Jahr über konstant bei 10 bis 14 °C. Meist wird über eine Bohrung ein Kunststoffrohr in die Erde eingebracht, durch das das Wasser-Glykol-Gemisch gepumpt wird.

Kühlung

Raumkühlung und gewerbliche Kälte werden i.A. durch Kompressionsanlagen hergestellt. Das technologische Prinzip entspricht dem der Wärmepumpe, aber es wird das „kalte Ende“ des Prozesses genutzt. Anwendungen, bei denen beide Effekte – Kühlung und Heizung – genutzt werden können, sind anzustreben. In Kombination mit thermischen Solaranlagen oder hochwertiger Abwärme können Absorptionskältemaschinen eingesetzt werden.

Urbane Stromerzeugung aus regenerierbaren Quellen

Für Graz kommt wegen des sehr geringen Angebotes an Wind für die urbane Stromerzeugung nur die Photovoltaik infrage. Wie bei thermischen Solaranlagen ist die Eignung von Flächen von der Neigung und der Südausrichtung abhängig. Photovoltaikanlagen sind aber weniger sensibel auf die Ausrichtung, sodass auch vertikale Fassaden geeignet sind. Für die Photovoltaik wurden für den Grazer Solardachkataster die als "sehr gut" bewerteten Dachflächen mit 85 kWh/m² und die als "gut" bewerteten Flächen mit 73 kWh/m² [116] festgesetzt. Diese Werte sind als sehr konservativ anzusehen und können in den meisten Fällen deutlich übertroffen werden. Nachdem auch in Graz viele Photovoltaikanlagen an Fassaden bestehen, ist auch das Potenzial bei einer 90°-Neigung nicht zu vernachlässigen.

Solarpotenzial in Abhängigkeit von Neigung und Ausrichtung Klassifizierung für thermische Solaranlagen

Ausrichtung Neigung			WEST		SÜD - WEST		SÜD		SÜD - OST		OST		
	> 110	90-110	70-90	50-70	30-50	10-30	10-[-10]	10-30	30-50	50-70	70-90	90-110	> 110
0-10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10-20		2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
20-30		2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
30-40			2	2	1	1	1	1	1	2			
40-50				2	1	1	1	1	1	2			
50-60					2	2	1	2	2				
60-70						2	2	2			sehr gut geeignet		
70-80											gut geeignet		
80-90		© Stadtvermessungsamt Graz											

Abbildung 6-4: Eignung von Flächen für Photovoltaikanlagen in Graz [116]

Biogas aus Abfällen und Abwasser

Eine Biogasanlage wandelt auf Basis eines einstufigen, mesophilen Nassverfahrens mit einer Gärreakortemperatur von circa 37 °C organische Materialien um. Im Laufe des Behandlungsprozesses entsteht durch die Tätigkeit von Mikroorganismen ein Mischgas, das zu 40 bis 70 Prozent aus Methan besteht. Es eignet sich daher als Energieträger. Dieses wird verbrannt und zur Wärmeerzeugung genutzt oder in Gasmotoren zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. Gegenüber der Kompostierung als Technologie zur Verarbeitung von Bioabfällen hat die Vergärung den Vorteil, dass nutzbare Energie gewonnen wird. Die Nebenprodukte sind Abwasser und Substrat, das als Dünger genutzt werden kann. Biogasanlagen eignen sich nicht als direkte urbane Technologie im dicht bebauten Gebiet, da mit ihnen das Risiko einer Geruchsbelästigung verbunden ist. Neue Entwicklungen lassen hier aber Änderungen erwarten. Zukunftsfähig scheint eine Kombination der Nutzung der biogenen Abfälle gemeinsam mit Fäkalien, wenn die Toilettensysteme wassersparend ausgelegt sind, wie z.B. Vakuumtoiletten.

Kraft-Wärme-Kopplungen

Aus wirtschaftlichen und energietechnischen Gründen sind Technologien, die zwei oder mehrere Arten von Energien bereitstellen, vorteilhaft. Die gekoppelte Herstellung von Kraft und Wärme hat eine lange Tradition (KWK- oder WKK-Anlagen). Viele Systeme zur Versorgung mit Fernwärme basieren auf Heizkraftwerken, wo Dampf vor der letzten Entspannungsstufe der Turbine zur Wärmebereitstellung ausgekoppelt wird. Der dadurch entstandene Verlust an Stromproduktion ist im Verhältnis zum Wärmegewinn gering. Trotzdem handelt es sich auch hier nicht um eine Abwärmenutzung beim Kraftwerk, sondern eben um eine Koppelproduktion. Als Brennstoffe für derartige Anlagen kommen alle klassischen Energieträger wie Kohle, Heizöl, Erdgas, Biomasse und Müll in Frage. Kleinere Anlagen arbeiten nicht mit Wasser als Kreislaufmedium, sondern mit organischen Gasen; sie heißen deswegen ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle). Das Verfahren kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn das zur Verfügung stehende Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und -senke zu niedrig für den Betrieb einer von Wasserdampf angetriebenen Turbine ist. Das ist vor allem bei der Stromerzeugung mit Hilfe der Geothermie, kleinen Biomasseanlagen sowie bei Solarkraftwerken der Fall. Wird durch die Feuerung nicht ein Dampfkreislauf, sondern ein Gaskreislauf betrieben, spricht man von einem Stirlingmotor. Ein Arbeitsgas wie Luft, Helium oder Wasserstoff wird hierbei in einem abgeschlossenen Volumen von außen in einem Bereich erhitzt, in einem anderen gekühlt, um mechanische Arbeit zu leisten. Dadurch kann der Stirlingmotor mit einer beliebigen äußeren Wärmequelle betrieben werden. In kleinerem Maßstab – bis einige MW – sind eher Blockheizkraftwerke als Dampfturbinen zur gekoppelten Strom- und Wärmeproduktion im Einsatz. Hier werden Motoren i.A. mit Erdgas betrieben, gelegentlich auch mit Öl, aber auch mit Biogas, Deponiegas oder Klärgas. Die Basis bietet hierbei ein Verbrennungskraftmotor, der einen Stromgenerator treibt und dessen Abwärme zu Heizzwecken verwendet wird. Es wird zwischen strom- und wärmegeführter Auslegung von KWK-Anlagen unterschieden, je nach der Priorität, die einer der beiden Energieformen zugemessen wird. Stromgeführte Anlagen (KWK) optimieren den Stromertrag, wärmegeführte Anlagen (WKK) den Wärmeertrag. Der höchste Nutzungsgrad wird mit wärmegeführter Auslegung erzielt, weil dabei die gesamte Koppelwärme genutzt werden kann. Aus wirtschaftlicher Sicht hängt es von den Preisverhältnissen Gas/Strom/Wärme ab, welche Betriebsweise gewählt wird.

Wärmerückgewinnung bei Kühlanlagen

Durch eine Wärmerückgewinnung bei Kühlanlagen erhält man eine gekoppelte Herstellung von Kälte und Wärme. Wegen des zeitlich unterschiedlichen Bedarfs beider Energiedienstleistungen sind jedenfalls Speicher vorzusehen. Trotz des zusätzlichen Aufwandes ist die Energieeffizienz höher als bei einer getrennten Herstellung der Wärme und Kälte.

Hybridkollektoren

Hybridkollektoren vereinen Solarthermie und Photovoltaik innerhalb eines Kollektors. Diese Kombination bezeichnet man als Photothermie oder Thermovoltaik. Der Hybridkollektor erzeugt Strom und Wärme gleichzeitig. Da der Wirkungsgrad von Photovoltaikmodulen mit der Temperatur abnimmt, ist eine Kühlung sinnvoll. Gleichzeitig versucht man aber bei thermischen Kollektoren eine möglichst hohe Temperatur zu erreichen. Hybridkollektoren sind somit zur Herstellung von Strom und Wärme sinnvoll, wenn eine große Menge an Niedertemperaturwärme benötigt wird.

Um nachvollziehen zu können, wie die einzelnen Technologien in der folgenden Optimierung eingeflossen sind, ist es wichtig in die Herangehensweise und dafür verwendete Methode näher eingeführt zu werden.

6.2 Das maximale Technologienetzwerk

Die durchgeführte Optimierung der urbanen Energiesysteme erfolgt auf zwei Betrachtungsebenen. Einerseits auf der Ebene einzelner Gebäudeverbände, zur Optimierung einzelner Quartiere, und andererseits auf der Ebene des gesamten Stadtentwicklungsgebietes Graz-Reininghaus. Aufgrund der aktuellen Realisierungsschritte der einzelnen Stadtquartiere und nach Rücksprache mit den beteiligten Ämtern der Stadt Graz wurden im Zuge der Bearbeitung schwerpunktmäßig die Energieversorgungs-szenarien des primären Analyse-Gebietes und des sekundären Analyse-Gebietes optimiert (Abbildung 3-10). Die Optimierung des Energiesystems durch Prozess-Netzwerk-Synthese (PNS) wurde wie folgt durchgeführt:

- Die Prozess-Netzwerk-Synthese (PNS) ist eine Methode, um Systeme, die auf Material- und Energieflüssen basieren, zu optimieren. Hauptziel ist die Generierung eines ökonomisch optimierten Netzwerks, in dem mittels unterschiedlicher Prozesstechnologien gegebene Ressourcen in Produkte (inklusive Strom und Wärme) umgewandelt werden. Daher erlaubt diese Methode sowohl eine Optimierung der Prozessstruktur selbst als auch die Optimierung der entsprechenden Flüsse in einer Prozesseinheit.
- Der PNS liegt die sogenannte P-Graph-Methode zugrunde. Hierbei werden Technologiestrukturen ermittelt, die verfügbare Ressourcen in unterschiedliche Produkte oder Dienstleistungen überführen, wobei die In- und Outputs eindeutig durch die Anforderungen der jeweiligen Technologie-Elemente vorgegeben sind. In die Optimierung fließen Zeitabhängigkeiten wie beispielsweise die Ressourcenverfügbarkeit (z.B. Industrielle Abwärme) oder die Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen (z.B. die variierenden Wärmebedarfe von Gebäuden) im Laufe eines Jahres ein. Die notwendigen Eingaben inkludieren Massen- und Energiebilanzen, Investitions- und Betriebskosten von Technologien im Netzwerk, Kosten für Rohmaterialien bzw. Hilfsstoffe und für Infrastruktur, Preise für Produkte und Dienstleistungen (auch Transportdistanzen/-kosten) sowie Einschränkungen hinsichtlich Ressourcenangebot und Produkt- oder Dienstleistungsnachfrage. Die Investitionskosten für Technologien werden über eine vom Anwender festgelegte Dauer abgeschrieben, wobei je nach Technologie unterschiedliche Abschreibungs- bzw. Nutzungsdauern festgelegt werden können. Dies kann z.B. bei der Einbindung solarer Technologien nötig sein, da hier längere Abschreibungszeiten zur Anwendung kommen.
- Grundlage der PNS-Optimierung bildet ein aufgrund der Methode des P-Graph aufgesetztes Maximalsystem eines Technologienetzwerkes aus dem mittels Prozess-Netzwerk-Synthese eine Superstruktur generiert wird. Es handelt sich hierbei um ein Netzwerk, das die verfügbaren Rohstoffe (Input-Materialien der Struktur) sowie alle in Frage kommenden Technologien mit entsprechenden Verschaltungsmöglichkeiten enthält und die Rahmenbedingungen und Anforderungen an das Netzwerk berücksichtigt.

- Nach Erstellung des maximal möglichen Technologienetzwerkes im Programm unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen, Preissituationen, Kostenstrukturen etc. generiert die PNS ein Maximalnetzwerk aller theoretisch möglichen Verknüpfungen. Anschließend kann mit Hilfe der PNS das aus ökonomischer Sicht optimale Netzwerk ermittelt werden.

Abbildung 6-5 zeigt eine vereinfachte Darstellung der technologischen Pfade zur Bereitstellung der erforderlichen Energiedienstleistungen in einem urbanen Umfeld. Durch die Generierung von Szenarien (z.B. Veränderung der Rahmenbedingungen, angepasste Preissituationen, Erweiterung oder Beschränkung der Technologieauswahl etc.) wird es möglich, aus einer Vielzahl jene Struktur auszuwählen, die für die betrachtete Region (z.B. einen Stadtteil) am besten passt und dadurch eine hohes Maß an Realisierbarkeit mit sich bringt. Hierbei ist es wichtig eine bestmögliche Einbindung bestehender Potenziale (Abfallströme, regionale Ressourcen) zu berücksichtigen. Dies wird durch die Anwendung der PNS möglich und das macht sie zu einem interessanten Werkzeug, um Entscheidungsprozesse zu unterstützen und Argumentationslinien für eine umfassende gemeinschaftliche energieraumplanerische Entwicklung zu schaffen.

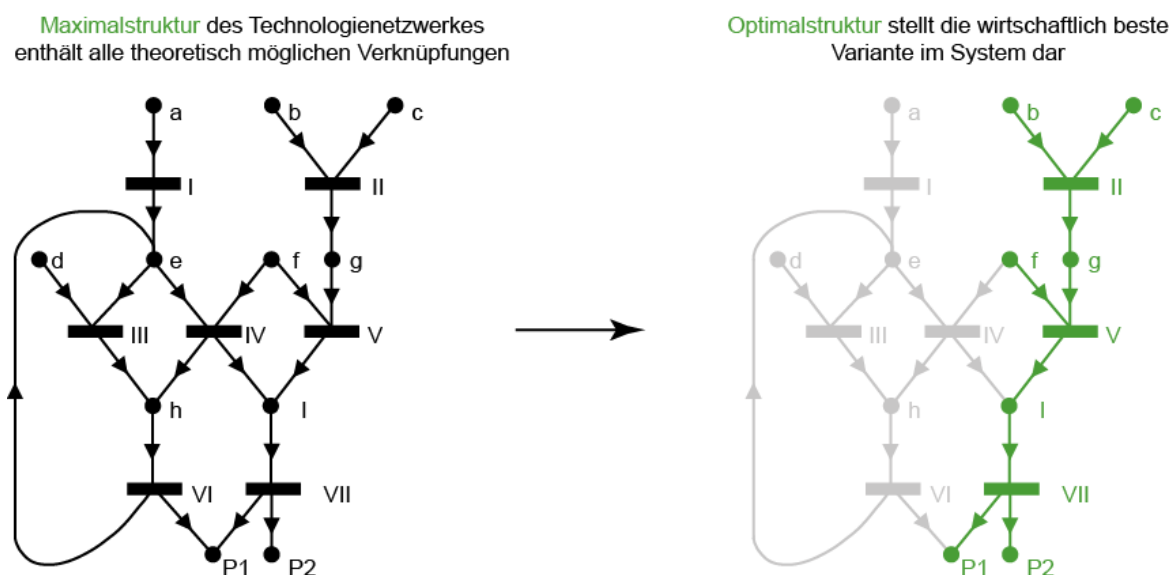


Abbildung 6-5: PNS-Maximalstruktur und Optimalstruktur eines Technologienetzwerkes

Mit Hilfe dieses Ansatzes wird das urbane Energiesystem Graz-Reininghaus optimiert. Die Bandbreite monetärer, ressourcenseitiger und technologischer Pfade im urbanen Energiesystem kann auf dieser Basis offen diskutiert werden. Mittels PNS wurde ein maximales Technologie- und Ressourcennutzungsnetzwerk aufgebaut. Im ersten Schritt wurden die im Projekt errechneten Angebots- und Nachfragepotenziale als Rahmenbedingungen für die PNS-Struktur adaptiert (siehe Abbildung 6-6). Als Betrachtungsgebiet wurde das primäre und das sekundäre Analyse-Gebiet gewählt (Abbildung 3-10). Die Standorte, an denen ungenutztes Energiepotenzial verfügbar ist, der Bestand von bereits installierten Gas- und Wärmeleitungen sowie mögliche zentrale und dezentrale Energietechnologien sind in Abbildung 6-6 schematisch dargestellt.

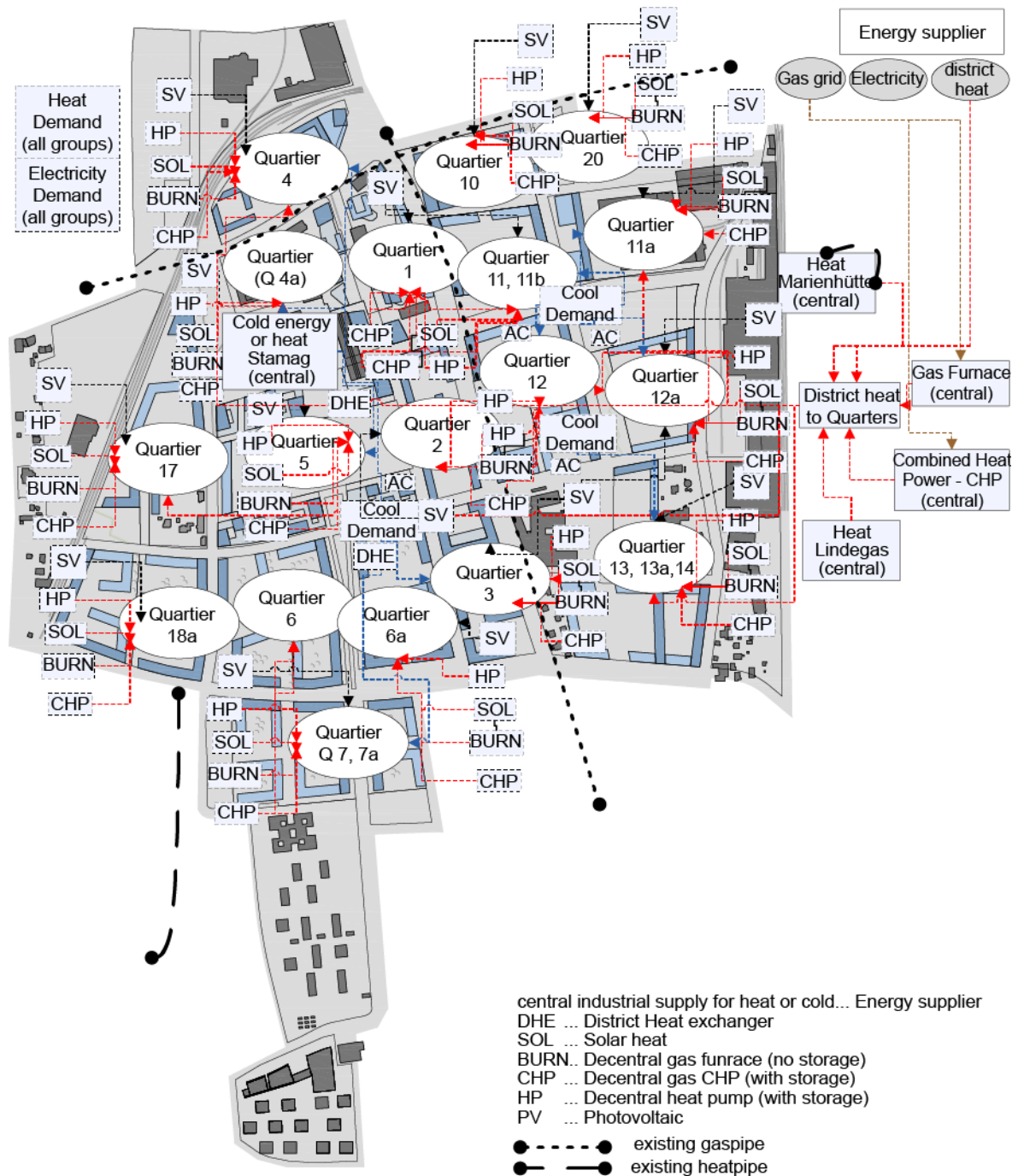


Abbildung 6-6: Schematische Übersicht des maximalen Energietechnologienetzwerkes am betrachteten primären und sekundären Analyse-Gebiet

Um den Gas-, Kaltwasser- und Wärmetransport sinngemäß darstellen zu können, wurden Entfernungen zwischen den Energieversorgern errechnet und die Entfernungen für mögliche Erdgas- und Fernwärmeversorgungsleitungen festgelegt. Für die PNS-Technologiestruktur wurden Technologien erlaubt, die ungenützte Abwärme- bzw. Kühlströme nutzen können, um die festgelegten Quartiere zu versorgen. Einerseits wurden „dezentrale Technologien“ zugelassen, mit denen Solarthermie, Gasbrenner, KWK-Anlagen, PV, Klimaanlage, Wärmetauscher und Wärmepumpen direkt im jeweiligen Quartier modelliert werden können.

Andererseits wurden ebenso „zentrale Technologien“ zugelassen (Gasbrenner, KWK-Anlagen, Wärmepumpen, Wärmetauscher), mit denen Kühlenergie (Tiefenbrunnen), Wärme und elektrische Energie bereitgestellt werden können und die die bereits vorhandenen Abwärmeströme der Industrie in diesem Gebiet an ihrer Quelle auswerten. Zur Versorgung der Quartiere wurden entsprechende Verteilungsnetze von diesen zentralen Energiequellen aus modelliert. Es wurden Versorgungsleitungen, industrielle Wärme- und Kaltwasserquellen und die zentral möglichen Technologien definiert sowie die Optimierung und Szenarienbildung (siehe Abbildung 6-7) vorgenommen.

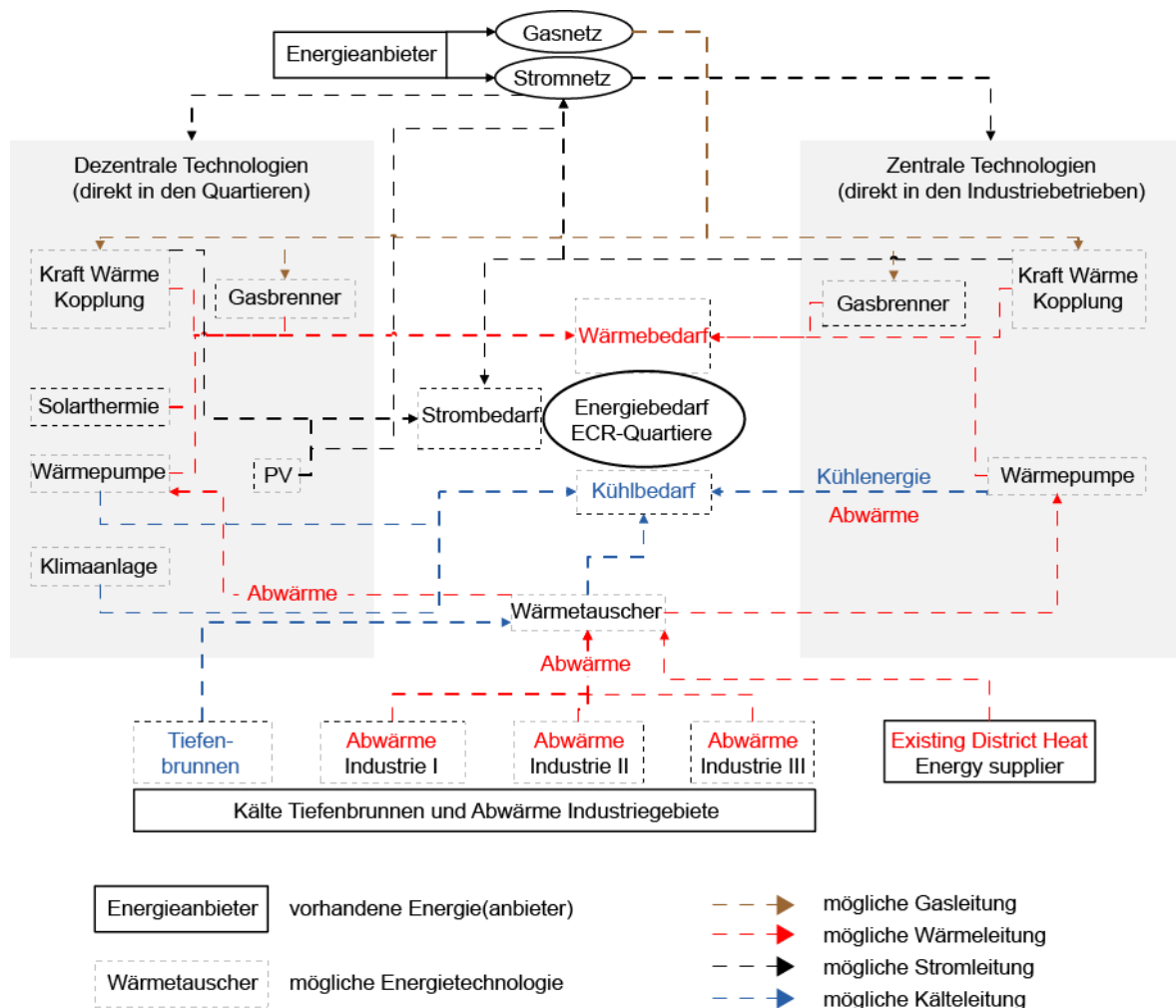


Abbildung 6-7: Energieversorgung und mögliche Technologien

6.3 Erstellung von Umsetzungsszenarien

Alle weiterführenden Erläuterungen beziehen sich auf ein Betrachtungsgebiet, das der Summe aus den Quartieren des primären Analyse-Gebietes und den Quartieren des sekundären Analyse-Gebietes entspricht. Die Energiesystemoptimierung wird für eine Gesamtgrundstücksfläche von 490.211 m² und eine Bruttogeschoßfläche von 781.266 m² als relevante Bezugsflächen vorgenommen. Die Annahmen zum energetischen Jahresbedarf (Warmwasser, Heizen, Kühlen und elektrischem Strom) wurden mit den anderen Partnern abgestimmt.

Im zugehörigen Annexbericht sind des Weiteren Szenarien mit einer Gebietseinschränkung auf die Quartiere 1+4a erstellt worden, da dort bereits die weiterführende Umsetzung der Bebauung durch einen Investor im Laufen ist (siehe Kapitel 3.4).

Da der Energiebedarf bei unterschiedlichen Baustandards sehr stark variieren kann, wurden die Optimierungen für zwei energietechnische Gebäudestandards vorgenommen. Als für das Gebiet wahrscheinlichster energietechnischer Gebäudestandard wurde der gesetzlich festgelegte aktuelle Mindeststandard nach OIB-Richtlinie 6 angesetzt. Zudem wurde stellvertretend für die untere Grenze des Energieverbrauchs zusätzlich ein stark wärmebedarfsreduzierter NZE-Standard definiert (siehe Kapitel 2.4). In Abbildung 6-8 sind die dafür errechneten Bedarfswerte auszulesen.

	Heizwärmebedarf [MWh/a]	Warmwasserwärmebedarf [MWh/a]	Kühlbedarf [MWh/a]	Elektrizität [MWh/a]
OIB-Standard	41.125	9.649	3.569	29.495
NZE-Standard	8.824	9.649	8.763	29.495

Abbildung 6-8: Angesetzte Bedarfswerte im betrachteten primären und sekundären Analyse-Gebiet. Nichtberücksichtigung von Pumpen- und Lüfterleistung aus Gründen der Vergleichbarkeit. Zusätzlich ist hierbei ein Eigenstrombedarf im untersuchten primären und sekundären Analyse-Gebiet bei den in der Optimalstruktur ausgewählten Technologien vorhanden.

Für die Berechnung des optimalen Energietechnologienetzwerkes wurden die Energiebedarfe der betroffenen Quartiere über die Jahreskurven der benötigten Energie für Endverbraucher zu drei Perioden zusammengefasst. Aufgrund jahreszeitlich unterschiedlicher Bedarfssituationen wurden jeweils die Monate November bis Februar (Winter); März, April, September und Oktober (Zwischenperiode) und Mai bis August (Sommer) kumuliert.

