

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Gutachterliche Betrachtung für die Nachhaltigkeit des Olympiageländes im Rahmen des Masterplans für den Kernbereich Kleiner Grasbrook



Quelle: KCAP, Stand: 14.07.2015

Auftraggeber

Freie und Hansestadt