Kosten- und Verkaufserlössituation

Die Preise der Energieträger wurden in Bezug auf die Abnahmemenge laut aktuell verfügbarer Marktpreise gestaffelt. Von möglichen Abwärme- bzw. Kaltwasserabgabestellen konnten so scharfe Preisgrenzen eingestellt werden. Das bedeutet, dass, um die Preisstabilität unterschiedlicher Technologien bzw. Ressourcennutzungspfade zu überprüfen, für die vor Ort verfügbaren Abwärme- bzw. Kaltwasserressourcen so hohe Einkaufspreise angenommen wurden, dass die entsprechenden Energieträger in der Optimalstruktur enthalten sind. Um spezifischere Aussagen über Entwicklungsmöglichkeiten der Energieversorgung im Gebiet und in Diskussion mit den Stakeholdern treten zu können, wurden mehrere Kostenszenarien gerechnet. Die Berechnungen wurden aus Investorensicht vorgenommen. Es wurde daher das optimale Energieversorgungssystem errechnet, das aus Sicht des Investors oder einer Investorengruppe errichtet werden sollte. Die für die Optimierung des Gesamtenergietechnologiesystems angenommenen Technologiekosten und Energieeinkaufs- bzw. Verkaufserlössituationen sowie weiterführende Szenarien sind im entsprechenden Annexbericht nachzulesen. Die Kosten richten sich nach der zur Projektlaufzeit aktuellen Marktlage. Bei den Abwärme- und Kaltwasserressourcen wurden Kosten angenommen, die bewusst hoch an scharfe Preisgrenzen heran angesetzt wurden, wo gerade noch Abwärme in Kostenkonkurrenz zu den anderen Ressourcen in der Optimalstruktur zum Einsatz kommen würde.

Die Berechnung der Abwärme-/Kaltwassergrenzpreise über die Konkurrenzsituation innerhalb der Optimierung hatte den Grund, dass Realpreise einerseits noch nicht verfügbar waren und andererseits diese Konkurrenzgrenze Aufschluss geben kann, welchen Spielrahmen Industriebetriebe und Investoren haben, wenn sie Installationen für eine Nutzung und Überführung von Abwärme bzw. Kaltwasser für eine Weiternutzung in Energieversorgungskreisläufe tätigen.

6.4 Optimalergebnis und Szenarienvergleich

Nach Eingabe der folgenden Aspekte wurde mit Hilfe der Prozess-Netzwerk-Synthese (PNS) ein optimales Energietechnologienetzwerk errechnet.

- lokal verfügbare Ressourcen (Abwärme, Brunnenwasser, Solareinstrahlung, ..)
- des Wärme- und Strombedarfes der Gebäude – sowie der Leitungsinfrastruktur
- technologiespezifische Daten wie Wirkungsgrade, unterschiedliche Leistungsdimensionen der Anlagen, Transportdistanzen sowie der räumliche Gliederung (Heterogenität, Quartiere,..)
- Investitionskosten, der Preise für Energiebezug und -export
- lokalspezifische Einschränkungen

Optimalergebnisse und Szenarien aus den Systemsimulationen

Das Optimalergebnis aus der Betrachtung der Ressourcen-, Infrastruktur- (v.a. Leitungen) und Kosten-/Verkaufspreissituation zeigt eine Optimalstruktur zu Preisen am lokalen Energiemarkt. Abbildung 6-9 und Abbildung 6-10 zeigen die Optimalstrukturen der Gesamtenergieversorgungssysteme bei OIB- und NZE- Gebäudestandard für das primäre und das sekundäre Analyse-Gebiet. Hintergrund beider Abbildungen ist das mögliche Gesamtenergiesystem mit dem Energiebedarf im Zentrum, den möglichen zentralen Technologien an der rechten Bildseite und den möglichen dezentralen in den Gebäuden unterbringbaren Technologien im linken Drittel. Unten sind die drei lokal verfügbaren externen industriellen Abwärmequellen und der mögliche Fernwärmeanschluss dargestellt wie auch das Brunnenwasser mit dem bestehenden Wasserrecht, oben die verfügbaren Netze für Strom und Gas. Die Optimierungsergebnisse sind wie folgt dargestellt:

- rot: ausgewählte Technologien zur Wärmeversorgung
- grün: ausgewählte Technologien zu Stromversorgung
- blau: ausgewählte Technologien für Klimatisierung

Die Optimierung des Energiesystems für die Wärme ergibt bei einem Wärmebedarf nach OIB (Abbildung 6-9), dass eine Kombination zwischen Nutzung der Abwärme aus dem Stahlwerk über Wärmepumpen, Gaskessel in ausgewählten Gebäuden und dezentraler Wärmepumpen unter Nutzung der industrieller Abwärme in Verbindung mit einer Klimatisierung optimal ist. Die Kühlung erfolgt vorwiegend über das Brunnenwasser und Klimaanlage mit Wärmerückgewinnung. Der Strom wird vorwiegend von extern bezogen und durch eigene PV-Anlagen unterstützt. Unter Annahme von Nahe-Nullenergie-Häusern (NZE-Gebäudestandard, Abbildung 6-10) fallen die dezentralen Wärmepumpen mit Wärmerückgewinnung aus der Optimalstruktur.

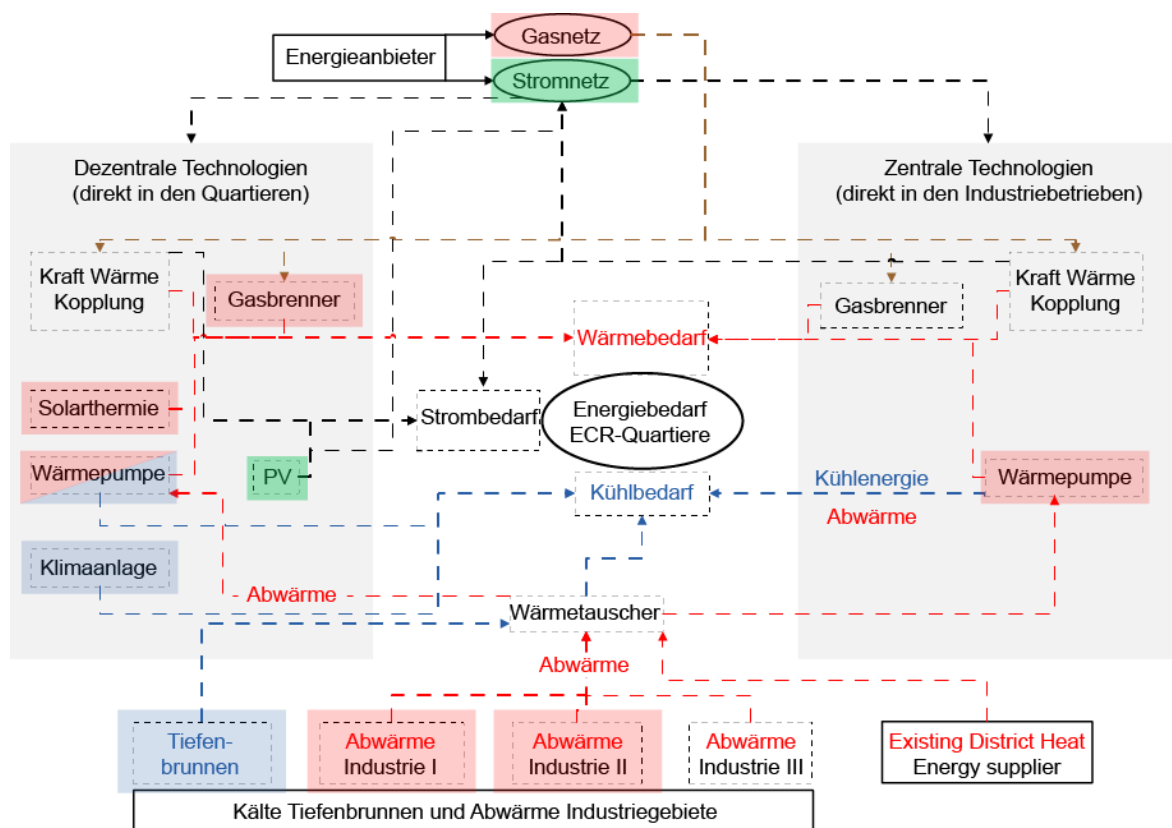


Abbildung 6-9: Wirtschaftliche Optimalstruktur auf der Basis von Gebäuden im OIB-Standard

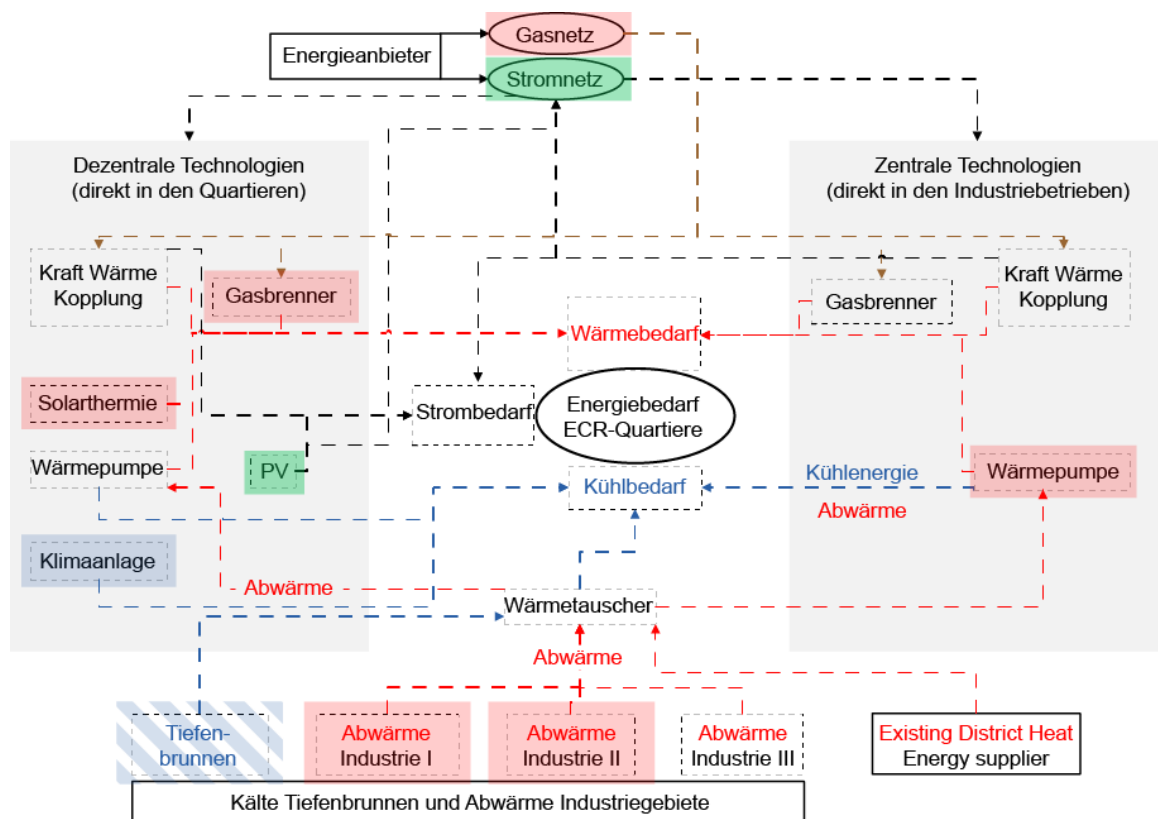


Abbildung 6-10: Wirtschaftliche Optimalstruktur auf der Basis von Gebäuden im NZE-Standard

Die Grundeinstellung der Parameter ermöglicht einen ersten Blick auf obere und untere Preisgrenzen bezüglich der Stabilität von unterschiedlichen Energieversorgungssystemen (siehe Abbildung 6-11).

Energie wird eingekauft (von Investor)	scharfe Einkaufspreisgrenze (OIB)	scharfe Einkaufspreisgrenze (NZE)
Nutzung des Kaltwassers aus den Tiefenbrunnen ist Teil der Optimalstruktur wenn:	< € 41 / MWh	< € 37 / MWh
Nutzung von Erdgas ist Teil der Optimalstruktur wenn:	< € 57 / MWh	< € 51 / MWh
Nutzung von bestehender Fernwärme ist Teil der Optimalstruktur wenn:	< € 51 / MWh	< € 50 / MWh

Abbildung 6-11: Stabilität der Ressourcennutzung OIB- und NZE-Standard durch Schwankungen des Energieeinkaufspreises (Auszug)

Setzt man Abwärme- und Kaltwassereinkaufspreise sehr hoch an, ergibt die Optimierung sowohl bei der Ausführung der Gebäude im OIB-Standard, als auch im NZE-Standard im Wesentlichen dezentrale Technologien in der Optimalstruktur. Zu diesen Technologien gehören dann vor allem Erdgasbrenner, Solarthermie, Wärmepumpen, Photovoltaik, Klimaanlage und geringfügig auch die Nutzung von Kaltwasser aus Tiefenbrunnen und industrieller Abwärme.

Ökologische Bewertung mit ELAS

Mittels ELAS (Energetische Langzeitbetrachtung von Siedlungsstrukturen) wurden die Optimalstrukturen aus der vorab beschriebenen Prozess-Netzwerk-Synthese (PNS) sozio-ökonomisch und ökologisch bewertet.

Die folgenden Abbildungen ermöglichen einen Blick auf den Anteil an ökologischem Fußabdruck, den die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und elektrischer Energie gegenüber anderen Bereichen innerhalb des gesamten ökologischen Fußabdrucks einnimmt. Abbildung 6-12 zeigt ein Szenario mit einem Energieversorgungssystem auf der Grundlage der Nutzung von industrieller Abwärme und der Nutzung der Tiefenbrunnen. Der thermische Anteil der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser nimmt hier nur 0,6 % des Gesamtfußabdruckes ein. Elektrizität nimmt mit rund 35 % den höchsten Anteil an. Im diesem Versorgungsszenario wird ein Viertel der Dachflächen zur Erzeugung von Elektrizität durch Photovoltaik genutzt.

Aufgrund der nur sehr moderat angenommenen Ausnutzung der Dachflächen durch Photovoltaik kann keine große Senkung des ökologischen Fußabdrucks (SPI) seitens elektrischer Energieerzeugung und der Deckung des Strombedarfes erreicht werden. Aufgrund des niedrigen SPI des österreichischen Strommixes ist auch die Höhe des SPI im Betrachtungsgebiet global gesehen tendenziell niedrig.

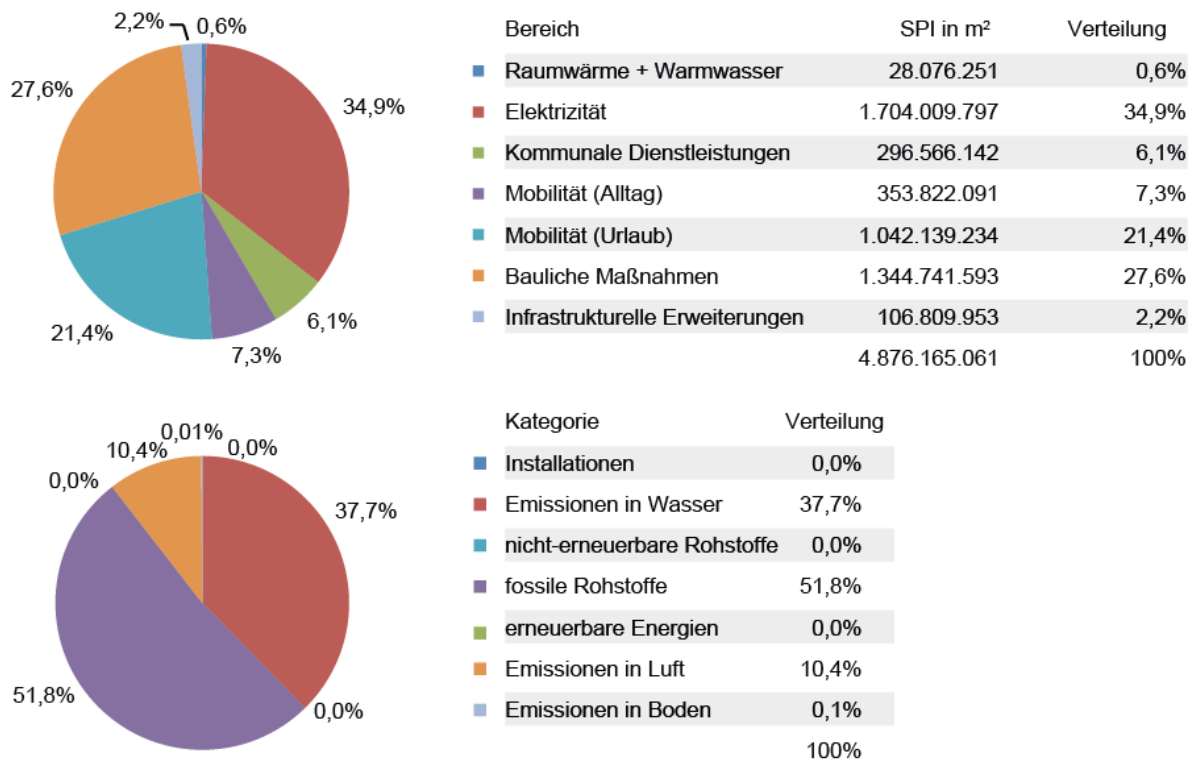


Abbildung 6-12: Ökologischer Fußabdruck (SPI) für das primäre und sekundäre Analyse-Gebiet im Gesamtlebenszyklus nach Bereichen (oben) und nach Kategorien (unten) bewertet mittels ELAS-Rechner (Szenario: Gebäude im OIB-Standard und Nutzung industrieller Abwärme zur Wärmeversorgung)

Würde das primäre und sekundäre Analyse-Gebiet mit hauptsächlich fossilen Energieträgern versorgt werden, ergäbe sich eine Situation gemäß Abbildung 6-13. Die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser würde mit einem Anteil von beinahe 39 % den größten Anteil am ökologischen Fußabdruck ausmachen. In diesem Szenario würde sich der Anteil der Bereitstellung der elektrischen Energie auf knapp 19 % verringern. Dieser Schwerpunkt wechselt zulasten der Raumwärme, obwohl ohne Wärmepumpen der Stromverbrauch um etwa 9 % gegenüber dem Abwärmeversorgungszenario sinkt.

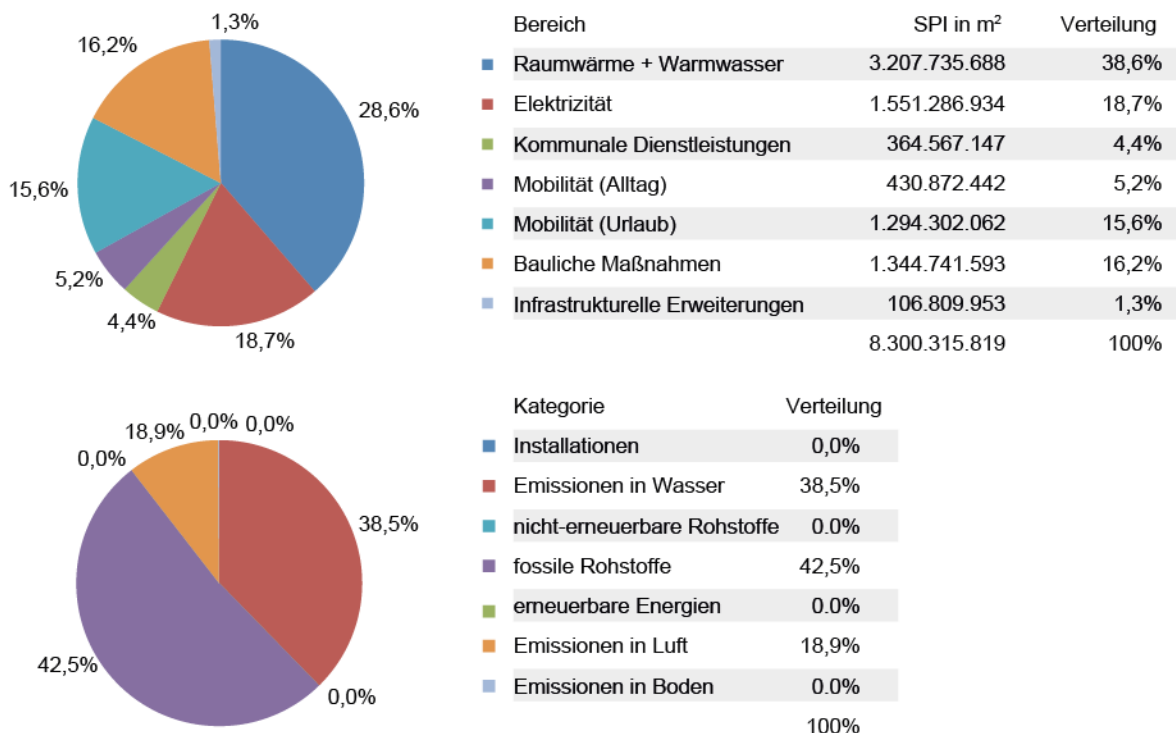


Abbildung 6-13: Ökologischer Fußabdruck (SPI) für das primäre und sekundäre Analyse-Gebiet im Gesamtlebenszyklus nach Bereichen (oben) und nach Kategorien (unten) bewertet mittels ELAS-Rechner (Szenario: Gebäude im OIB-Standard und Nutzung fossiler Energieträger zur Wärmeversorgung)

Abbildung 6-14 stellt die SPI Werte einer Versorgung auf der Grundlage fossiler Energieträger der Energieversorgung basierend auf industrieller Abwärmenutzung und Nutzung des Kaltwassers aus den Tiefenbrunnen gegenüber. Dabei wird ersichtlich, wie viel ökologischer Druck eingespart werden kann. Je mehr lokal verfügbare Ressourcen genutzt werden können, umso kleiner fällt der SPI aus. Der etwas höhere SPI der Szenarien auf der Grundlage des NZE-Standards gegenüber Gebäuden nach OIB-Standard ergibt sich durch die für den besseren energietechnischen Standard notwendigen Ausstattungen, wie beispielsweise die thermisch hochwertigere Gebäudehülle.

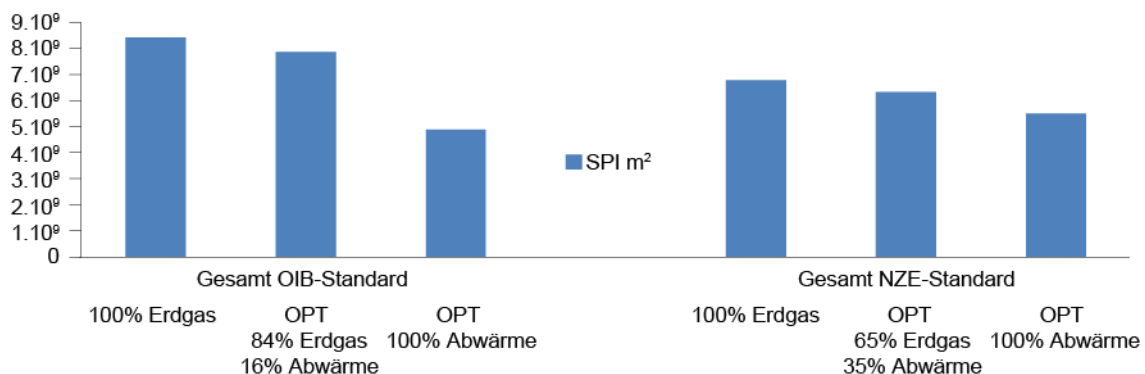


Abbildung 6-14: Ökologischer Fußabdruck (SPI) bezogen auf den Gesamtlebenszyklus, Energieversorgung des primären und des sekundären Analyse-Gebietes in der sozioökonomischen und ökologischen Bewertung

Ökonomisches und ökologisches Optimum

Das ökonomische und ökologische Optimum seitens der Energieversorgung wäre eine Versorgung über lokal verfügbare Abwärme- und Kaltwasserressourcen in Kombination mit Wärmepumpen. Bei dem verfügbaren Kaltwasser aus Tiefenbrunnen (dessen Nutzung in Besitz eines Investors ist) und bereits schon bei einer geringfügigen Steigerung des Erdgaseinkaufspreises ist dieses Szenario ökonomisch konkurrenzfähig. Dabei wurde der Einkaufspreis des Kaltwassers aus den Brunnen mit 0 Euro angenommen. Das Szenario des ökonomischen und ökologischen Optimums beruht auf einer Vollversorgung mit der vor Ort verfügbaren Abwärme aus den Industriebetrieben. Mit diesem optimalen Energiesystem ergibt sich eine Wertschöpfung von 525.000 bis 641.000 Euro pro Jahr. Abbildung 6-15 zeigt die Technologiedimensionierung in den einzelnen Quartieren beim ökonomischen und ökologischen Optimum.

Gesamtdimensionierung in MW pro Technologie							
Quartier	Photovoltaik Dach	Wärmepumpe 30°C auf 60°C	Wärmepumpe 20°C auf 60°C	Wärmepumpe 10°C auf 60°C	Kaltwasser- kühlung Brunnen 10°C	Klimaanlage	Solarthermie Dach
1	0,08	0	0,08	0,17	0,12	0	0
2	0,06	0	0,08	0,06	0,13	0	0
3	0,07	0,15	0	0	0,16	0	0
4	0,07	0	0,10	0,06		0,01	0
4a	0,06	0	0,19	0,06	0	0,03	0
5	0,15	0	0,36	0,06	0,08	0	0
6	0,09	0,11	0	0	0,01	0	0
6a	0,06	0,11	0	0	0,02	0	0
7 + 7a	0,08	0,14	0	0	0	0	0
11	0,06	0	0,11	0,06	0,02	0	0
11a	0,03	0		0,04	0,01	0	0
12	0,18	0	0,32	0,06	0,16	0	0
17	0,04	0	0	0,03	0,00	0	0
17a	0,06	0	0	0,06	0,10	0	0
18	0,06	0,09	0	0	0,01	0	0
18a	0,06	0,07	0	0,04	0,01	0	0
13 + 13a + 14	0,07	0,22	0	0	0	0,04	0,14

Abbildung 6-15: Technologiedimensionierung: Szenario ökonomisches und ökologisches Optimum

Mit diesem Technologienetzwerk können nicht nur alle Quartiere in einem hohen Maße ressourcenschonend² mit lokal verfügbarer Abwärme versorgt werden. Es kann, unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzungsdauern der Technologien, die Wertschöpfung zudem über 640.000 Euro pro Jahr gesteigert werden (Abbildung 6-16). Solarthermie fällt in dieser Konstellation aus der Optimalstruktur heraus, weil sie einerseits in direkter Konkurrenz mit Photovoltaik steht, wobei letztere durch hohe Einspeisetarife begünstigt wird.

² Die Einbindung von Abwärme setzt geringfügig zusätzliche Emissionen frei, da keine neuen Ressourcen in Wärme umgewandelt werden müssen.

Andererseits steht sie auch mit der lokal verfügbaren Abwärme (sozusagen verwertbarer „Abfall“) in Konkurrenz. Die in der Optimierung zu Materialkosten zusammengefassten Einkaufskosten für benötigte Brennstoffressourcen stehen in diesem Optimalszenario ausschließlich für thermische und elektrische Energie.

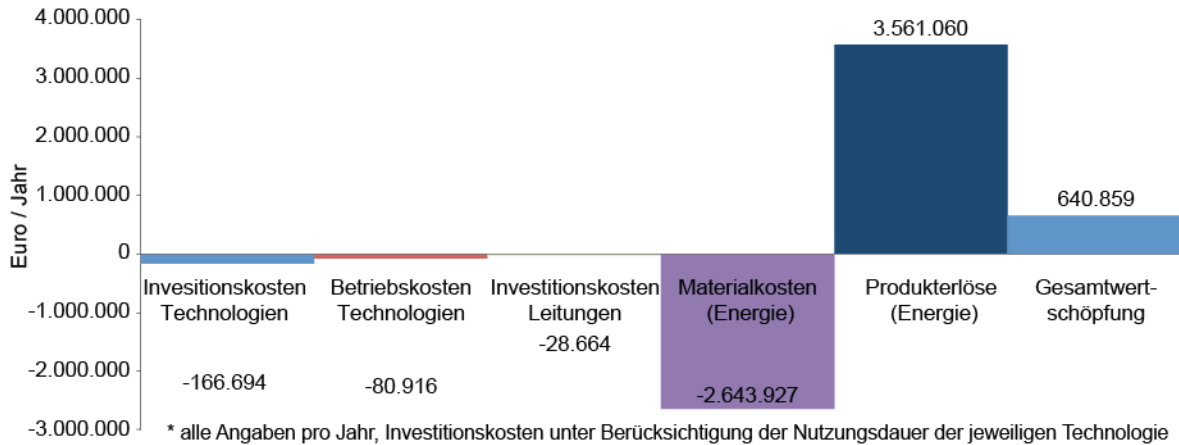


Abbildung 6-16: Kosten- und Erlöse Szenario ökonomisches und ökologisches Optimum

Die Aufteilung der einzelnen Kostenstellen gliedert sich wie in Abbildung 6-17 dargestellt. Durch die Darstellung **aller Kosten pro Jahr** und verhältnismäßig geringe Technologiekosten (Abwärmernutzung und v.a. Wärmepumpen, Leitungen) sind die Materialkosten (v.a. elektrische Energie) für die Gebäude in diesem Verhältnis sehr hoch. Um die Gesamtkosten angeben zu können, wurden die Gesamtinvestitionskosten durch ihre jeweiligen technologieabhängig unterschiedlich hohen Nutzungsdauern dividiert. Die Materialkosten sind in der Optimierung dieser Quartiere quasi ausschließlich.

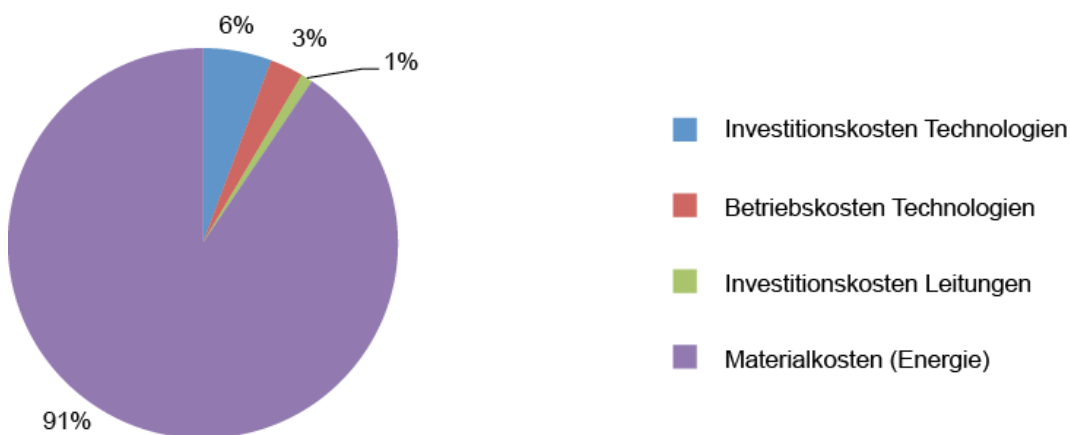


Abbildung 6-17: Einzelne Kostenstellen in Szenario ökonomisches und ökologisches Optimum

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Bearbeitung der Konzeption des primären und sekundären Analyse-Gebietes im Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus mittels Prozess-Netzwerk-Synthese (PNS) und Energetische Langzeitbetrachtung von Siedlungsstrukturen (ELAS) lieferte neben dem ökologischen Fußabdruck ($\text{m}^2 \text{SPI}$) und den auf den Lebenszyklus bezogenen CO_2 -Emissionen (kg) auch erste Aussagen über Energieverbrauch (kWh), Umsätze (€), Wertschöpfung (€), Arbeitsplätze und Importe (€) diverser Entwicklungspfade der energietechnischen Bebauungsstruktur und des Energieversorgungssystems. Eine Beschreibung des optimalen Energietechnologiesystems nach ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten steht zur Verfügung. Auch die Einzelbetrachtung des ersten konkreten Investorgebietes in den nördlichen Quartieren steht zur Verwendung bereit. Damit sind Grundlagen für Gespräche mit Industriebetrieben bezüglich Adaption und Errichtung von Abwärmeübergabestationen und möglicher Verfügbarkeiten (Lückenschluss mit Kesseln/Abwärmesicherheit) verfügbar. Es liegt ebenso ein Ausschlusszenario vor, dass Planungen hinsichtlich Beschränkungen in der Verfügbarkeit ermöglicht.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Schlussfolgerungen aus der ökonomischen Optimierung (PNS) und der ökologischen Bewertung (ELAS):

- Das ökonomisch und ökologisch beste Szenario für eine Energieversorgung des betrachteten Gebietes basiert, unter den gegebenen Bedingungen, auf der Nutzung der lokal verfügbaren industriellen Abwärme, der Nutzung der Tiefenbrunnen und dem Einsatz von Wärmepumpen unterstützt durch die Bereitstellung elektrischen Stroms durch Photovoltaik.
- Die lokal verfügbaren, hauptsächlich aus Abwärme bzw. Kaltwasser bestehenden Energieträger können wie ungenutzte Abfallressourcen verstanden werden und haben somit einen vergleichsweise verschwindend geringen ökologischen Fußabdruck.
- Im Falle der Implementierung eines lokalen Niedrigtemperaturnetzes sollte dieses, die funktionellen und hygienischen Auflagen berücksichtigend, mit einer möglichst niedrigen Betriebstemperatur betrieben werden.
- Die Energieversorgung ist nur ein Teil vom gesamten ökologischen Fußabdruck, deshalb müssen unbedingt andere Konstanten, wie zum Beispiel Mobilität, mit geplant und diskutiert werden.
- Die bestehende Fernwärmeversorgung in Graz wird zu 90 % bis 100 % fossil gedeckt. Das bedeutet einen großen ökologischen Fußabdruck. Dieser könnte stark vermindert werden, wenn ein Umstieg auf Abwärme vorgenommen wird (bei nicht Einberechnung der firmeninternen Energiebedarfe). Eine Verringerung der Importabhängigkeit ist dadurch zudem möglich, weil keine zusätzlichen Energieträger importiert werden müssten.

Investoren, Bund, Land und Stadt sind gefragt, eine sinnvolle weitere Planung und Umsetzung einer effizienten, smarten und nachhaltigen Entwicklung im Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus zu implementieren. Mit den verwendeten Werkzeugen sind weiterführende Quartiersplanungen in Gesprächen mit der Stadt und diversen Bauträgern, Energieversorgern, Investoren etc. möglich.

7 Nachhaltigkeitsbewertungen auf der Grundlage von Zertifizierungssystemen

Nachdem vier von fünf europäischen Staatsbürgern in städtischen Gebieten leben und ihre Lebensqualität direkt vom Zustand der städtischen Umwelt abhängt, ist die Entwicklung von Konzepten zur nachhaltigen Stadtentwicklung von essentieller Bedeutung. Dabei wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, bei dem ökologische, ökonomische und soziale Aspekte gleichermaßen berücksichtigt werden. Um diese Anforderungen für Stadtplaner und Architekten handhabbarer zu machen, wurden in den letzten Jahren Zertifizierungssysteme für einzelne Gebäude und teilweise auch für ganze Stadtareale entwickelt. Die wichtigsten Vertreter dieser auf der Basis von Zielsetzungskatalogen und Indikatoren entwickelten Bewertungssysteme sind:

BRE Environmental Assessment Methodology (BREAA) – Communities

(Technical Manual SD202 – 0.1.2012):

Das Bewertungsprinzip BREEAM-Communities beruht auf einem leicht verständlichen Punktesystem. Bei diesem System werden 23 Kriterien (Mindestanforderungen) anhand von fünf Bewertungskategorien bewertet: Gemeinschaft/Steuerung, Soziales und wirtschaftliches ökonomisches Wohlbefinden, Ressourcen und Energie, Flächennutzung und Ökologie, Transport und Fortbewegung. [20]

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) – for Neighborhood Development

(Version 2009; Updated July 2014):

Das LEED-ND-System folgt in seiner Struktur den bestehenden LEED-Ratingsystemen. Die Grundlage bilden fünf Kategorien, welche wiederum aus 44 Einzelkriterien bestehen: Standortqualität und Anbindung, Siedlungsstruktur und Raumplanung, Infrastruktur und Gebäude, Innovation und Planungsprozess, Kreditpunkte für regionale Prioritäten. [26]

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) – Neubau Stadtquartiere

(Neubau Stadtquartiere Version 2012):

Bei dem Zertifizierungssystem der DGNB erfolgt eine qualitative wie auch quantitative Bewertung anhand von 46 Einzelkriterien. Diese sind, wie auch auf Gebäudeebene, in fünf Hauptkriteriengruppen untergliedert: Ökologische Qualität, Ökonomische Qualität, Soziokulturelle und funktionale Qualität, Technische Qualität, Prozessqualität. [23]

Energiestadtzertifikat – 2000-Watt-Areale

(Version 2014):

Das Energiestadtzertifikat für 2000-Watt-Areale umfasst sieben Bewertungskategorien. Auch bei diesem Bewertungssystem wird eine quantitative wie auch qualitative Nachweisführung durchgeführt. Folgende Kriterienkategorien werden im System des Energiestadt Zertifikats betrachtet: Primärenergie, Treibhausgasemissionen, Managementsystem, Kommunikation und Kooperation, Ver- und Entsorgung, Gebäude, Mobilität. [28]

7.1 Bewertungskriterien auf Gebäude- und Stadtquartiersebene

Um eine Übertragbarkeit von Bewertungskriterien von der Gebäudeebene auf die Stadtquartiersebene durchführen zu können, war es notwendig vertiefte Analysen der in den Zertifizierungssystemen enthaltenen Kriteriensätze durchzuführen.

In einem ersten Schritt erfolgte die Entwicklung einer Kriterienmatrix auf Gebäudeebene. Diese Matrix gliedert sich auf vertikaler Ebene in folgende Bewertungskategorien (übergeordnete Kriteriengruppen): *Ökologische, Ökonomische, Soziale, Funktionale, Technische Qualität, Behaglichkeit & Gesundheit, Prozesse/Qualität* und *Standort*. Diesen Bewertungskategorien wurden in weiterer Folge Bewertungskriterien der Gebäudeebene (untergeordnete Kriteriengruppen) zugeordnet. Diese Matrix bildet die Basis für die Untersuchung des Abdeckungsgrades der einzelnen Kriterien der unterschiedlichen Bewertungs- und Zertifizierungssysteme.

Die Kriterienmatrix wurde in einem nächsten Schritt für die Anwendung auf Stadtquartiersebene angepasst und erweitert. Danach wurden die Bewertungskriterien in den Zertifizierungssystemen BREEAM-COM, LEED-ND, DGNB-NSQ12 und 2000-Watt-Areale in Hinblick auf ihre inhaltliche Schwerpunktsetzung untersucht.

Durch eine Gegenüberstellung von Bewertungskriterien der Gebäude- und Stadtquartiersebene wurde versucht, das Potenzial einer Übertragbarkeit sowie auch die Relevanz der Bewertungskriterien für die Stadtquartiersebene aufzuzeigen. Der Fokus richtete sich dabei auf die Identifikation jener Bewertungskriterien, welche für die Beurteilung der Nachhaltigkeit auf Gebäude- und Stadtquartiersebene einen Schwerpunkt darstellen.

Aus der Analyse geht hervor, dass auf Gebäudeebene *CO₂-Emissionen*, *Energieeffizienz* und *erneuerbare Energie* für alle Zertifizierungssysteme einen gemeinsamen Schwerpunkt in der Nachhaltigkeitsbewertung darstellen. Dies beruht auf der Tatsache, dass Umweltwirkungen in der Nutzungsphase eines Gebäudes primär auf den Energiebedarf für den Betrieb zurückzuführen sind. Daher wurde in der Folge eine vertiefte Untersuchung der Bewertungskategorie *Energie* durchgeführt.

Auch auf der Bewertungsebene des Stadtquartiers existieren diesbezüglich äquivalente Bewertungskriterien. Als Beispiel kann hier das Bewertungskriterium *Energieeffiziente* Bebauungsstruktur genannt werden. Darin werden Ansatzpunkte wie Kompaktheit von Gebäuden (A/V-Verhältnis), Gewinnmaximierung durch solare Optimierung wie auch die Nutzung des aktivsolaren Potenzials des gesamten Stadtquartiers mittels Benchmarks bewertet. Außerdem zeigt die Untersuchung, dass Bewertungskriterien wie *Zwischenzählermessungen* und *elektrische Gebäudeausstattung* auf Gebäudeebene ausgerichtet sind und daher eine Bewertung auf Stadtquartiersebene in der vorliegenden Form nicht zweckmäßig erscheint. Um diese Bewertungskriterien dennoch auf Stadtquartiersebene zu berücksichtigen, könnten beispielsweise die Erfüllungsgrade/Auszeichnungen für diese Kriterien von bereits durchgeführten Gebäudezertifizierungen als Grundlage für die Einstufung in einen Kriterienkatalog auf Stadtquartiersebene integriert werden.

Für den vorliegenden Bericht wurden Bewertungskriterien von unterschiedlichen Zertifizierungssystemen auf Gebäude- und Stadtquartiersebene gegenübergestellt. Der Fokus wurde dabei auf die inhaltliche Schwerpunktsetzung bzw. den Abdeckungsgrad der einzelnen Bewertungskriterien sowie auf eine mögliche Anwendung dieser auf Stadtquartiersebene gelegt. Abbildung 7 – 1 (1) und 7 – 1 (2) zeigt diese Gegenüberstellung der Zertifizierungssysteme.

Gebäudeebene									Stadtquartiersebene				
Bewertungs-kategorien	Bewertungskriterien								DGNB - NSQ	LEED - ND	BREEAM - COM	2000-Watt-Areale	Bewertungskriterien
		BREEAM	LEED	SBTool	MINERGIE - ECO	DGNB / ÖGNI	TQB	klima: aktiv					
Ökologische Qualität	Umweltbelastungen /Verschmutzung												Ökobilanz
	Materialien /Ressourcen												Veränderung des Stadtklimas
	Abfall												Artenvielfalt und Vernetzung
	Wasser/Abwasser												Gewässer- und Bodenschutz
Ökonomische Qualität	Lebenszykluskosten LCC												Ressourcenschonende Infrastruktur, Erdmassenmanagement
	Wertstabilität												Effiziente Abfallwirtschaft
Soziale Qualität	Sicherheit												Regenwassermanagement
	Barrierefreiheit												Wasserkreislaufsystem
	Regionale und soziale Aspekte												Lebenszykluskosten LCC
													Wertstabilität
Energie	CO2 - Emissionen												Objektive / Subjektive Sicherheit
	Energieeffizienz												Barrierefreiheit
	Erneuerbare Energie												Soziale und funktionale Vielfalt
	Energieeffiziente Gebäudehülle												Freiflächenangebot
	Technische Gebäudeausstattung												Soziale und erwerbswirtschaftliche Infrastruktur
	Energiemonitoring Zwischenzähler und -messungen												Aufenthaltsqualität in öffentlichen Räumen
	Elektrische Gebäudeausstattung												CO2 Emmisionen
	Thermischer Komfort												Energieeffiziente Bebauungsstruktur
	Innenraumluftqualität												Energietechnik
	Akustischer Komfort												Energieeffizienz auf Infrastrukturebene
Behaglichkeit und Gesundheit	Visueller Komfort												Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Energie
	Einflussnahme des Nutzers												Gebäudestandards
	Flächeneffizienz												Energietechnik
	Fahrradkomfort												Qualitätssicherung und Monitoring
Funktionale Qualität	Erweiterungsfähigkeit												Gebäudestandards
	Umnutzungsfähigkeit												Gebäudestandards
													Lärm- und Schallschutz
													Partizipation
													Flächeninanspruchnahme
													Flächeneffizienz
													Qualität der Radverkehr-Infrastruktur
													Nutzungsflexibilität und Bebauungsstruktur
													Nutzungsflexibilität und Bebauungsstruktur

Abbildung 7-1 (1): Gegenüberstellung der Bewertungskriterien auf Gebäude- und Quartiersebene (eigene Darstellung in Anlehnung an: Ebert et al., 2010; Wallbaum, 2011; Kreiner, 2013); [20] [26] [23] [28]

Gebäudeebene							Stadtquartiersebene						
Bewertungskategorien	Bewertungskriterien	BREEAM	LEED	SBTool	MINERGIE - ECO	DGNB / ÖGNI	TQB	klima: aktiv	DGNB - NSQ	LEED - ND	BREEAM - COM	2000-Watt-Areale	Bewertungskriterien
Design Innovation	Architektur												Nutzungsflexibilität und Bebauungsstruktur
	Kunst am Bau Innovation												Städtebauliche Einbindung
Prozesse /Qualität	Planungsprozess												Städtebauliche Gestaltung
	Baustellenabläufe												Nutzung von Bestand
	Monitoring, Betrieb												Kunst im öffentlichen Raum
Standort	Mikrostandort												Integrale Planung
	Verkehrsansbindung												Baustelle, Bauprozess
	Nachbarschaft												Qualitätssicherung und Monitoring
	Bauordnung												Qualität der Verkehrssysteme
	Flächenverbrauch												Qualität der MIV-Infrastruktur
	Natur- und Landschaftsschutz												Qualität der ÖPNV-Infrastruktur
													Flächeninanspruchnahme
													Wiederherstellung von Brachflächen
													Flächeninanspruchnahme
													Lokale Nahrungsmittelproduktion
													Fiskalische Wirkungen auf die Kommune
													Informations- und Kommunikationsstruktur-Infrastruktur
													Wiederverwertbare Stoffe im Infrastrukturbau
												Energiesenkung der öffentlichen Beleuchtungskörper	
												Qualität der Fußgänger-Infrastruktur	
												bepflanzte und verschattete Straßen	
												Kommunale Wirkung	
												Steuerung	
												Vermarktung	
												Verfahren zur Konzeptfindung	
												Demontage-, Trenn- und Recycling-freundlichkeit der Infrastruktur	
												Energiemarketing	
												Flexibilität der Parkplatznutzung	
												Bedarfsabklärung Mobilität	

Abbildung 7-1 (2): Gegenüberstellung der Bewertungskriterien auf Gebäude- und Quartiersebene (eigene Darstellung in Anlehnung an: Ebert et al., 2010; Wallbaum, 2011; Kreiner, 2013); [20] [26] [23] [28]

7.2 Nachhaltigkeitsbewertung für Stadtquartiere

Aufgrund der beschriebenen Vorarbeiten wurde das Zertifizierungssystem DGNB-NSQ12 für die Bewertung der Stadtquartiere festgelegt. In diesem System wird eine ganzheitliche Betrachtung der ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Aspekte über den gesamten Lebenszyklus durchgeführt. Dabei werden alle mit der Entwicklung eines Stadtquartiers verbundenen Emissionen (Ökobilanzierung) und Kosten (Lebenszykluskosten) systemisch erfasst und bewertet. Bei der quantitativen Nachweismethode wurde die Bewertung des Kriteriums mittels Berechnung durchgeführt. Die dafür notwendige Berechnungsmethode wird im jeweiligen Kriterium der DGNB-NSQ12-Systemgrundlage beschrieben. Bei der semi-quantitativen Nachweismethode handelt es sich um eine Einschätzung der Bewertungskriterien oder Indikatoren, welche mit Hilfe von Checklisten durchgeführt wird. Diese Einschätzung wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Städtebau vorgenommen. Für jene Bewertungskriterien, bei denen eine quantitative bzw. semi-quantitative Bewertung nicht möglich war, erfolgte die Einstufung mittels des Referenzwertes der DGNB-NSQ12-Systemgrundlage. Durch diese Vorgehensweise wird die Konformität mit dem DGNB-NSQ12-Zertifizierungssystem sichergestellt.

Primärer Bewertungsgegenstand sind die Stadtquartiere 1 und 4a. Da die einzelnen Quartiere des Projektareals zum Zeitpunkt der Nachhaltigkeitsbewertung unterschiedliche Entwicklungsstufen aufwiesen, war es notwendig, die Bewertung anhand von zwei Systemgrenzen durchzuführen. Systemgrenze 1 umfasst die Bewertung der Quartiere 1 und 4a (siehe Abbildung 3-10: Stadtbaustein 1). Systemgrenze 2 bindet das gesamte Projektareal von *Energy City Graz- Reininghaus* (siehe Abbildung 3-10: primäres Analyse-Gebiet sowie i. T. Realisierungsphase) in die Bewertung mit ein, denn für bestimmte Bewertungskriterien konnte nur unter der Betrachtung des gesamten Projektareals ein aussagekräftiges Ergebnis generiert werden.

In der Bewertung werden die Zielerreichungsgrade der einzelnen Kriterien über sämtliche Bewertungskategorien hinweg dargestellt. Es wird zwischen Grenzwert (0 %), Referenzwert (50 %) und Zielwert (100 %) unterschieden. Im Kriterium *Lebenszykluskosten* wird der Referenzwert mit 30 % seitens DGNB-NSQ12 als Systemgrundlage vorgegeben. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand eines Soll-Ist-Vergleichs. Dabei wird der tatsächlich erreichte Erfüllungsgrad der durchgeführten Nachhaltigkeitsbewertung sowie das theoretisch mögliche Verbesserungspotenzial der anhand des Projekts bewerten Kriterien abgebildet. Unter Anwendung eines Farbcodes werden die einzelnen Bewertungskriterien dargestellt. Jene Kriterien, welche mittels Referenzwert in der Bewertung berücksichtigt wurden, sind grau dargestellt. Aufbauend auf den Ergebnissen der Nachhaltigkeitsbewertung wurden Handlungsempfehlungen formuliert. Diese werden in Form einer Kurzbeschreibung von möglichen Verbesserungspotenzialen bzw. Ansatzpunkten, welche für einen maximalen Erfüllungsgrad im jeweiligen Kriteriensatz notwendig sind, dargestellt. Die für die Erstellung der Handlungsempfehlungen betrachteten Bewertungskriterien werden in der jeweiligen Abbildung farblich hinterlegt. Kriterien, welche bereits einen Erfüllungsgrad von über 90 % aufweisen, wurden dabei nicht betrachtet.

7.3 Bewertung der Ökologischen Qualität

Abbildung 7-2 zeigt die Erfüllungsgrade der Bewertungskriterien der *Ökologischen Qualität*. Bei der *Ökologischen Qualität* werden Wirkungen auf die Umwelt untersucht. Dabei werden Aspekte wie Ressourcenschonung, Schutz der globalen und lokalen Umwelt und eine Reduzierung des Gesamtenergiebedarfs berücksichtigt [23].

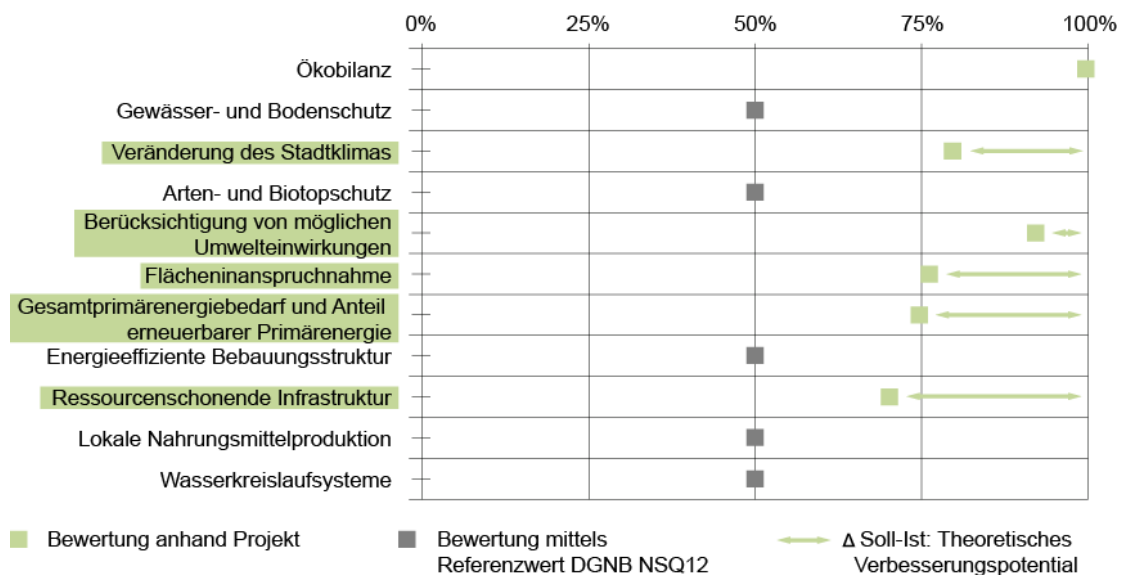


Abbildung 7-2: Bewertungsergebnis Ökologische Qualität

Exemplarisch für die Bewertung der *Ökologischen Qualität* werden folgend die Ziele und die Relevanz am Beispiel des Bewertungskriteriums *Flächeninanspruchnahme* beschrieben. Die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme, die Beendigung der Zersiedelung der Landschaft sowie eine weitgehende Reduktion zusätzlicher Bodenversiegelungen sind primäre Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung. Diese Nachhaltigkeitsaspekte werden unter Anwendung folgender Indikatoren abgedeckt:

- Brachflächenanteil: Die Nutzung von bestehenden Brachflächen (Gewerbebrache, Bahnareale, etc.) führt zu einer Erhöhung der Bewertungspunkte.
- Flächeneinbindung: Bei der Flächeneinbindung wird der prozentuelle Anteil der Gebietsabgrenzung, welcher in bestehende Siedlungsflächen integriert oder angebunden ist, bewertet.
- Flächenbelastung: Eine zusätzliche Beseitigung von Altlasten und Kampfmitteln wird durch die Betrachtung der Bodenbelastung (mittels Gutachten) positiv bewertet.

Handlungsempfehlungen Ökologische Qualität:

Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie: Durch eine Reduktion der Emissionen und der energetischen Ressourcenverbräuche über den gesamten Lebenszyklus könnte eine Verbesserung in diesem Kriteriensatz erzielt werden. Ein weiteres Verbesserungspotenzial wäre, neben der Senkung des Gesamtprimärenergiebedarfs, den Anteil an erneuerbarer Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf zu erhöhen und damit gleichzeitig den Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie zu senken. Erste Schritte in diese Richtungen wurden bereits im Zuge des Projektes im Rahmen der interdisziplinären Abstimmungsworkshops getätigt. Weitere Empfehlungen siehe auch Kapitel 2, 3, 4, 5.

Veränderung des Stadtteilklimas: Die Sicherung des lokalen Luftaustausches dient zur Verbesserung des Stadtteilklimas. Daher sollte eine geringstmögliche Reduktion der Kaltluftproduktionsflächen vorgenommen; die Frischluftschneisen sowie die regionale Belüftung sollten nicht beeinträchtigt werden. Erste Schritte in diese Richtungen wurden bereits im Zuge des Projektes im Rahmen der interdisziplinären Abstimmungswshops getätigt.

Flächeninanspruchnahme: Durch die Einbindung des Plangebiets in bestehende Siedlungsstrukturen könnte eine Reduktion des Verbrauchs von Freiflächen für die Erschließung eines Stadtquartiers sichergestellt werden. Ein weiteres Verbesserungspotenzial könnte im Bereich der Flächenbelastung liegen. Dieses Kriterium behandelt die Bodenqualität des Plangebiets. Damit verbunden ist eine detaillierte Altlasten- und Kampfmitteluntersuchung mittels Gutachten für das zu betrachtende Gebiet. Erste Schritte in diese Richtungen wurden bereits im Zuge des Projektes im Rahmen der interdisziplinären Abstimmungswshops getätigt.

Ressourcenschonende Infrastruktur: Durch Anwendung ressourcenschonender Baumaterialien (z.B. durch den Einsatz von wiederverwendbaren Bauteilen, Recyclingmaterialien, etc.) könnte eine Verbesserung in diesem Kriteriensatz erreicht werden. Wie sich im Zuge des Abstimmungsprozesses mit den betroffenen Generalplanerteams der Stadtquartiere gezeigt hat, könnten im Rahmen der Detail- und Ausführungsplanung die genannten Optimierungsmaßnahmen gezielt weiterentwickelt werden. Dies bedarf jedoch einer Weiterführung des *Rahmenplanes Energie ECR* mit allen beteiligten Expertinnen.

7.4 Bewertung der Ökonomischen Qualität

Abbildung 7-3 zeigt die Erfüllungsgrade der Bewertungskriterien der *Ökonomischen Qualität*. Als Ziel der *Ökonomischen Qualität* wird eine Minimierung der Kosten über den gesamten Lebenszyklus und eine Maximierung der Erträge unter Einhaltung der geforderten Funktionalität angestrebt. Dabei richtet sich der Fokus nicht nur auf die Errichtungskosten, sondern bezieht sich auf die Kosten, Risiken und Erträge in der Nutzungsphase sowie auf die Kosten des Rückbaus und der Entsorgung am Ende der Nutzungsdauer [23].

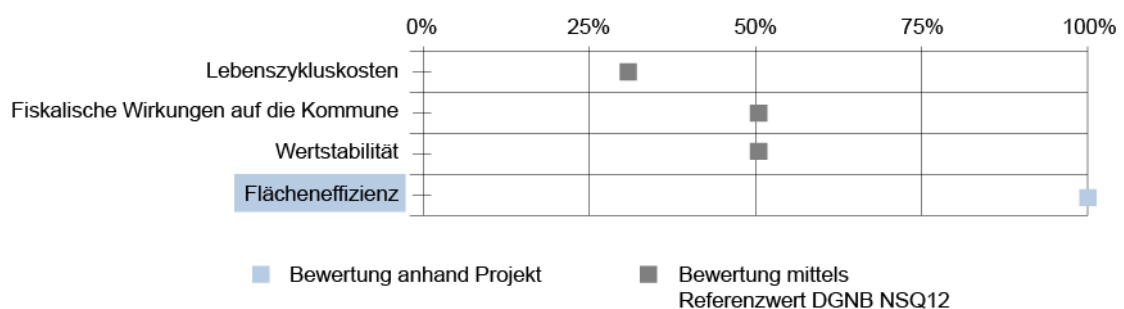


Abbildung 7-3: Bewertungsergebnis Ökonomische Qualität

Die Bewertung der *Ökonomischen Qualität* wird anhand des Bewertungskriteriums *Flächeneffizienz* beschrieben. Freiflächen stehen in urbanen Gebieten nur begrenzt zur Verfügung. Diese eingeschränkte Verfügbarkeit führt gerade in dicht besiedelten Gebieten zu erhöhten Grundstückspreisen.

Daher stellt die Reduktion des Flächenverbrauchs ein primäres Ziel einer nachhaltigen Stadtentwicklung dar. Die „Flächeneffizienz“ wird mittels dem „Baudichtekoeffizienten“ bewertet. Dieser setzt sich aus dem Erschließungskoeffizienten (Erschließungskoeffizient: Erschließungsflächen-/Bruttobauland) und der Geschossflächenzahl (Geschossflächenzahl: Bruttogrundfläche / Nettobauland) des Gesamtprojekts zusammen.

Handlungsempfehlungen Ökonomische Qualität:

Flächeneffizienz: Eine Verbesserung im Kriterium Flächeneffizienz könnte prinzipiell durch eine Erhöhung der Bebauungsdichte erzielt werden. Da jedoch beim gegenständlichen Projektgebiet bereits ein Maximum (maximal zulässige Bebauungsdichten laut Flächenwidmungsplan und Bebauungsdichteverordnung des Landes Steiermark) in diesem Bewertungskriterium erreicht wurde, ist aus Sicht der Zertifizierung keine Verbesserung mehr möglich.

7.5 Bewertung der Soziokulturellen und der Funktionalen Qualität

Abbildung 7-4 zeigt die Erfüllungsgrade der Bewertungskriterien der *Soziokulturellen* und der *Funktionalen Qualität*. Die soziokulturellen Aspekte beziehen sich vorrangig auf Integration, Gesundheit, Lebensqualität, Sicherheit und Mobilität. Ebenso werden auch funktionale und gestalterische Aspekte betrachtet [23].

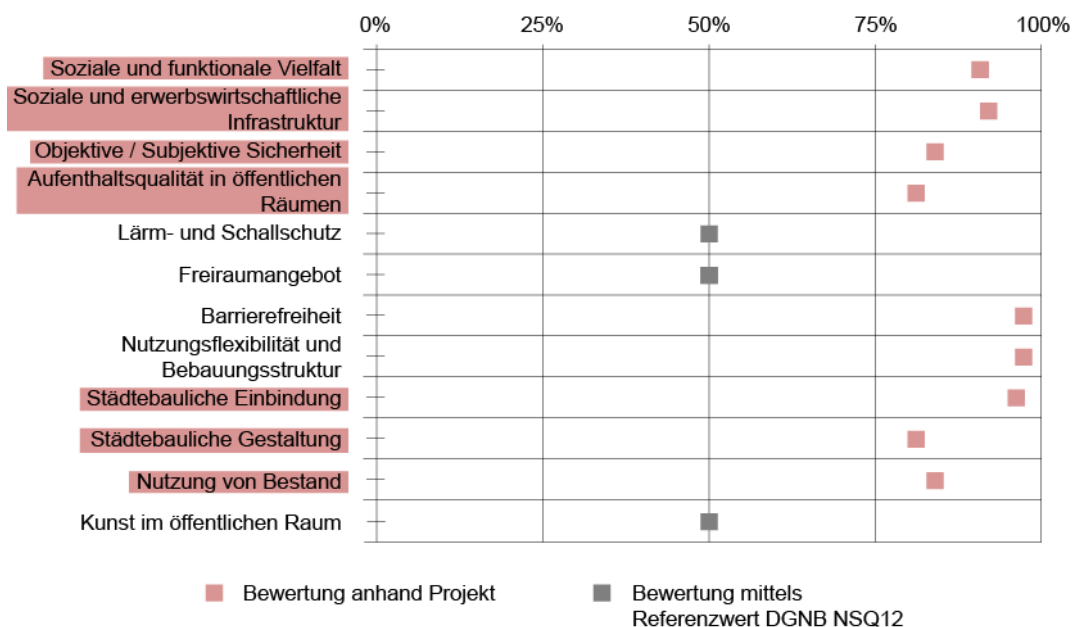


Abbildung 7-4: Bewertungsergebnis Soziokulturelle und Funktionale Qualität

Die Bewertung der *Soziokulturellen* und der *Funktionalen Qualität* wird durch das Bewertungskriterium *Soziale und erwerbswirtschaftliche Infrastruktur* exemplarisch beschrieben. Zentrale Zielsetzung dieses Kriteriensatzes ist es, den Nutzern die Möglichkeit zu geben, ihre Bedürfnisse nach beispielsweise Erholung, Versorgung und Bildung innerhalb ihres direkten Umfelds zu ermöglichen. Wesentliche Indikatoren sind dabei die Kinderbetreuung sowie Bildungseinrichtungen (z.B. Grundschule, weiterführende Schule, berufsbildende Schule, Hochschule und Bibliotheken). Der Fokus der Bewertung zielt dabei auf die Erreichbarkeit der einzelnen Institutionen ab.

Handlungsempfehlungen Soziokulturelle und Funktionale Qualität:

Soziale und funktionale Vielfalt: Durch die Integration und Mitwirkung der zukünftigen Bewohner bzw. Gewerbetreibenden in allen Planungsphasen wird eine Sicherung der Vielfalt erreicht und somit wäre ein Maximum der Bewertungspunkte in diesem Kriterium möglich.

Soziale und erwerbswirtschaftliche Infrastruktur: Durch Einrichtungen für spezielle Nutzergruppen, wie z.B. Jugendräume, Gemeindezentren etc., könnte die soziale und erwerbswirtschaftliche Infrastruktur gesteigert und dadurch der maximale Zielerreichungsgrad in diesem Bewertungskriterium erreicht werden. Die gewonnen Erkenntnisse von Freiburg Rieselfeld, Basel Erlenmatt, Hammerby Sjöstad, Salzburg Lehen, Wien Aspern und Sonnwendviertel Wien zeigen, dass urbane Sockelzonen und Nutzungsmix ein professionelles Immobilien- und Quartiersentwicklungsmangement erfordern. Nur eine gemeinsame Vorgangsweise und Einbeziehung aller Investoren ermöglicht eine konfliktfreie, abgestimmte Entwicklung der in Graz-Reininghaus geforderten urbanen Sockelzonen. Empfohlen wird daher die Gründung eines professionellen Immobilien- und Quartiersentwicklungsmangements für ganz Graz-Reininghaus finanziert durch alle betroffenen Investoren im Stadtentwicklungsgebiet und die Stadt Graz.

Objektive/Subjektive Sicherheit: Um ein Maximum der Punktzahl in diesem Kriteriensatz zu erreichen, wäre die Einbeziehung der Kriminalitätsstatistik des unmittelbaren Umfelds notwendig. Ebenfalls wäre eine Beratung durch die zuständige Polizeidienststelle in Bezug auf eine städtebauliche Kriminalprävention durchzuführen. Im Vordergrund sollte die Entwicklung von angstfreien öffentlichen Fußwegen und Räumen stehen.

Aufenthaltsqualität in öffentlichen Räumen: Öffentliche Bereiche eines Stadtquartiers sollten ganzjährig gute stadtklimatische Bedingungen aufweisen. Öffentliche Bereiche sollten daher genug Sonne, Schutz vor kalten Winden und Regen im Winter wie auch Sonnenschutz und Schutz vor Überhitzung im Sommer bieten. Durch Anwendung dieser Aspekte ist eine Verbesserung im Bewertungsergebnis möglich. Empfohlen wird die konsequente Entwicklung von *Stadträumen für Menschen* gemäß den Empfehlungen von Gehl Architects. Erste Schritte in diese Richtung wurden bereits vom Amt für Stadtplanung mit Unterstützung des Institutes für Städtebau getätigt. Das gerade laufende Wettbewerbsverfahren *Öffentlicher Raum Esplanade Graz-Reininghaus* erfolgt basierend auf den gewonnen ECR-Erkenntnissen von nachhaltigen Stadtentwicklungsprojekten in Europa und unter Einbindung von Gehl Architects [118].

Städtebauliche Einbindung: Um die maximale Punktzahl in diesem Kriteriensatz zu erzielen, wäre es notwendig die bestehenden Biotope in das landschaftliche Gestaltungskonzept des Stadtquartiers zu integrieren und mit möglichen neuen Biotopen zu verbinden. Erste Schritte in diese Richtung erfolgten bereits, im Rahmen der absolvierten Architekturwettbewerbe wurde Stadtklimaxperte Prof. Lazar von der Karl-Franzens-Universität Graz als Berater beigezogen. Im Rahmen des vorliegenden Projektberichtes konnten Optimierungsempfehlungen erarbeitet werden.

Städtebauliche Gestaltung: Für die Gestaltung öffentlicher Freiraume (Aufenthaltsbereiche) wird dazu geraten, ein übergeordnetes Gestaltungskonzept für das Stadtmobiliar, welches die Gestaltung von Plätzen bzw. des Straßenraums beinhaltet, zu erstellen. Weiters wäre für eine Verbesserung ein Konzept zur Differenzierung des öffentlichen Freiraums, Umgang mit PKW-Parkflächen, Vegetation und Lichtkonzept für den öffentlichen Freiraum erforderlich.

7.6 Bewertung der Technischen Qualität

Die Erfüllungsgrade der Nachhaltigkeitsbewertung für den Bereich der *Technischen Qualität* werden in Abbildung 7-5 dargestellt. In der Bewertungskategorie *Technische Qualität* werden Aspekte der öffentlichen Nahverkehrs-Infrastruktur, der motorisierten Individualverkehr-Infrastruktur und die Qualität der Radverkehr/Fußgänger-Infrastruktur betrachtet.

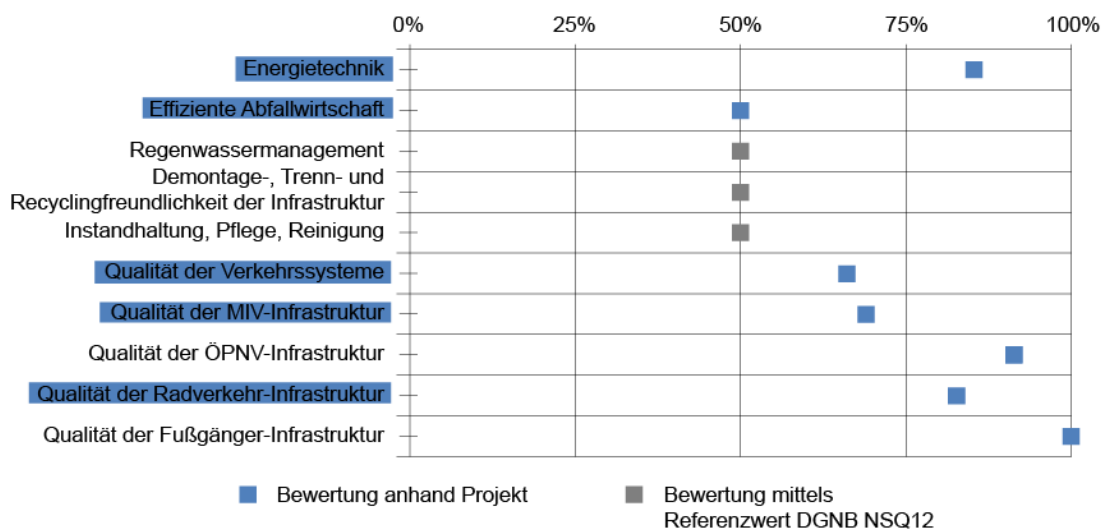


Abbildung 7-5: Bewertungsergebnis Technische Qualität

Beispielhaft für die Bewertung der *Technischen Qualität* wird das Kriterium *Qualität der Verkehrssysteme* beschrieben. Die Bedeutung der Mobilität im Rahmen des Entwurfs von Stadtquartieren stellt höchste Ansprüche an einen integralen Planungsansatz. Dies folgt daraus, dass für die Sicherstellung einer hohen Qualität der Verkehrssysteme eine hohe soziale Akzeptanz notwendig ist. Dies wird beispielsweise durch die Qualität des Gesamtverkehrskonzepts, des Verkehrsmodells, die Betrachtung des fließenden und des ruhenden KFZ-Verkehrs inkl. der Parkraumbewirtschaftung sichergestellt. Auch der öffentliche Verkehr und die innere und äußere Erreichbarkeit werden u.a. dabei betrachtet. Ebenso wird ein flächendeckendes Fußwege-/Radwegenetz in der Nachhaltigkeitsbewertung sowie der Umgang mit Wirtschaftsverkehr im Stadtquartier berücksichtigt.

Handlungsempfehlungen Technische Qualität

Effiziente Abfallwirtschaft: Eine Verbesserung in diesem Kriterium könnte durch Errichtung von Kompostierungsanlagen im Stadtquartier erreicht werden. Weitere mögliche Verbesserungspotenziale liegen in der Energiegewinnung (z.B. Energiegewinnung aus biogenen Abfällen – Biogasanlagen) aus Abfällen und durch Erstellung eines innovativen Abfalllogistikkonzeptes (z.B. Abfallzentrale mit Rohrleitungssystemen). Basierend auf den im Rahmen von ECR gewonnen Erkenntnissen der Projektgebiete von Malmö BO01, Stockholm Royal Seaport und Hammarby Sjöstad ist die Idee für den Bau eines unterirdischen Müllsammelsystems für die Quartiere Q1 und Q4 in Graz-Reininghaus im Gespräch. Vom ECR-Team der TU Graz wird empfohlen, diese Technologie auch für die anderen Stadtquartiere in Graz-Reininghaus anzudenken.

Qualität der Verkehrssysteme: Durch Umsetzung innovativer Mobilitätsangebote, wie z.B. Car Sharing, Fahrradverleihsysteme, Elektromobilität, quartiersbezogenes Mobilitätsmanagement, könnte eine Verbesserung in diesem Kriteriensatz erzielt werden. Für den fließenden Verkehr müsste ein vollständig hierarchisch abgestuftes Straßennetz umgesetzt werden. Ebenso würden geschwindigkeitsdämpfende Maßnahmen, wie beispielsweise verkehrsberuhigte Wohn-/Geschäftsbereiche, den Zielerreichungsgrad in diesem Kriterium erhöhen. Ebenfalls wäre ein vollständig flächendeckendes Radwegenetz für das gesamte Stadtquartier vorzusehen. In gleicher Weise sollten für das gesamte Stadtquartier genügend Fahrradabstellanlagen vorhanden sein.

Erste Schritte in diese Richtung wurden in Abstimmung mit den betroffenen Investoren, der Stadtbauverwaltung Graz, und dem ECR Team der TU Graz getätigt. In Abstimmung mit der Holding Graz wurde die Idee von intermodalen öffentlichen Haltestellen für Graz-Reininghaus und deren Verortung entwickelt. Siehe Kapitel 8.1: Empfohlen wird eine schrittweise Weiterführung dieser Idee.

Qualität der motorisierten Individualverkehr-Infrastruktur: Für eine Verbesserung der Punktzahl wäre eine im vollen Umfang an die Nutzungen angepasste Netzhierarchie notwendig. Ebenfalls zeigt die Nachhaltigkeitsbewertung, dass auf dem Gebiet der Erschließungsqualität Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden sind. Dahingehend wäre ein Verbesserungspotenzial bei der Zugänglichkeit für das Laden und Entladen für private Zwecke bzw. der Ver- und Entsorgung auf direktem Wege gegeben. Erste Schritte in diese Richtung erfolgten bereits, im Zuge des Umwidmungsverfahrens und des neuen Flächenwidmungsplans hat das Amt für Stadtplanung und das Amt für Verkehrsplanung mit den privaten Grundeignern einen privatrechtlichen Mobilitätsvertrag vereinbart und unterschrieben. Empfohlen wird die Beibehaltung der in den Verträgen vereinbarten Prinzipien der Sammelgaragen und die konsequente Ausbildung von verkehrsberuhigten Wohn- und Spielstraßen und Begegnungszonen in urbanen Wohnquartieren.

Qualität der Radverkehr-Infrastruktur: Eine konsequente Positionierung als fußgänger- und fahrradfreundlicher Stadtteil wird empfohlen. Aufgrund der innerstädtischen Lage (1,8 km Luftlinie vom Grazer Hauptplatz entfernt) hat Graz-Reininghaus eine optimale Voraussetzung für die Fahrradwegevernetzung, sowohl innerhalb als auch mit dem umgebenden Stadtgebiet von Graz.

Erste Schritte in diese Richtung wurden in Abstimmung mit den betroffenen Investoren, der Stadtbauverwaltung Graz und dem ECR-Team der TU Graz getätigt. Im Rahmen von ECR wurden städteplanerische Vorschläge für ein Fuß- und Radwegeverkehrsnetz ausgearbeitet. (Weitere Infos dazu siehe Annex STB Institut)

7.7 Bewertung der Prozessqualität

Abbildung 7-6 zeigt das Bewertungsergebnis der *Prozessqualität*. Durch die Bewertungskategorie *Prozessqualität* wird u.a. sichergestellt, dass Planung, Abwicklung und Bauausführung einer gleichbleibend guten Qualität entsprechen bzw. ohne Störungen ablaufen [23].

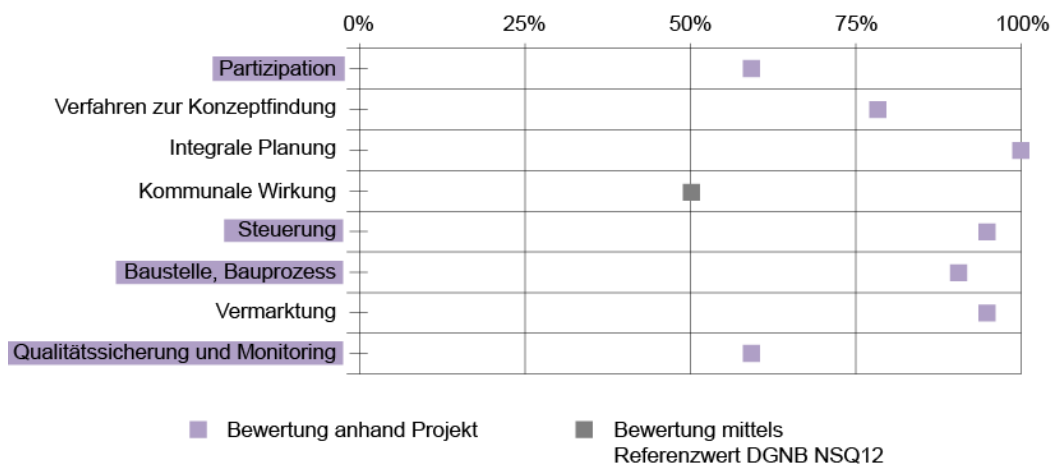


Abbildung 7-6: Bewertungsergebnis Prozessqualität

Für die Bewertung der *Prozessqualität* wird beispielhaft das Kriterium *Baustelle und Bauprozess* näher erläutert. Ein zentrales Ziel dieses Bewertungskriteriums ist die Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs über den gesamten Lebenszyklus sowie eine Reduktion der Verkehrsbelastung während der Errichtungsphase. Durch diese Maßnahmen wird zu einer Minimierung der Umweltwirkungen beigetragen. Wesentliche Grundlage bildet ein schlüssiges Logistikkonzept, in welchem Anwohner und Nutzer mitberücksichtigt werden. In Form einer ökologischen Baubegleitung wird dabei die Umsetzung dokumentiert. Des Weiteren sollte während der Bauphase die Entsorgung fachplanerisch begleitet werden. Emissionen im Sinne von Staub und Lärm sind zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Dies geschieht im Wesentlichen in der Planung und Vorbereitung der Baumaßnahmen (baubetriebliche Ablaufplanung). Für eine Kontrolle der Umsetzung empfiehlt es sich ein Monitoring durchzuführen.

Handlungsempfehlungen Prozessqualität:

Partizipation: Eine Verbesserung in diesem Kriteriensatz könnte durch Miteinbindung bzw. direkten Entscheidungsmöglichkeit der zukünftigen Nutzer (Mitverantwortung) bei der Realisierung des Projektes erzielt werden. Empfohlen wird die Gründung eines professionellen Immobilien- und Quartiersentwicklungsmanagements finanziert durch alle betroffenen Investoren im Stadtgebiet und die Stadt Graz.

Baustelle, Bauprozess: Der Einsatz einer ökologischen Baubegleitung, welche vor Ort die Bereiche Baustellenlogistik, Abfall, Lärm, Staub und Umwelt- und Naturschutz überwacht und dokumentiert, könnte den Zielerreichungsgrad in diesem Bewertungskriterium erhöhen. Ein weiteres Verbesserungspotenzial liegt in der Abfallvermeidung. Hierfür müssten die am Bauprozess beteiligten Personen eine gezielte Schulung bezüglich Abfallvermeidung erhalten. Aufgrund der gewonnen Erkenntnisse von Freiburg Rieselfeld und Basel Erlenmatt wird von Seiten des ECR-Teams der TU Graz eine laufende Optimierung und Überwachung des Bauablaufes der einzelnen Stadtquartiere durch das Grazer Umweltamt empfohlen.

Qualitätssicherung und Monitoring: Mit Hilfe von Gestaltungsrichtlinien (z.B. die Anwendung eines Gestaltungshandbuchs oder die Festsetzung von gestalterischen Belangen in einem städtebaulichen Vertrag) könnte eine Verbesserung im Bewertungsergebnis erzielt werden. Ebenfalls könnten Nachhaltigkeitsfestsetzungen, wie z.B. Erstellung eines Ökologiehandbuchs (Umgang mit Wasser im Stadtquartier), ökologische Festsetzungen im Bebauungsplan (Dachbegrünungen, Regenwassermanagement, Überdeckungen von Tiefgaragen, etc.) oder eine Berücksichtigung ökologischer Belange in einem städtebaulichen Vertrag, zu einer Erhöhung des Zielerreichungsgrads beitragen. Die gewonnenen Erkenntnisse von Freiburg Rieselfeld, Basel Erlenmatt, Hammerby Sjöstad, Salzburg Lehen, Wien Aspern etc. zeigen, dass eine laufende Qualitätssicherung und Monitoring für alle Beteiligten wirtschaftlich, ökologisch und sozial sinnvoll ist. Empfohlen wird die über den *Rahmenplan Energie ECR* begonnene und initiierte Qualitätssicherung auszubauen und weiterzuführen.

8 Analyse des städtebaulichen Bearbeitungsprozesses

Im Folgenden werden Beobachtungen und Erkenntnisse aus dem im Rahmen des Projektes durchgeführten städtebaulichen Bearbeitungsprozess präsentiert. Die Darstellung erfolgt thematisch geordnet in einzelnen Unterkapiteln. Die Ausführungen beinhalten zudem Handlungsempfehlungen, Indikatoren, übertragbare Zielwerte sowie Überlegungen zur Konzeption einer ECR-Wissensbasis und einen Ausblick auf weiterführende Aktivitäten.

8.1 Urbane Mobilität

Ursprünglich war die Mobilität nicht Untersuchungsgegenstand des *Rahmenplanes Energie ECR*, aber auf ausdrücklichen Wunsch der fördergebenden Stellen des Landes Steiermark wurde ein Grobkonzept für die urbane Mobilität des Stadtgebietes Graz-Reininghaus erarbeitet. Im Folgenden wird dieses Grobkonzept vorgestellt.

Die Stadt der kurzen Wege bildet einen zukunftsfähigen Trend, welcher durch eine gute Nutzungsmischung je nach Funktion auf unterschiedlichen Ebenen (Gebäudedurchmischung, Mischung auf einem Baufeld, Quartiersdurchmischung, Stadtteildurchmischung) im Stadtraum gewährleistet werden kann [119]. Hauptsächlich gilt es folgende Strategie zu verfolgen: Weg vom motorisierten Individualverkehr hin zur sanften Mobilität, um den Modal Split zu verbessern und damit CO₂-Ersparnisse anzustreben. Dabei sollen folgende Mobilitätshierarchie angestrebt werden:

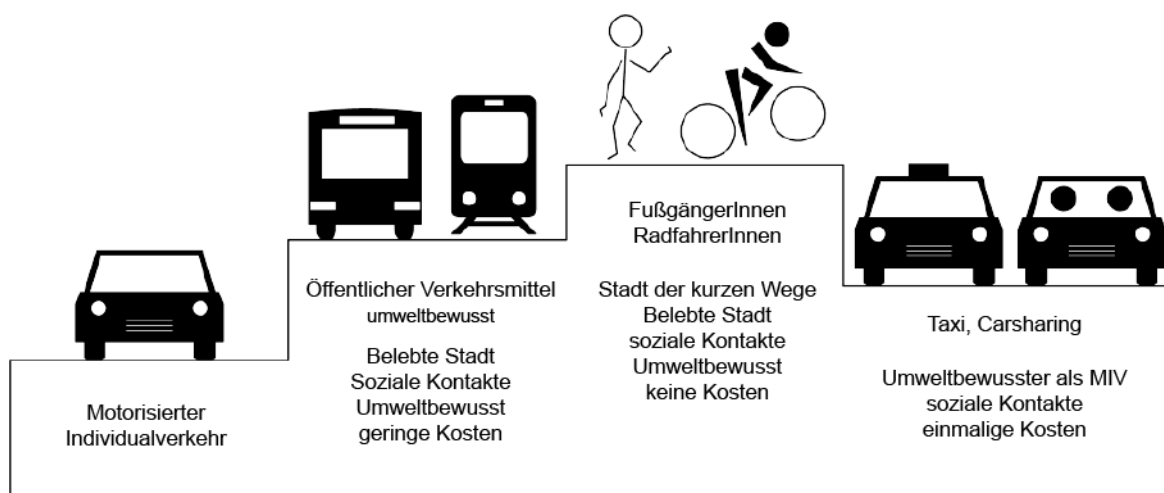


Abbildung 8-1: Mobilitätshierarchie

FußgängerInnen und RadfahrerInnen stehen in der Mobilitätshierarchie an erster Stelle, da diese Arten der Fortbewegung nicht nur die ökologischsten sind, sondern auch gesundheitliche Vorteile haben. An zweiter Stellen folgt der öffentliche Verkehr, welcher durch seine Kapazitäten eine große Menschenmenge befördern kann und dadurch umweltbewusst ist und geringe Kosten für die Nutzer verursacht. Diese bisher genannten Mobilitätsformen beleben zudem die Stadt und stärken den sozialen Kontakt der Bevölkerung. Taxi und Carsharing können als Alternativen zum Besitz eines eigenen PKWs für weitere Strecken oder beim Warentransport dienen. Als Vorteile sind die CO₂-Einsparung sowie die geringeren, jährlichen Gesamtkosten zu nennen.

Mobilität Graz-Reininghaus

Aufgrund der Lage und der derzeitigen Nutzung des Reininghausareals ist dieses momentan sehr schlecht erschlossen. Bezüglich Fußwegenetz und Radwegenetz sowie der öffentlichen Anbindung besteht großer Bedarf an einem Ausbau des Gebietes. Für den derzeitigen Stand ist das bestehende Verkehrsangebot für den KFZ-Verkehr ausreichend, jedoch bei der zukünftigen Weiterentwicklung von Reininghaus weiter auszubauen. Dies ist vor allem an der bereits sehr starken Verkehrsbelastung in den umliegenden Straßenachsen (Alte Poststraße, Wetzelsdorfer Straße, Lazarettgürtel, Eggenberger Gürtel, Kärntnerstraße, Don Bosco) erkennbar [120].

Fußwegenetz

Aus der Quartiersaufteilung laut Rahmenplan ergibt sich in erster Linie das überregionale Fußwegenetz, wobei die Wege durch die Zwischenräume der Quartiere entstehen. Da ein Fußwegenetz feinmaschiger sein muss, um eine gute Erreichbarkeit aller Wohnungen und Einrichtungen sicherstellen zu können, muss eine Durchwegung bei den Blockrandbebauungen der jeweiligen Quartiere gewährleistet werden. Um dies zu ermöglichen, wird es notwendig sein, bei jedem Bauabschnitt die Erreichbarkeit der nachbarschaftlichen Flächen miteinzubeziehen.



Abbildung 8-2: links: Fußwegenetz, rechts: Radwegenetz

Radverkehr

Das Fahrradwegenetz ist in Graz-Reininghaus derzeit ziemlich schlecht ausgebaut. In der Umgebung sind zwar Radwege vorhanden, welche jedoch das Stadtentwicklungsgebiet gekonnt umfahren. Ein Ausbau des Netzes vor allem im Umsetzungsgebiet selbst muss bei der Ausführung gewährleistet werden. Der Anschluss an vorhandene Fahrradwege in der Nachbarschaft muss durchgeführt werden. Die Anbindung an die Grazer Innenstadt sollte anhand zweier Unterführungen in Richtung Osten umgesetzt werden.

Besonderes Potenzial für eine direkte Ost-West-Anbindung an die Innenstadt beherbergt die im Norden von Graz-Reininghaus verlaufende Friedhofsgasse. Über die Friedhofsgasse ist es möglich von Graz-Reininghaus die Grazer Innenstadt mit dem Fahrrad in 10 Minuten zu erreichen. Um dieses Potenzial voll auszuschöpfen, wäre eine kreuzungsfreie Querung (Unterführung) des Bahnhofgürtels erforderlich.

Besonderes Augenmerk sollte auch einer direkten Radwegevernetzung mit dem FH Campus Eggenberg und der Anbindung der regionalen Bahnknoten GKB Bahnhof und Don Bosco gewidmet werden. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse von Stadtentwicklungsprojekten in Europa (Basel, Zürich, Kopenhagen, Freiburg, Stockholm, Salzburg) ist zu empfehlen, dass in Graz-Reininghaus mit Beginn der ersten Bauetappen der Quartiere Q1 und Q4 auch der Ausbau der Fahrradwege für Graz-Reininghaus erfolgt. Ziel sollte sein, den ersten Reininghaus-BewohnerInnen eine optimale Fahrradbindung mit dem umgebenden Stadtgebiet und der Innenstadt anzubieten.

Öffentlicher Verkehr

Das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus besitzt derzeit keinerlei direkten öffentlichen Verkehrsanschluss. Straßenbahnlinien fahren nördlich des Gebietes, in der Eggenberger Allee, vorbei, wobei Busverbindungen im Osten, Süden und Westen das Gebiet umfahren.

Laut dem von der Stadt Graz entwickelten Verkehrskonzeptes für Graz-Reininghaus sind mehrere Maßnahmen für den öffentlichen Verkehr vorgesehen. Entlang der Nord-Süd verlaufenden Esplanade ist die Führung einer zentralen Straßenbahnlinie geplant. Über mehrere Buslinien wird in Zukunft die erforderliche ÖV-Vernetzung des Gebietes abgedeckt werden. Im umfassend entwickelten Verkehrskonzept ist auch die ÖV-Anbindung der regionalen Bahnknoten Don Bosco und Graz Köflach Hauptbahnhof angedacht.

Wenn man bedenkt, dass im zukünftigen Stadtgebiet von Graz-Reininghaus mehr als 10.000 Menschen leben und arbeiten werden und die ersten Stadtquartiere bereits in zwei Jahren errichtet werden, ist unumgänglich jetzt schon die ersten Schritte für die Finanzierung und den Ausbau der zukünftigen Straßenbahnanbindung zu tätigen. Mit den jetzigen Budgetmitteln der Stadt Graz wird es nur möglich sein „bedarfsgerechten Ausbau der ÖV-Infrastruktur“ zu tätigen. Die Erfahrungen aus der Entwicklung von Freiburg Rieselfeld, Wien Aspern und Linz Pichling zeigen, dass es optimal ist, wenn die zentrale Straßenbahnlinie mit Beginn der ersten Bauetappen errichtet wird. Um diesen finanziellen Kraftakt zu ermöglichen, bedarf es aber, wie bei Linz Pichling und bei Wien Aspern, einer Sonderfinanzierung durch die Stadt, das Land, den Bund.

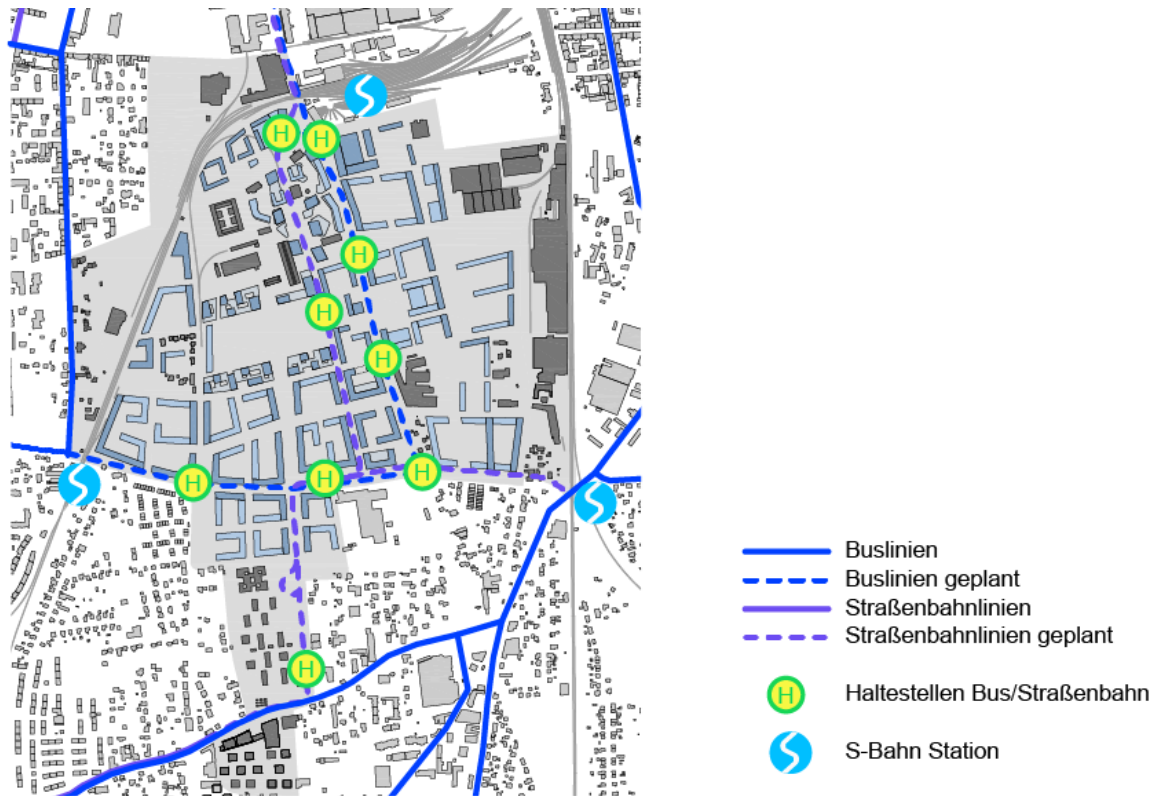


Abbildung 8-3: Öffentlicher Verkehr

Multimodalität

Die sanften Mobilitätsformen gewinnen in smarten Städten immer mehr an Bedeutung. Die umwelt- und energieschonenden Mobilitätsformen müssen künftig unterstützt werden, wobei ein multimodales Mobilitätsverhalten gefördert werden muss. Dabei wird multimodalen Knoten³ besondere Bedeutung zugeschrieben. Diese werden basierend auf einer ÖV-Haltestelle mit Abstellanlagen für Fahrräder, Taxis, Carsharingautos und/oder Mietwagen (auch in Elektroausführung) erweitert, um einen raschen und unkomplizierten Wechsel zwischen den Verkehrsmitteln zu gewährleisten. Über Informationssysteme wie App's oder Infoscreens sollen Bürger Echtzeitinformationen über alle vorhandenen Mobilitätsangebote bekommen. Im Rahmen des Schulterschlusses zwischen Stadtbaudirektion Graz, den beteiligten Planungsämtern der Stadt Graz (Stadtplanungsamt und Verkehrsplanungsamt), der Holding Graz und der TU Graz wurden bereits erste Planungsschritte zur stadträumlichen Positionierung von multimodalen Knoten getätigt. Abbildung 8-4 zeigt die mögliche Positionierung von intermodalen Knoten im Stadtgebiet von Graz-Reininghaus.

³ Multimodale Knoten: Örtliche Zusammenfassung unterschiedlicher Verkehrsmittel (z.B. öffentlicher Verkehr, motorisierter Individualverkehr, Elektromobilität,...) an einem Standort

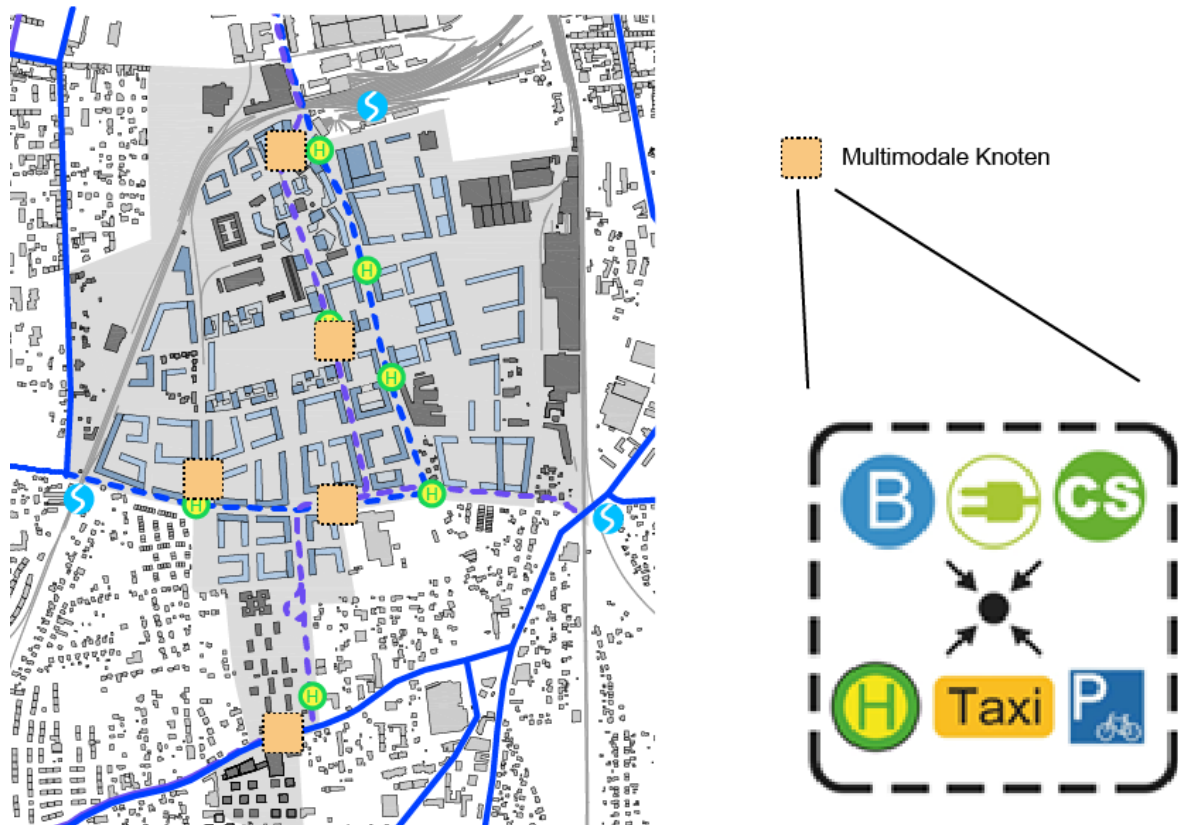


Abbildung 8-4: Zusammensetzung multimodale Knoten

Für Graz-Reininghaus werden fünf Standorte für multimodale Knoten vorgeschlagen werden:

- Standort am urbanen Platz zwischen Linse und Quartier 1
- Standort im Zentrum Reininghaus beim Central Park
- Zwei Knoten in der Wetzelsdorferstraße
- Quartier Reininghaus Süd – Peter-Rosegger-Straße

Um die innovativen multimodalen Knoten zu realisieren zu können, sind ebenfalls Sonderfinanzierungsmaßnahmen erforderlich. Durch nationale und EU-Projektförderungen könnte die Realisierung der innovativen multimodalen Knoten ermöglicht werden.

Motorisierter Individualverkehr

Durch die Entwicklung des Reininghausareals wird sich auch der motorisierte Individualverkehr im Grazer Westen vermehren. Der Schwerpunkt wird zwar auf die sanfte Mobilität gelegt, dennoch ist ein Ausbau des Verkehrssystems für den motorisierten Individualverkehr notwendig. Laut Verkehrskonzept der Stadt Graz erhält das Stadtgebiet Graz-Reininghaus Quartiersstraßen, die Zufahrt bis zur Haustüre ist nur für Ladetätigkeiten erlaubt. Für Parkmöglichkeiten sind Sammelgaragen geplant. Der Anschluss an die Kernstadt von Graz in Richtung Osten soll mittels einer Unterführung des Stahlwerkes in der Höhe der Josef-Huber-Gasse gelöst werden. Abbildung 8-5 zeigt das Konzept des motorisierten Individualverkehrs für Graz-Reininghaus.

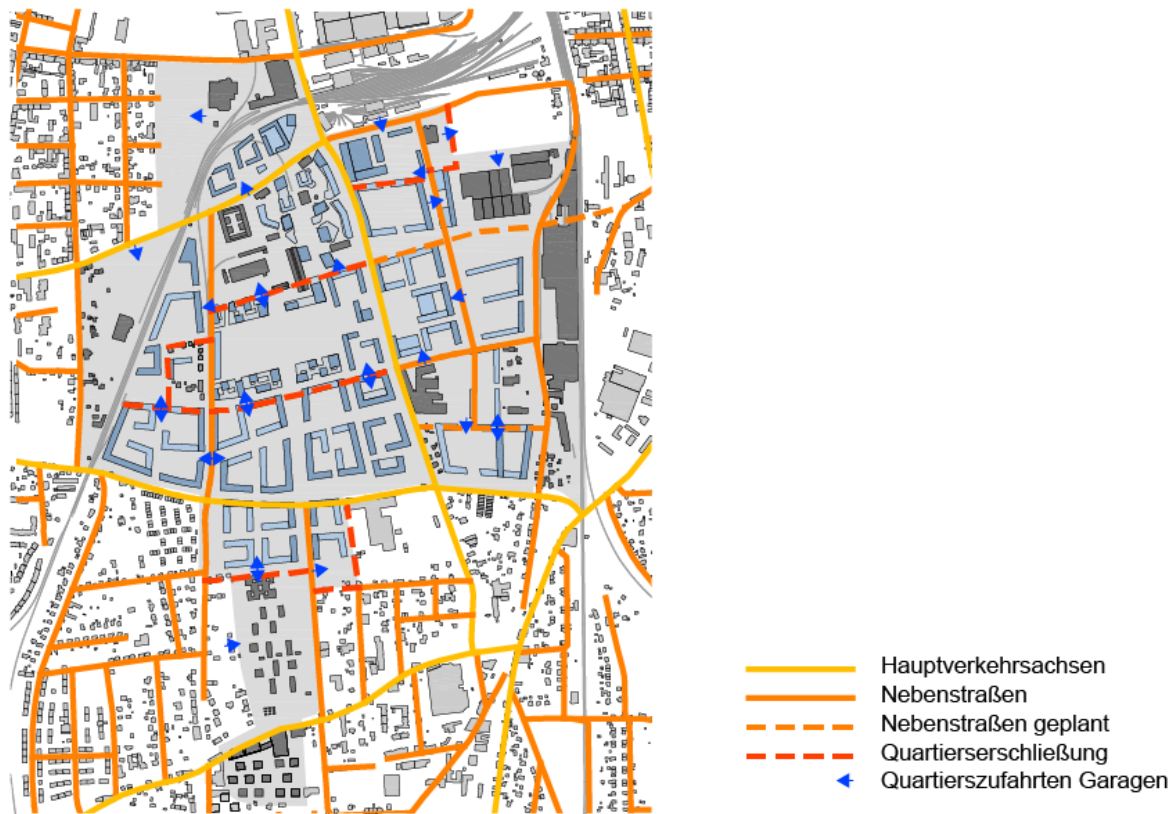


Abbildung 8-5: Motorisierter Individualverkehr

Im vorliegenden Endbericht des *Rahmenplanes Energie ECR* können folgende Empfehlungen zur Etablierung von E-Mobilität ausgesprochen werden:

- Es ist angedacht, die zukünftige Elektromobilität in sogenannte multimodale Knoten in Graz-Reininghaus zusammenzufassen. In den einzelnen Knoten sind Stellplätze für E-Taxis, E-Carsharing sowie öffentliche Stellplätze mit einer Anzahl von zwei elektrischen Ladestationen vorgesehen. Folgende Aufteilung der Stellplätze an einem multimodalen Knoten ist angedacht [121]: 2 Stellplätze für E-Taxis, 4 Parkplätze für E-Carsharing, 1 Stellplatz für öffentliches Laden
- Für diese multimodalen Knoten sind in Summe zwei Ladestationen mit beschleunigter Beladung (22 kW Ladeleistung pro Ladestation) mit einer Gesamtanschlussleistung von 44 kW vorzusehen [121]. Einen wesentlichen Einfluss auf die elektrische Anschlussleistung besitzt die Einbindung der Elektromobilität in das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus. Basierend auf der Parkplatzaufteilung (lt. Abteilung für Verkehrsplanung – Stadt Graz) werden für 30 % der zukünftig geplanten KFZ-Stellplätze je Quartier des primären Analyse-Gebietes elektrische Ladestationen angenommen.

- Die so ermittelte zusätzliche elektrische Anschlussleistung hängt von der möglichen Ladeleistung (Langsamladung, beschleunigte Ladung, Schnellladung) ab. Die zu berücksichtigende Anschlussleistung im gesamten Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren [122] von elektrischen Ladestationen liegt zwischen 3,5 MW (Langsamladung je 3,5 kW) und 17,9 MW (Schnellladung je 50 kW). Für die Anbindung des Stadtentwicklungsgebietes sind zusätzlich die Anschlussleistungen zur Versorgung des Straßenbahnnetzes (Unterwerke) mit jeweils 2 MW zu berücksichtigen.
- Aufgrund der längerfristigen Entwicklung des geplanten Stadtteils ergibt sich eine kontinuierliche Erhöhung der Anzahl von Personen mit öffentlichem Mobilitätsbedarf. Der elektrische Energiebedarf einer möglichen zukünftigen Straßenbahnlinie bzw. die Bewerksstellung durch einen Elektrobuss im geplanten Stadtteil wird anhand von Kennzahlen abgeschätzt. Auf rein energetischer Basis besitzt der Elektrobuss bei einer geringen Personenanzahl im Bereich von 40 Personen einen geringeren Energiebedarf als die Straßenbahn. Dieser geringere Energiebedarf steht jedoch Investitionen im elektrischen Bereich der Endstation durch die Schnellladung für den Elektrobuss entgegen. Die Integration elektrischer Ladestationen für Elektrofahrzeuge für 10 % der Haushalte je Quartier ergibt eine zusätzliche Anschlussleistung von 241 kW.

City Logistik

Die dichten Bebauungsstrukturen mit ihrer urbanen Sockelzone und den darin befindlichen Geschäftsnutzungen erfordern die Möglichkeit der Zu- und Ablieferung von Waren. Diese Mobilitätsanforderung wirkt sich unmittelbar auf den öffentlichen Raum aus. Um den hochwertigen öffentlichen Raum (Esplanade, urbane Plätze, urbane Begegnungszonen) so wenig wie möglich mit Zu- und Ablieferung von Waren zu belasten, wird empfohlen ein City-Logistik-System für Graz-Reininghaus einzusetzen. Der Einsatz von City-Logistik wird in mehreren europäischen Städten bereits erfolgreich angewandt, durch die Entwicklung von Graz-Reininghaus ergibt sich die Chance, auch in Graz ein derartiges System umzusetzen.

8.2 Wirtschaft

„Es ist eine extrem kurzsichtige, zukunftsvergessene Sichtweise, sich auf eine rein ökonomische Energiediskussion einzulassen, die die Debatte auf aktuelle Preisvergleiche reduziert“

Hermann Scheer, 1944-2010, zitiert nach Solarzeitalter 1/2015, p1

Das wirtschaftlich optimale System der Energieversorgung eines Gebietes hängt naturgemäß von den bestehenden Preisen (Energiepreise und Investitionskosten) und vom gewählten ökonomischen Modell ab. Voraussagen über Preisentwicklungen sind derart spekulativ, dass sie den Aufwand nicht wert sind. Simulationsmodelle können aber Szenarien abbilden, wobei besonders zwei Aufgaben erfüllt werden können:

- Berechnungen, wie und wann eine Form der Energieversorgung bei bestehenden, konstant angenommenen sonstigen Preisen konkurrenzfähig ist (z.B. zu welchem Preis muss Fernwärme angeboten werden, dass sie billiger ist als die lokale Wärmeproduktion mittels Brunnenwasser und Wärmepumpen).
- Berechnungen, die zeigen, wie „preisstabil“ das gewählte Energiesystem ist. Diese Berechnungen helfen abzuschätzen, ob das gewählte System schon bei geringen oder erst bei starken Schwankungen im Preisgefüge suboptimal wird.

Jedenfalls zeigen alle Berechnungen, dass die Investitionskosten gegenüber den Betriebskosten dominieren. Je näher man den Nahezu-Null-Energie-Häusern kommt, desto mehr nähert man sich auch der „Null-Grenzkosten-Gesellschaft“, wie sie von Jeremy Rifkin vorausgesagt wird⁴. Diese Tatsache beeinflusst auch die Geschäftsmodelle, die mit der Energiebereitstellung verbunden sind. Konnte man bei klassischen Energieversorgungssystemen mit geringen Anschlussgebühren noch Kunden werben, um die realen Anschlusskosten später über Tarife zu refinanzieren, wird dies bei Nahezu-Null-Energiekunden schwieriger bis unmöglich, da die wenigen verkauften Energiemengen dies nicht erlauben werden.

Weiters sind die Infrastrukturkosten für netzgebundene Energieträger nur gering von der Auslegungsleistung und fast gar nicht von der gelieferten Energiemenge abhängig. Die Komplexität von Energiesystemen für Smart Cities wird weiter gesteigert durch die große Palette an technologischen Möglichkeiten zur nachhaltigen Energiebereitstellung und Energienutzung. Gerade in Städten, die einen hohen Grad an Funktionsmischung aufweisen, kann ein Überschuss an Wärme und Kälte aus Industrie und Gewerbe für die Versorgung von Wohnraum und Betrieben genutzt werden. Gerade die Nutzung dieser beiden Energieformen ist nur dann möglich, wenn die Distanz zwischen Bereitstellung und Nutzung kurz, von wenigen hundert Metern bis wenigen Kilometern ist. Gleichzeitig kann Funktionsmischung und Dichte auch dazu beitragen, die Lastprofile für Wärme, Kälte (und auch elektrischer Energie) an das Angebot an (intermittierenden) erneuerbaren Energiequellen anzugleichen.

⁴ Jeremy Rifkin: Die Null-Grenzkosten-Gesellschaft: Das Internet der Dinge, kollaboratives Gemeingut und der Rückzug des Kapitalismus. Campus 2014, ISBN 978-3-593-39917-1

Neben der Nutzung industrieller und gewerblicher Überschusswärme und Kälte, deren Nutzung auch durch hocheffiziente Bauformen, die eine Versorgung mit Niedertemperatur-Heizwärme erlauben, begünstigt wird, wird auch das Wechselspiel zwischen zentralen und dezentralen Energiebereitstellungstechnologien neu geordnet. Dezentrale Wärmepumpen mit Energiespeichersystemen, dezentrale Gas-KWK-Anlagen ebenfalls in Verbindung mit Speicherung können neben der Versorgung von Wohnungen und Gewerbe mit Wärme (und auch Kälte) zur Stabilisierung von Elektrizitätsnetzen beitragen: Wärmepumpen können Überschussstrom als Wärme nutzen und billig speichern, dezentrale KWK-Anlagen können helfen, Stromversorgungslücken zu überbrücken und die Wärme ebenfalls durch Speicherung von der Stromerzeugung zu entkoppeln. Dezentrale PV-Anlagen und thermische Solaranlagen können vorhandene Gebäudeflächen zur Energiebereitstellung nutzen. Bi-direktionale Netze können die so gewonnene Energie anderen Nachfragern zur Verfügung stellen. Damit wird das bisher starre System von Produzenten, Verteilern und Konsumenten im Energiesektor nachhaltig aufgebrochen und macht einem innovativen Geflecht von „Prosumern“ Platz.

Diese Faktoren prädestinieren dichte urbane Siedlungsräume für systemische Energielösungen, die zu einer wesentlichen Effizienzsteigerung der Gesellschaft insgesamt beitragen. Allerdings kann dies nur gelingen, wenn Smart Cities auch entsprechend smarte Businessmodelle entwickeln: Das Netz an Prosumern ist komplexer, bringt Akteure mit ganz unterschiedlichen Interessen zusammen und erfordert innovative Marktsysteme zu seinem Funktionieren.

Folgende Faktoren sind für ein Gelingen von innovativen Businessmodellen für smarte Energiesysteme in Städten von besonderer Bedeutung:

Konzentration auf Energiedienstleistungen

Die Vielzahl der Kombinationen von Bereitstellungs- und Nutzungstechnologien kann dann optimal genutzt werden, wenn nicht bestimmte Mengen an einzelnen Energieformen nachgefragt werden, sondern Energiedienstleistungen. Damit werden unterschiedliche Kombinationen von Technologien möglich, die das vorhandene Potenzial an Energiequellen optimal nutzen.

Zeitabhängige Abgeltung von Energiekonsum

Da viele erneuerbare Energieformen intermittierend bereitstehen, ist es wichtig, die Abgeltung für die Inanspruchnahme von Energie zeitabhängig zu gestalten. Damit werden Anreize geschaffen, Energiebereitstellung und Energiekonsum in Deckung zu bringen.

Abgleich der Interessen der Akteure im Energiesystem

Die Auflösung des strikten Produzenten-Konsumenten-Schemas erfordert vollkommen neue Aushandlungsformen zwischen den, jetzt gleichberechtigten, Teilnehmern am Energiesystem. Da Energiebereitsteller in einem solchen System ihre wirtschaftlichen Aktivitäten nicht ausschließlich (und meist nicht einmal überwiegend) im Bereich der Energiewirtschaft haben, muss eine Vielzahl von Interessen in Übereinstimmung gebracht werden. Industriebetriebe werden etwa ihr Hauptaugenmerk auf ihre Produktion legen, die Energiebereitstellung für andere Akteure im System stellt für sie nur eine Zusatzquelle für Einkommen dar.

Klare Regelung von Verantwortlichkeit und Risikoabgeltung

In einem so komplexen System, wie es Smart-City-Energiesysteme darstellen, ist die Regelung der Verantwortlichkeiten und Risikoabgeltung eine zentrale Aufgabe von Businessmodellen. Die Definition von Qualitätsnormen zur Bereitstellung der Energiedienstleistungen, die Verantwortung für deren Einhaltung und eine realitätsbezogene Einschätzung der Risiken und der aus dieser Abschätzung abgeleiteten Notwendigkeit von Redundanzen im System entscheiden über den wirtschaftlichen Erfolg und die Effizienz derartiger Systeme.

8.3 Gebäudestandards, Lebenszyklus u. Klima

Dass der Weg in Richtung Energieeffizienz und Nachhaltigkeit für Graz-Reininghaus zu beschreiten ist, wird von allen Projektbeteiligten außer Zweifel gestellt. Eine gesetzliche Ausgangsbasis liefert die OIB Richtlinie (OIB 6). Laut dieser Richtlinie sollen Neubauten, in Anlehnung an die EPBD (Richtlinie 2002/91/EG), bis 2021 stufenweise nur noch als „Fast-Nullenergiegebäude“ errichtet werden dürfen. Diese Gebäude sollen den Großteil ihres Energieverbrauchs aus erneuerbaren Energieträgern decken. Diese Vorgabe wurde auch in die nationalen Rechtsvorschriften aufgenommen, womit nun konkrete Zielvorgaben vorliegen.

Eine weitere wichtige Vorgabe stellt die EU-Bauprodukteverordnung (BPV) 2011 dar, die das Inverkehrbringen von Bauprodukten und die CE-Kennzeichnung neu regelt. Die (nunmehr) Basisanforderungen richten sich dabei nicht an das Bauprodukt, sondern an das Bauwerk. Demnach muss das Bauwerk derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und Folgendes gewährleistet ist:

- a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss recycelt werden können.
- b) Das Bauwerk muss dauerhaft sein.
- c) Für das Bauwerk müssen umweltfreundliche Roh- und Sekundärbaustoffe verwendet werden.

Im Laufe der letzten Jahrzehnte gab es ergänzend zahlreiche Aktivitäten zur Entwicklung von Gebäudebewertungs-/zertifizierungssystemen, welche die Nachhaltigkeit von Gebäuden berücksichtigen. Die internationalen Erfahrungen in anderen Ländern zeigen, dass durch die Berücksichtigung und Bewertung von Nachhaltigkeitskriterien in frühen Planungsphasen sowie durch Kontrolle nach Fertigstellung (etwa im Rahmen einer Zertifizierung, z.B. TQB oder DGNB) eine deutliche Steigerung der Gebäudequalität erreicht werden kann. Die große internationale Verbreitung der Gebäudebewertungs-/zertifizierungssysteme zur transparenten Darstellung der Gebäudequalitäten belegt u.a. die Verbreitung und Verwendung von Bewertungssystemen wie „LEED“, „BREEAM“, „DGNB“ u.v.a.m.

Ergänzend sind die vom CEN/TC 350 entstandenen Normen als allgemein anwendbarer, horizontaler Ansatz und definierte Grundsätze der Bewertung der ganzheitlichen Qualität (engl. performance) von Gebäuden über den Lebenszyklus zu erwähnen. Sie beschreiben eine harmonisierte Methodik für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden, der ökonomischen und der quantifizierbaren Gebäudequalität in Bezug auf Gesundheit und Behaglichkeit (sozio-kulturell).

8.4 Wissenschaft

Im gewählten Bearbeitungsansatz wurden vier Institute der Technischen Universität Graz und ein Institut der Universität Graz beauftragt, wissenschaftliche Studien zur Begleitung des Entwicklungsprozesses durchzuführen. Die Begleitstudien wurden angelegt, um unterschiedlichste Wissenschaftsdisziplinen, Betrachtungsansätze, und Vorgangsweisen in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. Aus dem Begleitungsprozess konnten auf zwei unterschiedlichen Betrachtungsebenen Erkenntnisse abgeleitet werden.

- Einerseits konnte der Entwicklungsprozess im Grazer Stadtteil Reininghaus direkt von der Begleitforschung profitieren. Die Begleitforschung arbeitete auf der Grundlage der jeweils aktuellen lokalen Möglichkeiten und Randbedingungen. Somit konnten Ergebnisse direkt über die Vernetzungsaktivitäten an die Stakeholder des Planungsprozesses kommuniziert werden. Die entsprechenden umfangreichen technischen Analysen werden zudem in Annexberichten dargestellt.
- Andererseits besteht der nachvollziehbare Wunsch über den „Anwendungsfall Reininghaus“ hinaus, auf andere urbane Entwicklungsvorhaben übertragbare Ergebnisse zu generieren. Allgemeingültige Ergebnisse aus einer einzigen Fallstudie zu generieren, ist ein naturgemäß limitiertes Vorhaben. Dennoch konnten im Rahmen des Projektverlaufes einzelne Beobachtungen gemacht werden, die sich für andere urbane Entwicklungsvorhaben als nützlich erweisen könnten.

Hohe Entwicklungskomplexität durch eine hohe Anzahl an Entwicklungsszenarien

Die energietechnische Forschung auf Gebäudeebene hat mittlerweile eine langjährige und erfolgreiche Entwicklungsgeschichte vorzuweisen. Die deutliche jüngere Bearbeitung der Ressourcen- und Energieeffizienz ganzer Stadtteile behandelt hingegen jeweils eine Vielzahl unterschiedlicher Gebäude, die durch eine Vielzahl an Wechselwirkungen miteinander in Beziehung stehen. Die damit verbundene Ausweitung des Betrachtungssystems vom Einzelgebäude zu Gebäudeverbänden bewirkt eine enorme Steigerung der Anzahl möglicher Entwicklungsszenarien. Die klassische im Ingenieurwesen übliche Szenarientechnik, also das Definieren einiger Lösungsszenarien auf der Grundlage der Erfahrung, stößt im urbanen Kontext an ihre Grenzen. Die Bearbeitung im Forschungsprojekt *ECR Energy City Reininghaus* [3] verfolgte diesbezüglich zwei parallel geführte Ansätze.

Einerseits wurde in einer Begleitstudie das Energiesystem, das die höchste Umsetzungswahrscheinlichkeit aufgewiesen hat, als Untersuchungsgegenstand instationärer thermischer und elektrotechnischer Simulationen gewählt (Kapitel 5). Andererseits beschäftigte sich eine andere Studie parallel dazu mit einer neuartigen Methode zur Gestaltung von Energiesystemen, der Prozess-Netzwerk-Synthese (Kapitel 6). Im Rahmen der Prozess-Netzwerk-Synthese wurde aus einer großen Anzahl möglicher Konfigurationen, der Maximalstruktur, durch Einsatz von Optimierungsalgorithmen die Konfiguration mit dem höchsten Grad an Erfüllung einer Zielfunktion berechnet. Das Ergebnis zeigt mit der Optimalstruktur jene Konfiguration an Energiesystemen, welche die beste ökonomische Performance erreicht. Aktuell laufen Bestrebungen innerhalb der Technischen Universität Graz, die PNS-Software mit Geoinformationssystemen zu koppeln und zum Tool für Energieraumplaner weiterzuentwickeln.

Unsicherheiten in der Planbarkeit des urbanen Energiesystems

Die Planung und Errichtung von Energiesystemen auf der Ebene einzelner Gebäude ist meist mit klaren Rahmenbedingungen und Entscheidungsstrukturen hinterlegt und zudem auf einen überschaubaren Zeitraum von meist wenigen Jahren ausgerichtet. Die Entwicklungsbedingungen für urbane Energiesysteme sind ungleich komplexer. Eine zentrale Ursache dafür liegt in den auf der urbanen Ebene meist bis um das zehnfache längeren Entwicklungszeiträumen. Mit der Länge der Entwicklungszeit steigt die Möglichkeit der Einflussnahme externer Störfaktoren. Als Beispiel kann der jeweilige Nutzungsmix genannt werden. Die Art und Verteilung der jeweils ansässigen Nutzungen bestimmt über das Systemdesign der energietechnischen Infrastruktur. Der jeweilige Nutzungsmix kann jedoch nur bedingt geplant werden. Vielmehr entscheidet sich die tatsächliche Nutzungsstruktur meist zu einem späten Zeitpunkt des Entwicklungsprozesses im Spannungsfeld zwischen Angebot und Nachfrage. Ebenso ist die Anschlusspflicht an ein zur Verfügung gestelltes Energiesystem hoheitlich auch nur bedingt durchsetzbar. Da aber die Abnahmedichte eine zentrale Rolle bei der Bewertung der Investitionen für energietechnische Infrastruktur darstellt, sind entsprechende Investitionen mit hohen Unsicherheiten in Bezug auf die spätere Auslastung belegt und somit auch ökonomisch risikobehaftet. Dies ist insbesondere von Bedeutung, da die Errichtung von Teilen der energietechnischen Infrastruktur und somit die Entscheidung zur Investition zeitlich weit vor der Fertigstellung und des potentiellen Anschlusses der Gebäude getroffen werden muss.

Das thermische und das elektrische Energiesystem müssen abgestimmt entwickelt werden

Urbane Strukturen müssen sowohl mit thermischer als auch mit elektrischer Energie versorgt werden und bilden dementsprechende Versorgungsstrukturen aus. In der akademischen Betrachtung haben sich für jede Energieform eigene Fachdisziplinen etabliert und treiben die jeweilige Entwicklung voran. Die thermische Energieversorgung wird durch die Disziplin „Wärmetechnik“ und die elektrische Energieversorgung durch die Disziplin „Elektrotechnik“ verantwortet. Im „Realsystem Stadt“ treten diese beiden Versorgungsstrukturen jedoch im Rahmen zahlreicher Nahtstellen (z.B. Heizstäbe, Elektronik, Beleuchtung, Wärmepumpen u.v.m.) miteinander in Wechselwirkung und bilden ein Gesamtversorgungssystem. Änderungen in einem Teilsystem führen oftmals zu Änderungen in der Planung und im Betrieb des jeweils anderen Teilsystems. Demzufolge ist die Entwicklung eines effizienten Gesamtsystems nur mit einer interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Experten der Wärmetechnik und Experten der Elektrotechnik umsetzbar. Im Forschungsprojekt *ECR Energy City Reininghaus* [3] wurde diese Zusammenarbeit durch die aufeinander abgestimmte Bearbeitung des Institutes für Wärmetechnik und des Institutes für Elektrische Anlagen (beide Technische Universität Graz) erprobt. Die Koppelung wurde durch abwechselnde Bearbeitung und Übermittlung der Input- und Outputdaten der fachspezifischen Modelle implementiert. Dabei zeigte sich deutlich die Notwendigkeit, dass diese manuelle Form der Koppelung in automatisierte Formen der Koppelung bzw. thermisch-elektrischen Gesamtmodellen weiterentwickelt werden muss. Erst das Ineinandergreifen von wärmetechnischen und elektrotechnischen zeitreihenbasierten Simulationen wird es möglich, komplexe urbane Energiesysteme so realitätsnah zu modellieren, dass gesamtheitliche und effiziente Betriebsstrategien entwickelt werden können.

Simulationsmodelle zur Abbildung ganzer Stadtteile nur sehr eingeschränkt verfügbar

Simulationsmodelle zur Modellierung des thermischen Verhaltens von Systemen haben ihren Ursprung in zwei Entwicklungslinien. Die aus dem Bauwesen stammende Linie ist eher auf die Modellierung der baulichen Struktur ausgerichtet und die aus dem Maschinenbau stammende Linie eher auf die Modellierung energietechnischer Anlagen. Beide Entwicklungslinien wurden bisher vorrangig für meist kleine Einheiten, beispielsweise einzelne Gebäude, entwickelt. Der Einsatz dieser instationären Simulationsmodelle für ganze Stadtteile bedingt eine Vervielfachung der Simulationskomponenten und überfordert die derzeitigen Simulationssysteme. Einzelne Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes ECR haben zudem gezeigt, dass das Eigenverschattungsverhalten einen großen Einfluss auf das Bewertungsergebnis hat und daher detailliert berücksichtigt werden muss. Auch diese Notwendigkeit ist mit den derzeitigen Simulationssystemen nur bedingt durchführbar. In Reaktion auf die Einschränkungen der Anwendbarkeit gängiger Simulationssysteme auf den städtebaulichen Maßstab mussten im Forschungsprojekt ECR mehrere Simulationsmodelle zur Beantwortung der gestellten Aufgaben aufgebaut werden. Die Entwicklung von instationären Simulationssystemen zur hohen zeitlichen und hohen räumlichen Auflösung ganzer Stadtteile bzw. Städte ist zurzeit Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte, wie zum Beispiel dem „research studio austria,“ *EnergySimCity* [123] oder dem Projekt *CityCalc* [124].

Die energietechnische Vernetzung zeigt Potenzial

Ein Bearbeitungsansatz des Forschungsprojektes ECR liegt in der Suche nach energietechnischen Potenzialen zur Vernetzung der einzelnen Subsysteme des Stadtteils Graz-Reininghaus (vgl. Kapitel 2.4). Das diesbezüglich größte Potenzial zeigt die Nutzung der in großen Ausmaßen vorhandenen Abwärme der umliegenden Industriebetriebe. Das Forschungsprojekt ECR initiierte unter dem Arbeitstitel „Energiebausteine“ (siehe Kapitel 3.11) zahlreiche Gespräche zwischen potentiellen Bereitstellern und potentiellen Kunden industrieller Abwärme. Die bisher am weitesten entwickelte Umsetzung befindet sich am südlichen Ende des Stadtentwicklungsgebietes. Im *Plusenergieverbund Reininghaus Süd* ist die energietechnische Vernetzung zwischen Wohnbauten untereinander und mit Gebäuden anderer Nutzung bereits baulich umgesetzt. Ein weiterer Ansatz liegt in der Nutzung der Abwärme des vor Ort ansässigen Stahlwerks. Im entsprechenden Konzept wird die Abwärme als Wärmequelle großer Wärmepumpen genutzt. Ausgehend vom Einspeisepunkt wird die Wärme über ein lokales Wärmenetz zu den Verbrauchern geführt. Die im Rahmen des Forschungsprojektes ECR durchgeführten Analysen hinterlegen die energietechnische Funktionsfähigkeit eines derartigen Systems. Es zeigt sich, dass die Effizienz einer derartigen lokalen Abwärmenutzung äußerst sensitiv an die Abnahmedichte gekoppelt ist. Wird die Bebauung des Areals wie geplant durchgeführt und werden die Gebäude auch an das lokale Nahwärmesystem auf der Basis von Abwärme und Wärmepumpe angeschlossen, dann ergibt sich ein effizientes und konkurrenzfähiges wärmetechnisches Versorgungssystem. Wird die Bebauung nur teilweise gebaut, bzw. in einer geringeren städtebaulichen Dichte ausgeführt, oder werden nicht alle Gebäude angeschlossen, dann wirkt sich das stark auf die Effizienz des Gesamtsystems aus. Dies ist der Fall, wenn durch die thermischen Netzverluste und der für die Pumpleistung benötigte elektrische Strom einer geringeren Wärmelieferung gegenüberstehen. Auch weitere Vernetzungen werden zurzeit untersucht und vorgetrieben. Insbesondere zeigt die Nutzung industrieller Gebäude Potenzial zur Aufstellung großflächiger Photovoltaikanlagen.

Forschungsbedarf in der Nachhaltigkeitsbewertung von Stadtquartieren

Die Forschung zur Nachhaltigkeit im gebauten Umfeld war über Jahrzehnte auf einzelne Gebäude fokussiert. Gleichlaufend wurden auch die entsprechenden Zertifizierungssysteme für das Betrachtungssystem Einzelgebäude entwickelt. Die Begleitstudie „Nachhaltigkeitsbewertungen auf der Grundlage von Zertifizierungssystemen“ untersuchte vier Bewertungssysteme zur Zertifizierung der Nachhaltigkeit in Bezug auf ihre Anwendbarkeit auf ganze Stadtteile. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung von Bewertungskriterien der Gebäudeebene mit Bewertungskriterien der Stadtquartiersebene zeigen, dass Bewertungskriterien wie „CO₂-Emissionen“, „Energieeffizienz“ und „Erneuerbare Energie“ zwar in bestehenden Bewertungs- und Zertifizierungssystemen auf Stadtquartiersebene bereits vorhanden sind, deren Fokus jedoch nach wie vor auf der Gebäudeebene liegt. Andere städtebauliche Aspekte, wie beispielsweise die inneren Vernetzungen der Energiesysteme sollten sich aus Sicht der Autoren in zukünftigen Zertifizierungssystemen stärker auf die Bewertungsergebnisse auswirken. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in den bestehenden Zertifizierungssystemen auf verschiedensten Ebenen noch Schwachstellen geortet wurden und eine Weiterentwicklung dieser Systeme als unerlässlich gesehen wird.

Die Betrachtung von Pilotprojekten und die globalen wirtschaftlichen Trends zeigen, dass die Zeit der getrennten Angebote von Strom, Gas, Wärme und ÖV-Mobilität vorüber sind und dass bei ähnlichen Stadtentwicklungsprojekten in Europa das Ziel verfolgt wird, die Versorgung von Stadtgebieten als „Gesamtdienstleistungsangebot für die Endkunden“ zu konzipieren. Im Mittelpunkt steht die Frage, was die Menschen für die Versorgung im Stadtgebiet benötigen. Als Gesamtdienstleistungen werden oft Niedertemperaturnetze (Heizen und Kühlen) inkl. hochwertiges Glasfasernetz (Telekomangebot), inkl. Stromnetz, inkl. Einspeisung erneuerbarer Energiepotenziale vor Ort inkl. und City-Logistik-Systeme (Mobilitätsdienstleistungen) inkl. urbanes Ressourcenmanagement (Abfall und Re-Use) angeboten. Der Erfahrungsaustausch mit den Pilotprojekten in Rahmen von ECR zeigte, dass diese Gesamtdienstleistungen zu neuen finanziell lukrativen urbanen Geschäftsfeldern führen können. Die Infrastrukturversorgungsunternehmen der Stadt Graz mit ihren Tochtergesellschaften bieten die optimale Voraussetzung für die Umsetzung eines solchen smarten urbanen Gesamtdienstleistungsangebotes. Anzumerken ist, dass bei einigen Pilotprojekten in Europa extra Tochtergesellschaften von Infrastrukturversorgungsunternehmen für die smarte Stadtteilversorgungen gegründet wurden.

Evaluierung durch gezieltes Monitoring

Um eine verbraucherdatenbasierte Evaluierung der gebauten thermischen und elektrischen Energiesysteme zu ermöglichen, ist es erforderlich, an charakteristischen Stellen im zukünftigen Stadtteil Lastprofilzähler (Smart-Meter) zu installieren und in eine zentrale Datenverarbeitungsanlage einzubinden, um den thermischen und elektrischen Leistungsbedarf zu monitoren [95]. Dadurch können Rückschlüsse zur Treffsicherheit der vorgenommenen Planung gezogen werden, Fehlfunktionen detektiert und zudem ein möglichst effizientes Betriebsverhalten entwickelt werden. Die sich ergebenden Synergieeffekte hinsichtlich der Zuverlässigkeit bei der Integration des zukünftigen Mittelspannungsnetzes in das bestehende elektrische Energieversorgungsnetz können durch weitere Umschaltmöglichkeiten erreicht werden. Zurzeit laufen Bestrebungen zwischen der Stadtbaudirektion Graz, der Energie Steiermark und der Technischen Universität Graz, das Synergiepotenzial von Glasfaserleitungen und Nahwärmenetzen zu ermitteln. In Rahmen eines initiierten ERA-NET-Projektes soll die Übertragbarkeit auf Graz-Reininghaus untersucht werden.

Beitrag der Wissenschaft zu einer verantwortungsvollen Entwicklungskultur

Wenn man die durchschnittliche Lebenszeit von urbanen Strukturen (Energie, Straßen-, Kanal-Gebäudestrukturen) betrachtet, die oft mehr 100 Jahre betragen kann, so erkennt man, dass stadtstrukturelle Systementscheidungen weitreichende und langfristige Konsequenzen nach sich ziehen. Verschiedenste wissenschaftliche Methoden bieten die Möglichkeit unterschiedliche Systemkonfigurationen zu modellieren und vergleichenden Bewertungen zu unterziehen. Dadurch können die Konsequenzen der einzelnen Entscheidungsvarianten aufgezeigt werden und somit Grundlagen für zukunftsfähige Entscheidungen gelegt werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes ECR wurden in zahlreichen Meetings, Workshops und Gesprächen vom ECR-Projektteam entsprechende Ergebnisse den Stakeholdern des Entwicklungsprozesses präsentiert und diskutiert. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Unterstützung durch wissenschaftliche Ergebnisse und das Füttern des Prozesses mit neuen Ideen nur dann nachhaltig Wirkung zeigt, wenn es permanent betrieben wird.

Das Aussetzen der Begleitung kann schnell wieder den Rückfall in gewohnte Standardentscheidungen bewirken. Dementsprechend sollte eine wirkungsvolle Begleitung langfristig, im Idealfall für den gesamten Entwicklungszeitraum, ausgelegt werden.

Rundblick und Ausblick

Das interdisziplinäre Team des Forschungsprojektes ECR ist über zahlreiche Verbindungen mit der nationalen und internationalen Forschungslandschaft im Bereich urbaner nachhaltiger Energiesysteme verknüpft. So werden beispielsweise die Projektaktivitäten und deren Ergebnisse in den SHC TASK 51 (Solar Energy in Urban Planning) der Internationalen Energieagentur [125] eingebracht und mit Experten aus den zehn beteiligten Ländern diskutiert.

Gleichlaufend werden die entsprechenden Aktivitäten in den anderen Ländern über die beteiligten österreichischen Experten nach Österreich getragen. Sowohl das Institut für Städtebau als auch das Institut für Wärmetechnik sind in diesem internationalen Expertenkonsortium vertreten. Zudem ist das Team des Forschungsprojektes ECR auf zahlreichen Konferenzen und Symposien vertreten.

In der Gesamtsicht zeichnet sich ein Bild der laufenden Forschungsaktivitäten ab. Beispielhaft ist der im Mai 2015 in Stockholm stattgefundene Biennial International Workshop Advances in Energy Studies 2015 [126] mit dem Schwerpunkt „Energy and Urban Systems“ zu nennen. Bei diesem, für die gegenwärtige Situation als repräsentativ anzusehenden, Workshop bestätigte sich der Forschungsbedarf auf folgenden Gebieten:

- Erhöhung der Wirkungsgrade energietechnischer Systeme
- Reduktion der Investitionskosten für urbane Technologien
- Gebäudeintegration urbaner Technologien
- Netzübergreifende Kooperation urbaner Energietechnologien
- Speichermanagement im urbanen Kontext
- Ökonomische Modelle für Finanzierung und Betrieb

Diese Problemstellungen können nicht unabhängig voneinander gesehen werden. Ein großer Teil der einschlägigen Fachwelt geht davon aus, dass die Erträge urbaner Energietechnologien nicht unbedingt durch eine Erhöhung der Wirkungsgrade erzielt werden müssen, sondern dass die Erträge pro investiertem Kapital (z.B. kWh/€_{invest} statt kWh/m²) die entscheidenden Größe sein werden. Darüber hinaus sind höhere Erträge nicht vorwiegend eine Frage der Wirkungsgrade, sondern der Systemeinbindungen, einschließlich des Speichermanagements. Entsprechend hat sich auch der Forschungsbedarf entwickelt. Nicht mehr spektakuläre „Leuchttürme“ sind gefragt, sondern netz- und technologieübergreifende Systemkonzepte. Diese erfordern nicht nur eine Zusammenarbeit unterschiedlicher erneuerbarer Energieträger, sondern auch eine Kooperation mit den konventionellen Systemen (Fernwärme, Wärme-Kraft-Kopplungen, Elektrowärme,...). In Zusammenhang mit dem vorliegenden Energiekonzept zu *Energie City Graz-Reininghaus* stellen sich folgende weiterführende Forschungsfragen in den Vordergrund:

- Last- und Speichermanagement im Verbund unterschiedlicher Nutzerprofile und Energieträger (Wohnen, Büros, Schulen, Gewerbe, Industrie / Wärme, Kraft)
- Allokation der verfügbaren Oberflächen zu PV, Solarthermie und/oder Begrünung
- Beeinflussung des Energiebedarfs und des Mikroklimas durch vertikale Begrünung und gezielte Integration von blauer und grüner Infrastruktur (Grün- und Wasserflächen) im Stadtgebiet

8.5 Initiierung und Begleitung des Entwicklungsprozesses

Das abgeschlossene Projekt *Rahmenplan Energie ECR* ermöglichte die Initiierung und umfassende wissenschaftliche Begleitung des Entwicklungsprozesses von Graz-Reininghaus. Im Laufe des Projektes konnten mehrere zukunftsfähige Schritte für die nachhaltige Entwicklung des zukünftigen Stadtteiles gesetzt werden. Konkret zu erwähnen sind die erfolgreiche Umsetzung der in Kapitel 3 erwähnten Stadtbausteine für Graz-Reininghaus. Als besonderes Highlight kann die Initiierung des umfangreichen ECR-Netzwerkes durch die Stadtbaudirektion Graz und das Institut für Städtebau der TU Graz erwähnt werden.

Im Rahmen des Projektes haben fünf Institute der Technischen Universität Graz, ein Institut der Karl Franzens Universität Graz, mehrere Ämter der Stadt Graz, die betroffenen Investoren und die Energieversorger interdisziplinär an der Entwicklung des *Rahmenplanes Energie ECR* gearbeitet.

Im Zuge der Arbeit am Projekt konnten die vorhandenen energetischen Potenziale des Stadtgebietes definiert und erkannt werden. Die Arbeit am Rahmenplan Energie ermöglichte die energetische Optimierung der Stadtquartiere und der Bauvorhaben (Stadtbausteine) von Graz-Reininghaus. Durch den Schulterschluss mit der AEE INTEC, dem Investor Aktiv Klimahaus GmbH, dem Architekturbüro Nussmüller, dem Technischen Büro Hammer und dem Investor WEGRAZ GmbH konnte die erfolgreiche Umsetzung des weithin sichtbaren Demonstrationsprojektes *Plus Energieverbund Reininghaus Süd* erfolgen.

Der Entwicklungsprozess von Graz-Reininghaus erhielt mit den vorliegenden Ergebnissen des *Rahmenplanes Energie ECR* ein Fundament für seine nachhaltige Entwicklung.

Um eine kontinuierliche nachhaltige Weiterentwicklung des Stadtgebietes voranzutreiben, ist es notwendig den erfolgreich aufgebauten Schulterschluss zwischen der Stadt Graz, der Technischen Universität Graz und dem Land Steiermark aufrechtzuerhalten und bei Bedarf gezielt zu erweitern.

Aufgrund der gewonnen Erkenntnisse von ähnlichen Stadtteilentwicklungen in Europa und der im *Rahmenplan Energie ECR* aufgebauten gemeinsamen ECR-Plattform wird von Seiten der beteiligten Institute der TU Graz und der Karl Franzens Universität Graz die Initiierung einer Internationalen Bauausstellung (IBA Graz-Reininghaus) empfohlen. Wie die Erfahrungen von Malmö und Hamburg zeigen, könnte eine IBA Graz-Reininghaus die gewonnen Erkenntnisse des *Rahmenplanes Energie* und seiner Demobauvorhaben weiterführen und zusätzliche nachhaltige Potenziale freisetzen. Auf Initiative der Abteilung Wohnbau und Energie des Landes Steiermark sollen erste Schritte in diese Richtung folgen.

Die gegenwärtige Herausforderung liegt darin, darauf zu achten, dass die durch das ECR-Projekt gewonnenen Erkenntnisse in der Planungs-, Errichtungs- und zu Beginn der Nutzungsphase, in der die Bewohner erfahrungsgemäß gegenüber Verhaltensanpassungen noch offen sind, auch umgesetzt werden. Betrachtet man den derzeitigen Stand der im Projekt gewonnenen Arbeitsergebnisse, lässt sich dieser wie folgt darstellen:

- Durch das ECR-Projekt wurden mehrere Entscheidungen für die zukunftsfähige Entwicklung des Stadtteiles von Graz-Reininghaus getroffen.
- Das organisatorische Herz dazu bildete das interdisziplinär aufgebaute ECR-Team.

ExpertInnen der Technischen Universität Graz, der betroffenen Abteilungen der Stadtverwaltung Graz, der Abteilungen des Landes Steiermark und der privaten und öffentlichen Wohnbauträger haben in mehreren Abstimmungsworkshops den Entwicklungsprozess von Graz-Reininghaus nachhaltig positiv beeinflusst. Folgende Eckpfeiler wurden in den ECR-Workshops und im Projekt gemeinsam erarbeitet:

- Umfassende energetische Optimierung der Architektur-Wettbewerbsergebnisse von Graz-Reininghaus
- Nutzung des umfangreich vorhandenen Industrie-Abwärmepotenzials
- Nachhaltige Programmierung der Wettbewerbsausschreibungen der Architektur-Wettbewerbe für Graz-Reininghaus

Die begonnene Begleitung des Entwicklungsprozesses ist im Sinne der Bürger der Stadt Graz und den eingebundenen interdisziplinär arbeitenden Experten und Investoren weiterzuführen. Nur durch Aufrechterhaltung des ECR-Expertenteams der TU Graz wird es möglich sein, nachhaltige Themen auf „neutralem Boden“ zu diskutieren und voranzutreiben.

8.6 Indikatoren und übertragbare Zielwerte

Im Zuge der Analyse von vergleichbaren Projekten in Europa stellte sich heraus, dass der Einsatz von Indikatoren und übertragbaren Zielwerten nur ein Teilaspekt für die nachhaltige Entwicklung eines Stadtgebietes darstellt. Ein weitere Tatsache ist, dass durch die konsequente Einhaltung der OIB-Richtlinien, der hohen Standards der Wohnbauförderrichtlinien des Landes Steiermark und der EU-Richtlinien bereits sehr hohe energetische Anforderungen abgedeckt werden. Im Sinne eines leistbaren, zukunftsfähigen urbanen Wohnbaus empfehlen die Experten der Technischen Universität Graz die konsequente Einhaltung der erwähnten Richtlinien als Minimalvorgabe.

Die Indikatoren, aus denen sich eine Mess- und dadurch Vergleichbarkeit sich anbietender Lösungsvarianten ergibt, sollten so gestaltet sein, dass diese Vergleichbarkeit auch über den Rahmen des Projekts hinaus national und – sofern andernorts gleiche Voraussetzungen herrschen – auch international gegeben ist.

Vorerst wird man sich aber an den sich in den nächsten Jahren ergebenden nationalen Bestimmungen orientieren müssen, die über die kommenden Ausgaben der OIB-Richtlinie 6 klar definiert sind. „OIB – Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem ‚Nationalen Plan‘ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU“.

Zentrale und **primäre Indikatoren** wären die ohnehin im Rahmen der Energieausweise in der Planungs- und Ausführungsphase zu ermittelnden allgemein bekannten Energiekennzahlen. Anzustreben wären die für neu errichtete Wohn- und Nichtwohngebäude als Zielwerte für das Jahr 2020 festgelegten Höchstgrenzen für Niedrigstenergiegebäude (Nearly Zero Energy Buildings) von

- Heizwärmebedarf (HWB)
 - Endenergiebedarf (EEB)
 - Gesamtenergieeffizienz (f_{GEE})
 - Primärenergiebedarf (PEB) und
 - Emission an Treibhausgasen in CO₂-Äquivalenten,
- die im zuvor genannten Dokument bereits festgelegt sind.

Je nach Zweckmäßigkeit könnte es in Einzelfällen sinnvoll sein, als Entscheidungshilfe in der Beurteilung von Alternativen zusätzliche **sekundäre Indikatoren** heranzuziehen, wie etwa

- Kompaktheit (äquivalente Länge l_c)
- Passive Solarenergienutzung durch Orientierung der Aufenthaltsräume
- Besondere Eignung zur aktiven Nutzung erneuerbarer Energieträger (primär PV, teilweise Solarthermie)
- Fassadenintegrationseignung u.a.m.

Im Zusammenhang mit diesen Indikatoren und Zielwerten ist besonders darauf hinzuweisen, dass nach vorliegenden Informationen

- es im Rahmen des ECR-Projektes der Stadtbaudirektion Graz und der Stadtplanung Graz mit Unterstützung der beteiligten Institute der TU Graz gelungen ist, diese Zielwerte gezielt in privatrechtliche Verträge (Vertragsraumordnung) zu verankern.
- auf Initiative des Institutes für Städtebau der TU Graz und der Stadtbaudirektion Graz ein intensiver Erfahrungsaustausch mit der Trägerorganisation der 2000-Watt-Areal-Zertifizierung in der Schweiz initiiert wurde.
- das Salzburger Institut für Raumplanung (SIR) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie zurzeit an der Konzeption der Übertragbarkeit der 2000-Watt-Areal-Zertifizierung auf Österreich arbeitet.
- in Abstimmung und in Kooperation mit dem SIR und dem ECR-Team der TU Graz es möglich wäre, die 2000-Watt-Areal-Zertifizierung auch für die Stadtentwicklung von Graz-Reininghaus anzuwenden.

Es wird dringend empfohlen, diese zuletzt erwähnte einmalige Gelegenheit zu nutzen!

Gebäudestandards

Aufgrund der vorliegenden geltenden EU-Richtlinien bewegt sich auch Österreich dem Ziel zu, dass ab 2020 errichtete Neubauten „Niedrigstenergiegebäude“ (Nearly Zero Energy Buildings) sein müssen. Für öffentliche Gebäude gilt diese Forderung bereits ab 2018. Diesem Ziel will man sich in den Jahren bis dorthin schrittweise annähern.

In den „Erläuternden Bemerkungen zur OIB-Richtlinie 6, Ausgabe 2015“, die von der Webseite des „Österreichischen Institut für Bautechnik“ heruntergeladen werden kann (www.oib.or.at), findet sich in Bezug auf die Überleitung auf die Niedrigstenergiegebäude folgendes umfassendes Dokument, in dem die weitere Vorgangsweise genau erläutert wird:

„OIB-- Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem ‚Nationalen Plan‘ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU“

Den Vorbemerkungen in letzterem Dokument sind folgende Ausführungen zu entnehmen:

„Das gegenständliche Dokument stellt die Erweiterung vom Dezember 2012 auf Nicht-Wohngebäude für den „Nationalen Plan“ in Österreich gemäß Artikel 9 der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (kurz: EPBD:2010) bezüglich zukünftiger Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden dar. Diese Mindestanforderungen sollen in zukünftigen Ausgaben der OIB-Richtlinie 6 umgesetzt werden.“

Die in den Jahren 2016, 2018 und 2020 einzuhaltenden Mindestvorgaben sind dort für die einzelnen Energiekennzahlen detailliert angegeben und werden erst in künftigen OIB-Richtlinien und damit de facto in die Baugesetze der Bundesländer übernommen.

Für Graz-Reininghaus ergibt sich daraus die Notwendigkeit, die Bauausführung den verschärften Werten anzupassen. Nichtsdestotrotz sollte es bereits heute Ziel sein, den Vorgaben von 2020 in aktuellen Neubauten möglichst nahe zu kommen.

Zumindest wird dringend empfohlen, Bauausführungen und energierelevante Installationen bereits in den Forderungen von 2020 zu konzipieren und in den kommenden Jahren im Begleitprogramm ständig zu verbessern.

Lebenszykluswirtschaftlichkeit

Der Kern einer wirtschaftlichen Betrachtung des Lebenszyklus besteht – vereinfacht gesagt – in der Berücksichtigung der Betriebskosten und nicht nur der Errichtungskosten eines Objekts. Die ökonomischen Modelle hierfür (dynamischer Cash Flow, Barwertmethode, interner Zinsfuß, ...) sind bekannt und ausreichend modellierbar. Die große Unsicherheit besteht bei langfristigeren Betrachtungen der Wirtschaftlichkeit in der Annahme der zukünftigen Entwicklung der Energiepreise und Kapitalkosten. Die in der Vergangenheit üblichen Annahmen haben sich in den letzten Jahren allesamt als falsch erwiesen. Die meisten Szenarien gingen bisher davon aus, dass fossile Energieträger – insbesondere Ölprodukte – und Elektroenergie einer stärkeren Preissteigerung unterliegen werden als die allgemeine Inflation der Konsumgüter. Dies ist derzeit nicht zu beobachten und auch die vorliegenden Prognosen gehen derzeit nicht von einer wesentlichen Steigerung der Preise für Erdölprodukte und Strom bis 2020 aus. Infrastrukturen wie Gebäude und Fernwärmesysteme sind aber auch auf eine Lebensdauer von zumindest 50 Jahren ausgelegt, was jenseits jeglicher Vorhersagbarkeit von Energiekosten liegt.

Im in dieser Studie verwendeten PNS-Modell wurden für verschiedene Komponenten unterschiedliche Lebensdauern angenommen, wie sie in den steuerlichen Abschreibungszeiten erlaubt oder vorgeschrieben sind. Tatsächlich leben praktisch alle Bauten, Anlagen und Maschinen bei einer entsprechend sorgfältigen Wartung länger.

Dynamische Wirtschaftsmodelle verlangen auch Annahmen über die zukünftige Entwicklung des Finanzmarktes, also der Zinsen für Kapital und Kredite sowie der Inflation. Besonders sensibel reagieren alle Modelle auf den Unterschied der Preisindizes zwischen der allgemeinen Inflation, den Kapitalkosten und der Energieträger. Auch unterschiedliche Preisentwicklungen zwischen den Energieträgern und Energietechnologien beeinflussen das wirtschaftliche Optimum (z.B. Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen, Preisreduktion bei neuen Technologien, ...). Kapitalintensive Technologien – wie z.B. die Fernwärme – sind bei volatilen Preisentwicklungen zwangsläufig weniger flexibel als betriebskostenintensive – wie z.B. Gasfeuerungen. Gleichzeitig sind sie aber stabiler gegen Schwankungen der Energiepreise, da diese nur einen geringeren Teil der Gesamtkosten ausmachen.

Das Investoren-Nutzer-Dilemma, das sich daraus ergibt, dass der Investor an geringen Errichtungskosten interessiert ist und ihm die Betriebskosten „egal“ sind, der Nutzer aber sehr wohl an geringen Betriebskosten interessiert ist, besteht im Neubau dann nicht, wenn eine Vermietung geplant ist und die Gesamtkosten – Miete plus Betriebskosten – betrachtet wird. Bei einem Verkauf der Wohnungen erfolgt der Kostenvergleich sinnvollerweise über die Kosten eines längeren Nutzungszeitraums (siehe obiger Absatz). Bei den Randbedingungen einer „Smart City“ ist es möglich weitere Kosten einzuberechnen. So kann der geringere Bedarf an Parkmöglichkeiten (Tiefgaragen oder Stellplätze) durchaus zu wesentlich verminderten Baukosten führen und die Mehrkosten einer energetisch hochwertigen Bauweise kompensieren. Auch durch die verkehrstechnisch gute Erschließung einer „Smart City“ kann die Notwendigkeit für ein (zweites) Auto entfallen und dessen sonst anfallende Kosten können in die Wirtschaftlichkeitsvergleiche einbezogen werden.

Lebenszyklusbetrachtungen

Wirtschaftlichkeitsberechnungen, auch wenn sie dynamisch durchgeführt werden, betrachten nur die vor Ort anfallenden Kosten. Ökologische Lebenszyklusbetrachtungen berücksichtigen darüber hinaus die Emissionen, die im gesamten Lebenszyklus des Produktes oder der Dienstleistung anfallen, also auch die Emissionen, die im Zuge der Bereitstellung der Energie entstehen oder bei der Produktion der Gebäude. Diese Energieverbräuche und Emissionen sind in den Kosten nur unzureichend abgebildet. In dieser Arbeit wurde für die ökologische Lebenszyklusbetrachtung das ELAS-Modell verwendet (siehe Kap. 6.4). Ökologische Lebenszyklusbetrachtungen spielen derzeit am Wohnungsmarkt praktisch keine Rolle, auch sind die Informationen hierzu gering, wenn über die Betrachtung der einzelnen Bauwerke hinausgegangen wird (siehe Abschnitt über Forschungsbedarf). Auch der Energieausweis der Gebäude beinhaltet keine Betrachtung des Lebenszyklus. Da sich der Markt in dieser Hinsicht voraussichtlich nicht entwickeln wird, müsste eine derartige Bewertung gegebenenfalls durch Förderstellen auferlegt werden.

Klimaschutz

Energieeffizienz und Klimaschutz sind im Hinblick auf die energierelevante Gebäudetechnik über die Bewertung der Energieeffizienz im Energieausweis verkoppelt, da in den Konversionsfaktoren nicht nur die Emission von CO₂, sondern auch die übrigen bei Energieumwandlungen (z.B. Verbrennung) entstehenden Treibhausgase in CO₂-Äquivalente umgerechnet und berücksichtigt sind. Nicht berücksichtigt wird im Energieausweis aber der energetische Rucksack, also die Emissionen, die durch die Herstellung des Bauwerkes und die dafür benötigten Materialien entstanden sind.

Nicht übersehen werden darf der menschliche Faktor: Erst im Betrieb der gebäudetechnischen Anlagen und durch Festlegung der Behaglichkeitsanforderungen und der Benutzerprofile der Bewohner wird der tatsächliche Energieaufwand bestimmt. Bei energetisch hochwertigen Gebäuden treten die klassischen Heizkosten und die dadurch verursachten Emissionen immer mehr in den Hintergrund und werden von anderen Energieverbräuchen (Warmwasser, Mobilität, IKT, ...) in ihrer Bedeutung übertroffen. Schulung der Bewohner und Information zur Bewusstseinsbildung sind daher nicht zu vernachlässigende Einflussgrößen für den tatsächlichen Energieaufwand, die Emission und die Betriebskosten.

Aber auch das mit der Betriebsführung und der Instandhaltung betraute Personal muss entsprechend kompetent sein, was selbst bei sehr anspruchsvollen Wohn- und Gewerbegebäuden leider sehr oft vernachlässigt wird. Dies geht zu Lasten der Kosten, zu Lasten der Nutzungsdauer der Anlagen, aber auch zu Lasten des Klimaschutzes.

8.7 Konzeption einer ECR-Wissensbasis

Im Zuge des Forschungsprojektes ECR konnte eine umfangreiche Wissensbasis im Themenfeld der nachhaltigen Stadtentwicklung mit dem Fokus auf das Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus, aufgebaut werden. Die mehrjährige interdisziplinäre Zusammenarbeit sammelte und entwickelte eine Fülle an Daten und Informationen, welche den laufenden und den künftigen Entwicklungsvorhaben wichtige Orientierungshilfen für Planer, Ausführende, aber auch Nutzer bieten können.

Sowohl die projektinternen Erfahrungen als auch die Erfahrungen aus anderen erfolgreichen Stadtentwicklungsprozessen zeigen, dass koordinierende, verknüpfende und innovationstreibende Begleitungen dauerhaft geführt werden müssen, um in langwierigen städtebaulichen Entwicklungsprozessen erfolgreich sein zu können. Die Stadt Graz besitzt durch den Status als Universitätsstadt zudem den enormen Vorteil, in der weiteren Begleitung des Projekts weiterhin auf wissenschaftliche Einrichtungen zurückgreifen zu können.

Gründung eines Innovationsteams

Im diesem Zusammenhang wird die offizielle Gründung eines Innovationsteams auf der Basis der ECR-ExpertInnen der TU Graz, der Stadtbaudirektion Graz, einem Stadtteilmanagement und weiteren innovativen Partnern unter Einbeziehung möglichst aller Betroffenen (Bauträger, Bürger, Wirtschaft, ...) vorgeschlagen. Das Innovationsteam widmet sich vorrangig dem Stadtentwicklungsgebiet Graz-Reininghaus. Durch eine Finanzierung von Seiten der Stadt Graz und dem Land Steiermark könnte „das Überleben“ und die Weiterentwicklung des erfolgreich aufgebauten interdisziplinären ECR-ExpertInnenteams sichergestellt werden. Vorbild dazu sind die Innovationslabors der Städte Salzburg SIR (Salzburger Institut für Raumplanung) und TINA Vienna (Smart City Innovationsabteilung der Stadt Wien). In dem für diesen Zweck vorgesehenen Labor sollten folgende bindende Ziele weiterverfolgt werden:

- Die Weiterführung des ECR Monitorings der energetischen Performance der Stadtentwicklung von Graz-Reininghaus.
- Die Weiterführung der nachhaltigen Programmierung der Architektur-Wettbewerbe in Graz-Reininghaus mit Einbindung der Ziviltechniker-Kammer.
- Die Weiterführung des begonnenen internationalen Erfahrungsaustausches zwischen den Städten Graz, Zürich, Basel, Freiburg in Breisgau, Hamburg, München, Berlin, Kopenhagen, Malmö Stockholm, Salzburg und Wien im Themenfeld der nachhaltigen Stadtteilentwicklung.
- Eine Übertragung der Erfahrungen des Stadtteilmanagements „Waagner Biro“ auf das Areal Reininghaus
- Die wissenschaftliche Begleitung der IBA (Internationale Bauausstellung) Smart City Graz.
- Die Initiierung und Einreichung von Pilotprojekten bei nationalen und internationalen Förderprogrammen (wie z.B. Smart City, Stadt der Zukunft etc.) in Kooperation mit den beteiligten Ämtern der Stadt Graz und des Landes Steiermark.
- Die Weiterführung der von der Technischen Universität Graz und der Stadt Graz umfangreich erarbeiteten Kriterien (Indikatoren und Zielwerte) der „Smarten Stadtteilentwicklung“ und der LQIs auch in Graz-Reininghaus.
- Das Zur-Verfügung-Stellen der Ergebnisse in Form einer zusätzlichen öffentlichen Ausstellung und einer eigens anzufertigen Fachpublikation Ende 2015 für interessierte Stadtverwaltungen in der Steiermark.
- Etablieren der Grundidee der ECRTeams Graz-Reininghaus als Innovationsstadtteil für Graz und die Steiermark und ihre Weiterführung im Verbund mit allen Interessierten mit vereinten Kräften.

Anzumerken ist, dass durch die enge Verflechtung insbesondere der Technischen Universität Graz mit dem engeren wirtschaftlichen Umfeld davon auszugehen ist, dass von der Fortführung des Programmes Impulse für Unternehmens-Neugründungen („Spin-Offs“) erwartet werden dürfen, die einer weiteren Belebung der steirischen Innovationsbestrebungen zugute kommen.

8.8 Folgerungen und Handlungsempfehlungen

In zahlreichen Vorläuferprojekten in der Steiermark und in Österreich wurden Energiekonzepte hauptsächlich innerhalb der Systemgrenzen von Einzelgebäuden betrachtet. Die Betrachtung von Gebäudeverbänden im Zuge des *Rahmenplanes Energie ECR* hat dazu beitragen, dass das einzelne Gebäude nicht nur singulär, sondern auch als Komponente eines Gesamtenergiekonzeptes gesehen werden kann.

Basierend auf den gewonnenen Erfahrungen und Ergebnissen des ECR-Projektes können für zukünftige energieoptimierte und nachhaltige Stadtteilentwicklungsprojekte folgende Handlungsschritte empfohlen werden:

- 1) Umfassende Bedarfserhebung
- 2) Erstellung eines städtebaulichen räumlichen Entwicklungskonzeptes mit Baumassen- und Nutzungsverteilung
- 3) Ermittlung lokal vorhandener Energiepotenziale
- 4) Ermittlung der generell verfügbaren Technologien zur Energieversorgung des Stadtteiles
- 5) Auswahl der von lokal anwendbaren Technologien
- 6) Darauf basierend Szenarienbildung unterschiedlicher Verbrauchs- und Versorgungssysteme
- 7) Ökologische, ökonomische und soziale Bewertung der erarbeiteten Szenarien
- 8) Umfassende Stakeholderdiskussion mit dem Ziel der Auswahl eines Szenarios
- 9) Entscheidung und Festlegung von Verbindlichkeiten zwischen öffentlicher und privater Seite
- 10) Festlegung von Vorgaben für Architektur- und Realisierungswettbewerbe und Bauvorhaben
- 11) Laufende Qualitätskontrolle und Monitoring der Ergebnisse
- 12) Initiierung eines Interessensnetzwerkes zwischen Verwaltung, Forschung und Wirtschaft mit dem Ziel der Initiierung von gemeinsamen Projekten
- 13) Laufende transparente Öffentlichkeitsarbeit

Der Entwicklungsprozess sollte soweit wie möglich transparent und verbindlich gestaltet werden. Wie die Analyse von Projekten in Europa zeigte, sollte die Leitung eines solchen Prozesses aufgrund der Gemeinwohlinteressen sinnvollerweise durch die Stadtverwaltung erfolgen. Der ECR-Entwicklungsprozess zeigte auch, dass durch den gezielten Schulterschluss zwischen Stadtverwaltung (Stadtbaudirektion), Land Steiermark, Forschung (TU Graz, Uni Graz, AEE INTEC) und Investoren und Leibetrieben nachhaltiges Innovationspotenzial in der Region geweckt werden kann.

Pionierland Steiermark

Die Steiermark war und ist in vielen Bereichen, die mit Bauen und Wohnen zu tun haben, Pionierland. Ein Beispiel aus der Energietechnik zeigt, dass vor genau vierzig Jahren hierzulande erste Initiativen zur thermischen Nutzung von Solarenergie gesetzt wurden.

- ▶ Aus diesen ersten Anfängen entwickelte sich innerhalb weniger Jahre über Selbstbaugruppen eine Bewegung, die von der Steiermark ausgehend nicht nur Österreich erfasste, sondern auf weite Teile Europas ausstrahlte.
- ▶ Endergebnis war, dass nicht nur beträchtliche Mengen an konventioneller Energie eingespart werden konnten, sondern dass auch in breiteren Kreisen ein neues Bewusstsein für nachhaltige Energieversorgung entstand, dass handfeste Alternativen vorhanden waren.
- ▶ Solarenergienutzung ist heute Allgemeingut und fast Selbstverständlichkeit, wenn sich örtliche und wirtschaftliche Möglichkeiten dafür bieten.

Wie dieses einfache und viele andere Beispiele zeigen, lassen sich mit hierzulande vorhandenen im Grunde recht einfachen Mitteln unter Einsatz von Hirn und Begeisterung verbunden mit solidem Ingenieurwissen viele Dinge bewegen.

Erfolgsfaktoren

Pioniertaten sind – wie in diesem Beispiel zu sehen – immer nur erste Schritte. Damit eine Initiative Erfolg hat, braucht es mehr, nämlich:

- Ausdauer und Umsicht der Initiatoren,
- ein Umfeld, das reif ist für Neues,
- gesamtwirtschaftliche Sinnhaftigkeit,
- individuellen Nutzen.

Förderungen von staatlicher oder regionaler Seite her müssen nicht hoch sein, sie können aber ein wichtiges Signal für kollektives Handeln sein, weil sie zeigen, dass es um Dinge geht, die der Öffentlichkeit wichtig sind und letztlich in ihrer ökonomischen, aber auch ökologischen und in der Folge sozialen Nachhaltigkeit dem Gemeinwohl zugutekommen.

Nachhaltige Entwicklung ist Bedingung für Erfolg

Das Projekt *ECR Rahmenplan Energie Graz-Reininghaus* betrat in mehrfacher Hinsicht Pionierland. Auch in Zukunft müssen die genannten Erfolgsfaktoren gelten, die Entwicklung des Stadtteils muss in eine nachhaltige Richtung laufen, die zugleich den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen Rechnung trägt. Wie die bisherigen Arbeiten in der Projektgruppe zeigen, tut sich allein schon in technischer Hinsicht ein enormes Feld an Herausforderungen auf. Der Versuchung, „Abkürzungen“ in Richtung einfacherer, vermeintlich billiger und rascher Lösungen zu gehen, darf aber keinesfalls Folge geleistet werden.

Zudem musste und muss auch künftig der Spagat zwischen einerseits dem gemeinsamen und zeitaufwendigen Ringen nach verbindlichen Richtlinien und dem Einarbeiten neuer Erkenntnisse und andererseits dem Input für bereits laufende Planungsarbeiten gelingen.

Jedenfalls bilden die bisher im Rahmen des *ECR Rahmenplan Energie Graz-Reininghaus* erarbeiteten Ideen und Ansätze eine solide Basis für die weiteren Entwicklungen. Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen des *Rahmenplanes ECR* sollten folgende Handlungsempfehlungen bei zukünftigen Quartiersentwicklung in Graz-Reininghaus weiterverfolgt werden:

- die energetische Optimierung der Raumstrukturen und die effiziente Energieverwendung
- die Reduktion des Aufwands für „Graue Energie“
- die optimierte Integration der erneuerbaren Energiere Ressourcen vor Ort unter Berücksichtigung bestehender Energieinfrastrukturen
- möglichst geringe CO₂-Emissionen im Stadtteil durch Nutzung erneuerbarer Energiere Ressourcen (Einführung eines verbindlichen CO₂-Grenzwertes)
- die schrittweise Weiterentwicklung des Energiekonzeptes je zukünftigen Stadtquartier
- die Übertragung der 2000-Watt-Areal-Zertifizierung auf Graz-Reininghaus
- die Initiierung einer internationalen Bauausstellung (IBA Graz-Reininghaus)

Auf Initiative der Stadtbaudirektion Graz, des Grazer Umweltamts und der Abteilung Wohnbau und Energie des Landes Steiermark, der TU Graz und der AEE INTEC laufen bereits erste Schritte in diese Richtungen.

Nutzen für die Bauwirtschaft

In diesem Zusammenhang ist auf die wichtige Rolle der Bauwirtschaft in der Steiermark hinzuweisen, die in Verbindung mit Architekten und Ingenieuren in der Lage ist, nicht nur anspruchsvollste Objekte in In- und Ausland zu planen und zu erstellen, sondern aus Gründen der künftigen Wettbewerbsfähigkeit darauf angewiesen und auch willig ist, Innovationen zu setzen. Ideen und Erkenntnisse aus dem *Rahmenplan Energie ECR* können von Planern und Ausführenden aufgenommen und gemeinsam zur Marktreife entwickelt werden. Die Umsetzung sich als sinnvoll erweisender, vielleicht sogar revolutionärer Neuerungen im Rahmen von Graz-Reininghaus ergäbe für alle Beteiligten neue und reizvolle Perspektiven.

Speerspitze für neue Technologien

Der Einsatz neuer Technologien, neuer Verfahren und Materialien, zukunftsweisender Methoden im Rahmen des „Building Information Management“, eines „Concurrent Engineering“ etc. eröffnet zahlreiche Möglichkeiten, Bauprozesse zu vereinfachen und zu beschleunigen. Das alles bietet Stoff für weiteren technischen Vorsprung, der auch im internationalen Kontext für die heimische Bauwirtschaft von Interesse sein könnten.

Internationale Bauausstellung (IBA)

Unmittelbar im Zusammenhang mit der Programmierung der nachhaltigen Entwicklung von Graz-Reininghaus wird der Vorschlag unterstützt, die Stadt Graz möge die Erkenntnisse, Errungenschaften und vor allem die Besonderheiten der zukünftigen Stadtquartiere in Graz-Reininghaus systematisch sammeln lassen und in einer groß angelegten internationalen Bauausstellung der Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit präsentieren.

Ideal und uneingeschränkt zu begrüßen wäre die Manifestierung eines Schulterschlusses zwischen der Stadt Graz und dem Land Steiermark und des Bmvit in Form einer „Landesbauausstellung IBA-Steiermark“ und einer damit verbundenen Rahmenvereinbarung

Eine derartige Bauausstellung wäre nicht nur für die involvierten städtischen Institutionen, Unternehmen, Universitäten und Hochschulen und sonstigen Beteiligten von hohem wirtschaftlichem Wert, sondern auch für das Bundesland Steiermark und Österreich ein bedeutender Prestigeschub.

Im Rahmen der empfohlenen internationalen Bauausstellung IBA Graz-Reininghaus könnte eine Rahmenvereinbarung mit dem Ziel eines umfassenden Gesamtdienstleistungsangebotes durch die öffentlichen Infrastrukturanbieter mit den betroffenen privaten und öffentlichen abgeschlossen werden. Wie die Erfahrungen von ähnlichen Pilotprojekten in Europa zeigen, ist so eine Rahmenvereinbarung für beide Seiten, betroffene Bauträger und Infrastrukturversorgungsunternehmen, eine WIN-WIN-Situation. Eine derartige Rahmenvereinbarung könnte die Gründung einer „Smart Urban Infrastructure SUI Graz“ und einen wichtigen Schritt in Richtung smarter Gesamtdienstleistung für Graz ermöglichen.

9 Quellennachweise

- [1] Statistik Austria, „Statistisches Jahrbuch Österreichischer Städte 2005,“ 2006. [Online]. Available: http://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=017888.
- [2] LPM ECR.
- [3] Haus der Zukunft, „ECR Energy City Graz - Reininghaus: Urbane Strategien für die Neukonzeption, den Bau, Betrieb und die Umstrukturierung des energieautarken Stadtteils,“ [Online]. Available: <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id5854>.
- [4] Grazer Gemeinderat, *Gemeinderatsbeschluss 28.02.2013*.
- [5] per Email Amt für Stadtplanung Graz,.
- [6] *Leipzig ChCharta zur nachhaltigen europäischen Stadt - Angenommen anlässlich des Informellen Ministertreffens zur Stadtentwicklung*, Leibzig: <http://www.bbr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen>, 2007.
- [7] Truhetz, H.; Krenn, A.; Winkelmeier, H.; et al., *Austrian Wind Potential Analysis (AuWiPot)*, Graz: 12. Symposium Energieinnovation, 2012.
- [8] Spangl, W.; Nagl, Ch., *Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2013*, Wien: ISBN 978-3-99004-274-8, Umweltbundesamt GmbH.
- [9] Kaltenschmitt, M.; Streicher W., *Regenerative Energien in Österreich: Grundlagen, Systemtechnik, Umweltaspekte, Kostenanalysen, Potenziale, Nutzung*, Vieweg+Teubner Verlag, 2009.
- [10] ÖWAV, *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds- Heizen und Kühlen, ÖWAV-RB 207 (2.Auflage)*, Wien, Marc-Aurel-Straße: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2009.
- [11] Verein Deutscher Ingenieure, *Thermische Nutzung des Untergrundes, Richtlinie VDI 4640 Blatt 1 bis 4*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2015.
- [12] Goldbrunner J., „Entwicklungsstand, Politisches Umfeld und Perspektiven der Tiefen Geothermie in Österreich,“ *Erdöl. Erdgas, Kohle*, pp. 67-75, 02 2007.
- [13] Neunteufel, R., *Wasserverbrauch und Wasserbedarf*, Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 2012.
- [14] Lange, J.; Otterpohl, R., *ABWASSER - Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft*, Zweite Auflage 2000: ISBN 3-9803502-1-5.
- [15] Referat Abfallwirtschaft und Nachhaltigkeit, „Bioabfall - biogene Siedlungsabfälle: Abfallaufkommen und Mengenentwicklung,“ 11 03 2014. [Online]. Available: <http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10168541/4373855/>.

- [16] Europäische Union, „Thematische Strategie für die städtische Umwelt,“ [Online]. Available: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/sustainable_development/l28171_de.htm.
- [17] Europäische Union, „Vorbereitung einer Strategie für die städtische Umwelt,“ [Online]. Available: http://europa.eu/legislation_summaries/other/l28152_de.htm.
- [18] Europäische Kommission, *Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament über eine thematische Strategie für die städtische Umwelt*, SEK(2006) 16.
- [19] Hogen, J., *Zertifizierung in der Stadtentwicklung, Dissertation, Real Corp*, 2010.
- [20] BRE Global Limited, BREEAM Communities, Technical Manual SD202 – 0.1:2012, 2008.
- [21] BCA Green Mark, „BCA Green Mark for Districts (Version 2.0),“ [Online]. Available: http://www.bca.gov.sg/GreenMark/green_mark_buildings.html.
- [22] Japan GreenBuild Council und Japan Sustainable Building Consortium, „CASBEE - Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency,“ [Online]. Available: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm>.
- [23] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Systemgrundlagen: Nutzungsprofil Neubau Stadtquartiere, Version 2012, 2012.
- [24] Abu Dhabi Urban Planning Council, „Pearl Community Rating System (PCRS),“ [Online]. Available: <http://estidama.upc.gov.ae/pearl-rating-system-v10/pearl-community-rating-system.aspx>.
- [25] Green Building Council of Australia, „The Green Star - Communities,“ [Online]. Available: <http://www.gbca.org.au/green-star/green-star-communities/>.
- [26] U.S. Green Building Council, LEED 2009 For Neighborhood Development Guide (Version 2009; Updated July 2014), 2009.
- [27] Synergy Zones working group, *International Initiative for a Sustainable Built and Environment*, [online available] <http://www.iisbe.org/r-n-d>.
- [28] Energie Schweiz, 2000-Watt-Areale, Kriterienkatalog mit Bewertungshilfe, Version 2014, Trägerverein Energiestadt, Amt für Hochbau der Stadt Zürich, 2014.
- [29] eigene Darstellung in Anlehnung an, *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)*, 2015.
- [30] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz*, Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.
- [31] Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulen, „Architektur Wettbewerb,“ [Online]. Available: <http://www.architekturwettbewerb.at>. [Zugriff am 3.3.2014].
- [32] Kammern der Architekten und Ingenieurkonsulenten, „Städtebaulicher Wettbewerb Lange Gasse / Körösistraße Graz,“ [Online]. Available: <http://www.architekturwettbewerb.at/competition.php?id=656>.
- [33] bAIK, „WBW Peter Rosegger Straße,“ [Online]. Available: http://www.architekturwettbewerb.at/data/media/med_binary/original/1261001477.pdf.

- [34] Kammern der Architekten und Ingenieurkonsulenten,, „Wohnbebauung Graz Ilwofgasse,“ [Online]. Available: <http://www.architekturwettbewerb.at/competition.php?id=444>.
- [35] Kammern der Architekten und Ingenieurkonsulenten,, „Wohnbau Hummelkaserne Graz,“ [Online]. Available: <http://www.architekturwettbewerb.at/competition.php?id=1129>.
- [36] bAIK, „GSWB Wohnen,“ [Online]. Available: http://www.architekturwettbewerb.at/data/media/med_binary/original/1314347481.pdf.
- [37] bAIK, „Reininghaus Bestand,“ [Online]. Available: http://www.architekturwettbewerb.at/data/media/med_binary/original/1402396112.pdf.
- [38] nextroom, „Neue Heimat - Lodenareal,“ [Online]. Available: <http://www.nextroom.at/building.php?id=33151&sid=32606&inc=pdf>.
- [39] Statistik Austria; Bauer A., *STATISTIK AUSTRIA Registerzählung 2011 (31.10)*, telefonische Rücksprache am 7.10.2014.
- [40] Stadt Freiburg im Breisgau, „<http://www.freiburg.de/pb/,Lde/208560.html>,“ Stadt Freiburg im Breisgau, 27 2 2014. [Online]. Available: <http://www.freiburg.de/pb/,Lde/208560.htm>.
- [41] Hannover.de Internet GmbH, „<http://www.hannover.de/>,“ Hannover.de Internet GmbH, 27 2 2014. [Online]. Available: <http://www.hannover.de/>.
- [42] Wien 3420 Aspern Development AG, „<http://www.aspern-seestadt.at/>,“ Wien 3420 Aspern Development AG, 27 2 2014. [Online]. Available: <http://www.aspern-seestadt.at/>.
- [43] Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulen, „Wettbewerbsauslobungstext Prochaskagasse_Stand 2009 06 04 (bezieht sich auf die BGF), Vgl. Rieselfeld-Freiburg (bezieht sich auf die Anzahl),“ 4 6 2014. [Online]. Available: <http://www.architekturwettbewerb.at/competition.php?id=622>.
- [44] Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulen, „Auslobungstext Bildungscampus Algersdorf Teil B2 C2,“ [Online]. Available: <http://www.architekturwettbewerb.at/competition.php?id=1156>. [Zugriff am 13 6 2014].
- [45] competitionline Verlags GmbH, „Gymnasium Grünwald,“ CompetitionLine Wettbewerbe und Architektur, 27 2 2014. [Online]. Available: <http://www.competitionline.com/de/ergebnisse/anzeigen/detail/id/5493>.
- [46] Hootz, K., „Jugendzentrum, Starnberg,“ 27 2 2014. [Online]. Available: <http://www.katrinhootz.com/projekte/archiv/jugendzentrum-starnberg>.
- [47] Schöning, C. G.; Borchard, K., „Städtebau im Übergang zum 21.Jhdt.,“ Stuttgart, 1992, p. 60.
- [48] Schöning, C. G.; Borchard, K., „Städtebau im Übergang zum 21.Jhdt. (Durchschnitt Bürgerhaus),“ Stuttgart, 1992, p. 66.

- [49] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, „BBE-Handelsszenario 2015 - Entwicklung des deutschen Einzelhandels und erkennbare Auswirkungen,“ Stadtentwicklung Berlin, Handelsszenario, 20 2 2014. [Online]. Available: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/zentren/download/handelsszenario_2015.pdf.
- [50] Hochschule Bremen, „HS Bremen,“ 20 2 2014. [Online]. Available: http://www.hs-bremen.de/internet/studium/stg/isvw/tipps_fuer_fortgeschrittene_studierende/hinweise_zum_praktikum_sber.
- [51] Schöning, C. G.; Borchard, K., „Städtebau im Übergang zum 21.Jhdt., 1992, S.72,“ Stuttgart, 1992, p. 72.
- [52] Welt-in-Zahlen.de, „Österreich (Europa),“ 27 2 2014. [Online]. Available: <http://www.welt-in-zahlen.de/laenderinformation.phtml?country=158>.
- [53] Wirtschafts Blatt, „In Österreich gibt es zu viele Banken,“ 30 10 2013. [Online]. Available: <http://wirtschaftsblatt.at/home/nachrichten/oesterreich/1470355/In-Oesterreich-gibt-es-zu-viele-Banken-> [Zugriff am 27 2 2014].
- [54] Schöning, C. G.; Borchard, K., „Städtebau im Übergang zum 21.Jhdt.,“ Stuttgart, 1992, p. 68.
- [55] Schöning, C. G.; Borchard, K., „Städtebau im Übergang zum 21.Jhdt.,“ Stuttgart, 1992, pp. 68, 71.
- [56] Schöning, C. G.; Borchard, K., „Städtebau im Übergang zum 21.Jhdt.,“ Stuttgart, 1992, p. 72.
- [57] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, „Neubau Stadtquartiere- DGNB Handbuch für nachhaltiges Bauen Version 2012,“ 2012. [Online]. Available: http://issuu.com/manufaktur/docs/dgnb_handbuch_nsq2012_pageflip?e=1685932/3156596.
- [58] *RICHTLINIE 2012/18/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG des Rates, <http://eur-lex.europa.eu>.*
- [59] *Stellungnahme gem. § 98 Abs. 4 und Abs. 5 des Statutes der Landeshauptstadt Graz sowie §6 und §12 der GO für den Stadtrechnungshof für das Projekt-Reininghausgründe, GZ: StRH – 024190/2012 Graz, 26. Juni 2012 , S. 35ff.*
- [60] Erber Projektmanagement GmbH, , *Auslobungsunterlagen zum 2-stufigen Ideen und Realisierungswettbewerb zur städtebaulichen Gestaltung "Alt Reininghaus Goes Smart", 8020 Graz/Eggenberg, 2013.*
- [61] Atelier Thomas Pucher ZT GmbH, „WBW Beitrag per Email“.
- [62] Kleboth Lindinger Dollnig ZT GmbH,, „WBW Beitrag per Email“.
- [63] M. Gratzl-Michlmair, *Visualisierung der Entwürfe aus der zweiten Runde des Architekturwettbewerbes "Alt Reininghaus Goes Smart" auf der Grundlage der von den Teilnehmern zur Verfügung gestellten Unterlagen.*
- [64] Baumschlager Eberle, „WBW Beitrag per Email“.

- [65] hohensinn architektur, „WBW Beitrag per Email“.
- [66] Projektleitung AEE INTEC, *Forschungsprojekt „CityCalc - Energieplanungs- und Bewertungsinstrument für den Städtebau“*, Forschungsprojekt im Rahmen der ersten Ausschreibung „Stadt der Zukunft“.
- [67] PENTAPLAN ZT-GmbH, *Wettbewerbsplakat Reininghaus Parkquartiere*.
- [68] Nussmüller ZT GmbH,.
- [69] AEE INTEC, „Systemansatz Plus-Verbund Reininghaus Süd“.
- [70] Dietger Wissounig Architekten ZT GmbH, „Pfleghaus Peter Rosegger“.
- [71] Maxones J., *Energiekonzept Reininghaus goes Smart - Quartier 1, 4a und 5*, m consult Gebäudetechnik.
- [72] LAZAR, R.; BUCHROITHNER, M. F.; KAUFMANN, V., in *Stadtklimaanalyse Graz. – Magistrat. Graz*, Graz, Stadtplanungsamt, 1994, p. 163.
- [73] ZAMAG, „Klimadaten von Österreich 1971-2000, Station Graz Universität,“ Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, [Online]. Available: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm. [Zugriff am 01 2014].
- [74] LAZAR, R.; SULZER, W., in *Stadtklimaanalysen 1986, 1996, 2004 & 2011*, Graz, Steiermärkische Landesdruckerei GmbH, 2014, p. 297.
- [75] PFAFFINGER, E., in *Stadtklimatische Untersuchungen im Westen von Graz im Zuge der Planung eines neuen Stadtteils.*, Graz, Magisterarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz, 2012, p. 159.
- [76] Kulmer, P., Detailstudie „Reininghausgründe“, Graz: Unpubl. Masterarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz, 2014.
- [77] Sulzer, W.; Salentinig, A., *Strahlungstemperaturkarte von Graz – Institut für Geographie und Raumforschung*, Universität Graz, 2012.
- [78] Deutscher Wetterdienst, „Wetterlexikon 2014: Ausbreitungsklasse,“ [Online]. Available: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=A&DAT=Ausbreitungsklasse>. [Zugriff am 01 2014].
- [79] Land Steiermark, „LUI (2014): Land Steiermark - Amt der Steiermärkischen Landesregierung: Umweltinformation Steiermark (LUI),“ [Online]. Available: <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/2222433/DE/#S>. [Zugriff am 07 2014].
- [80] Duschek, M., *Errichtung einer Sonderstation auf dem Dach der Mälzerei*. weather.markusduschek.com, 2012.
- [81] Duschek, M., *CFD-Analyse eines Stadtviertels am Beispiel von Reininghaus Graz*, Graz: Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, 2014.

- [82] Amt der Steiermärkischen Landesregierung, „Luftgütemessungen in der Steiermark - Jahresbericht 2009.“, Abteilung 15 – Energie, Wohnbau, Technik; Referat Luftreinhaltung; 2010. [Online]. Available: http://app.luis.steiermark.at/berichte/Download/Jahresberichte/Jahresbericht_2009.pdf.
- [83] Stadtplanung Stadt Graz, *Quartier- Entwicklungsplan Reininghaus*, 26.02.2014.
- [84] DHWcalc, *DHWcalc. Werkzeug zur Generierung von Trinkwasser-Zapfprofilen auf statistischer Basis, Version 1.10*, Dänemark: Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering; Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik Solar und Anlagentechnik, 2003.
- [85] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, *SIA. Merkblatt 2024, Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik*, Ausgabe 2006.
- [86] Thermal Energy System Specialists, LLC, *TRNSYS 17. A Transient System Simulation Program V17.01.0025*, Madison, USA: Solar Energy Lab, University of Wisconsin, 2012.
- [87] Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem RIS, *Landesgesetzblätter*.
- [88] Kusuda, T.; Archenbach, P.R., *Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States*, *ASHRAE Transactions*, Vol. 71, Part 1, Lausanne, Schweiz, 1965.
- [89] Adamo, I.; Cammarata, G.; Fichera A.; Marletta, L., *Improvement of a district network through thermoeconomic approach*, *Renewable Energy* 10 (2-3), pp. 309-317, 1998.
- [90] Benonysson, A.; Bohn, B.; Ravn, H.F., *Operational optimization in a district heating system*, *Energy, Convers Mgmt.* 36 (5), pp. 297-314, 1995.
- [91] Bojic, M.; Trifunovic, N.; Gistafsson, S.I., *Mixed 0-1 sequential linear programming optimization of a heat distribution in a district-heating system*, *Energy and Building* 32, pp. 309-317, 2000.
- [92] Bohn, T.B., *On transient heat losses from buried district heating pipes*, *Int. J. Energy Res.* 24, pp. 1311-1334, 2000.
- [93] Energie Graz GmbH & Co KG, *Technische Anschlussbedingungen Fernwärme, für die Planung, die Errichtung, den Betrieb und die Abänderung von Wärmeübergabestationen und Kundenanlagen im Versorgungsgebiet der Energie Graz GmbH & Co KG*, Ausgabe 2011.
- [94] Good J., *Planungshandbuch 2, leicht überarbeitete Auflage*, C.A.R.M.E.N.e.V., Straubing: Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke, 2008.
- [95] Wieland, T.; Reiter, M.; Schmutzter, E.; et al, „Gleichzeitigkeitsfaktoren in der elektrischen Energieversorgung - Konventioneller & probabilistischer Ansatz,“ e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, Wien, 2014.
- [96] O. Ö. V. f. Elektrotechnik, *ÖVE/ÖNORM EN 50160, „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen“*, Wien, 2011.
- [97] E.-C. GmbH, *Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen - Hauptabschnitt D2 - Richtlinie zur Beurteilung von Netrückwirkungen*, Wien, 2006.
- [98] E.-C. GmbH, *Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen - Hauptabschnitt D4 - Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen*, Wien, 2013.

- [99] Obersteiner, C.; „Energie der Zukunft, Analyse der technischen und ökonomischen Auswirkungen von Klein-BHKW auf Niederspannungsnetze,“ Klima- und Energiefonds; Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft, Wien, 2010.
- [100] Meteotest, „Global Meteorological Database for Engineers, Planner und Educations Meteotest, 6.1.0.9,“ Software and Data on CD-Rom, Meteotest, Bern, 2009.
- [101] Wieland, T.; Schmutzter, E.; Buchauer D., et al., „Optimal sizing of electric and thermal energy storage units for residential households with decentralized generation units in the low voltage grid,“ Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ 2014), Rakvere/Estonia, 2014.
- [102] Wieland, T.; Schmutzter, E.; Buchauer, D.; et al., „Neuartiges Konzept zur Auslegung von Strom- sowie Warmwasserspeichern in Haushalten beim Einsatz fluktuierender Erzeugungsanlagen,“ Graz, 2014.
- [103] Lund, H.; et al, „2014: 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, Energy, Volume 68, 15 April 2014,“ *Energy*, Bd. Volume 68, Nr. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>, pp. 1-11, 15 April 2014.
- [104] Landesgesetzblätter, LGBl. Nr. 96/2007 Stück 27, *Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 19. November 2007, mit der Maßnahme zur Verringerung der Immissionen des Luftschadstoffs PM10 nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft angeordnet werden (IG-L-Maßnahmenverordnung 2008)*.
- [105] ELSAS Energetische Langzeitanalysen und für Siedlungsstrukturen, „www.elas-calculator.eu,“ 2014. [Online]. Available: www.elas-calculator.eu.
- [106] Müller, A.; Heimrath, R.; et al., 2014: Solarenergie und Wärmenetze: Optionen und Barrieren in einer langfristigen, integrativen Sichtweise,; Wien: Endbericht für den Klima- und Energiefonds, Gumpendorferstraße 5/22 1060 Wien, 2014.
- [107] bmwfw, „Energiestatus Österreich, 2014: Entwicklung bis 2012,“ 2014. [Online]. Available: http://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/PublishingImages/Energiestatus%20%C3%96sterreich%202014_HP-Version.pdf.
- [108] Robbi, S., 2013: *LowEx-Fernwärme: Vergleichende Bewertung von Maßnahmen für eine effizientere multifunktionale Fernwärmeversorgung*, Dresden: Dissertation an der Fakultät für Maschinenwesen, der Technische Universität Dresden, 2013.
- [109] Gudmundsson O.; Brand M.; Thorsen J.E.; „Ultra-low temperature district heating and micro heat pump application - economic analysis,“ The 14th International Symposium on District Heating and Cooling, Stockholm, 2014.
- [110] Sulzer, M., *Effizienzsteigerung mit Anergienetzen, Potentiale – Konzepte – Beispiele*, Neuhausen am Rheinfall: Vortrag am 39. ITS Techno-Apéro, SIG Hus, 2011.
- [111] Persson, U.; Werner S., „Heat distribution and the future competitiveness of district heating DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.09.020,“ *Applied Energy*, Bd. Volume 88, Nr. Issue 3, March 2011,, p. 568–576, 2011.

- [112] Erb, M., Ausbau von WKK in der Schweiz - WKK-Standortevaluation auf Basis einer GIS-Analyse, Stauffacherstrasse 65/59g, 3014 Bern: Dr. Eicher+Pauli AG, 2011.
- [113] Dalla Rosa, A., „Toward 4th Generation District Heating: Experience and Potential of Low-Temperature District Heating, Annex X Final report,“ IEA DHC/CHP, <http://www.iea-dhc.org>, 2014.
- [114] Esch, T. et al., Potenzialanalyse zum Aufbau von Wärmenetzen unter Auswertung siedlungsstruktureller Merkmale, Oberpfaffenhofen, 82230 Weßling: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., 2011.
- [115] Manderfeld M., Handbuch zur Entscheidungsunterstützung – Fernwärme in der Fläche., Dinslaken, 2008.
- [116] Stadtvermessungsamt Graz, „Grazer Solarkataster,“ 2011. [Online]. Available: http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544_5163127/c6908687/SOLAR_INFO.pdf.
- [117] Biermayr P.; Eberl M.; et al., „Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2013, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 26/2014,“ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien, 2014.
- [118] Gehl Architects, „<http://gehlarchitects.com/>,“ [Online]. Available: <http://gehlarchitects.com/>.
- [119] „Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen, Neubau Stadtquartiere- DGNB Handbuch für nachhaltiges Bauen,“ Stuttgart, 2012, p. 100.
- [120] ZIS+P, „Verkehrsentwicklungskonzept Rahmenplan Verkehr Graz-Reininghaus 2009,“ 21.5.2015. [Online]. Available: http://www.zis-p.at/zis_referenzen_projekte_detail_Reininghaus_01.html.
- [121] Just-Moczygemba, E.; Nakova, A.; Wieland T., *E-Mailverkehr e-mobility*, 2014.
- [122] Wieland, T.; Reiter, M.; Schmutzner, E.; et al., „Probabilistische Methode zur Modellierung des Ladeverhaltens von Elektroautos anhand real gemessener Daten elektrischer Ladestationen – Auslastungsanalysen von Ladestationen unter Berücksichtigung des Standorts zur Planung von elektrischen Stromnetzen,“ Springer Verlag, Graz, 2015.
- [123] EnergySimCity, *research studio austria - Ganzheitliche Analyse und Simulation von Energiesystemen und Ressourcenverbünden in Städten und Stadtquartieren*, Graz / Gleisdorf, 2014-2018.
- [124] Stadt der Zukunft, „CityCalc- Energieplanungs- und Bewertungsinstrument für den Städtebau,“ [Online]. Available: <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id7796>.
- [125] IEA SHC TASK 51, „SHC TASK 51 (Solar Energy in Urban Planning) der Internationalen Energieagentur,“ International Energy Agency, [Online]. Available: <http://task51.iea-shc.org/>.
- [126] BIWAES, „BIWAES 2015 - Biennial International Workshop Advances in Energy Studies 2015 - ENERGY AND URBAN SYSTEMS,“ 2015. [Online]. Available: http://biwaes.uniparthenope.it/BIWAES_2015/home.html.

10 AutorInnen

Die Verantwortung für die dargestellten Inhalte liegt bei den jeweiligen AutorInnen, bzw. bei den entsprechenden Institutionen.

1.1 -1.3	Ernst Rainer, Michael Malderle
2.1	Reinhold Lazar, Markus Duschek
2.2	Hans Schnitzer, Richard Heimrath
2.3	Hannes Oblak, Alexander Passer
2.4	Thomas Mach, Ernst Rainer
3.1	Ernst Rainer, Michael Malderle, Antonia Nakova, Martin Schnalzer
3.2	Michael Malderle, Martin Schnalzer, Carlos Varela Martin
3.3	Thomas Mach, Ernst Rainer
3.4	Markus Gratzl-Michlmair, Richard Heimrath
3.5	Ernst Rainer, Pentaplan ZT GmbH
3.6	Ernst Rainer, Michael Malderle, Martin Schnalzer
3.7	Ernst Rainer, Hannes Oblak, Alexander Passer, Helmuth Kreiner, Nussmüller ZT
3.8	Ernst Rainer, Dietger Wissounig Architekten ZT GmbH
3.9	Ernst Rainer, sps+architekten zt gmbh
3.10	Ernst Rainer, Nussmüller ZT GmbH
3.11	Thomas Mach
4.1 – 4.5	Reinhold Lazar, Markus Duschek
5.1	Thomas Mach
5.2	Werner Lerch, Richard Heimrath, Thomas Mach
5.2 – 5.3	Thomas Wieland, Michael Reiter, Ernst Schmutzner, Lothar Fickert
6.1	Hans Schnitzer, Richard Heimrath
6.2 – 6.4	Stephan Maier
7.1 – 7.7	Hannes Oblak, Alexander Passer, Helmuth Kreiner
8.1	Ernst Rainer, Antonia Nakova, Thomas Wieland, Ernst Schmutzner
8.2	Michael Narodoslawsky, Hans Schnitzer
8.3	Alexander Passer, Helmuth Kreiner
8.4	Thomas Mach, Hans Schnitzer, Thomas Wieland
8.5	Ernst Rainer, Ingo Sonnek
8.6	Ernst Rainer, Ingo Sonnek
8.7	Ernst Rainer
8.8	Ernst Rainer, Ingo Sonnek

Grafische Bearbeitung: Sophie Grünewald

Lektorat: Yvonne Bormes

11 Danksagung

Besonderer Dank gebührt den fördergebenden Stellen, der Stadt Graz – vertreten durch die Stadtbauverwaltung Graz –, dem Umweltamt Graz, dem Land Steiermark – vertreten durch die Abteilung Energie und Wohnbau –, dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie bmvit, der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG, der Haus der Zukunft Plus Programmleitung ÖGUT, dem regionalen Projektpartner AEE INTEC, dem Architektur Büro Nussmüller, der Energie Graz, der Energie Steiermark, den involvierten Investoren Klima Aktiv Haus GmbH, WEGRAZ Immobilien, der ERBER Group, der Kammer der ZiviltechnikerInnen für Steiermark und Kärnten, Herrn Ingo Sonnek, der Holding Graz, den Architekturbüros – Atelier Arch. Pucher, PENTAPLAN, BKP Architekten, Baumschlager-Eberle, Kleboth-Lindinger, Wissounig Architekten, SPS Architekten –, den involvierten Ämtern der Stadt Graz – Amt für Stadtplanung, Amt für Verkehrsplanung, Hochbauamt, Abteilung für Grünraum und Gewässer –, den betroffenen öffentlichen und privaten Wohnbauträgern in Graz-Reininghaus, der ECO World Styria, dem Holzcluster Steiermark, der IG Passivhaus Plus, dem ICS Internationalisierungszentrum Steiermark GmbH, der Wirtschaftskammer Österreich, der Arbeiterkammer Österreich, den beratenden Experten – Klaus Siegl, Projektleitung Rieselfeld Freiburg, Heinrich Gugerli, Leiter Fachstelle nachhaltiges Bauen Stadt Zürich und Leiter 2000-Watt-Arealentwicklung Schweiz, Andreas Hofer, Projektleitung Hunziker-Areal Wohnbauforschung Zürich, Manfred Hegger, TU Darmstadt, Martin Sandtner, Leiter Stadtplanungsamt Basel, Allison Dutoit, Gehl Architects Kopenhagen, Anders Dyrelund, RAMBOLL Kopenhagen, Roland Zinkernagel, Umweltamt Stadt Malmö, Michael Erman, Stadtplanungsamt Stockholm, Jan Gerbitz, IBA Hamburg, sowie allen nicht genannten zahlreichen UnterstützerInnen der ECR-Projektinitiative.

Nur durch die tatkräftige Unterstützung zahlreicher Institutionen und Personen konnte das ECR-Projekt erfolgreich umgesetzt und somit die Basis für die nachhaltige Entwicklung von Graz-Reininghaus eingeleitet werden.



ECR-Schlusspräsentation und Ausstellung der Ergebnisse, 2.12.2014, LOFT Graz-Reininghaus,

© Fischer Stadt Graz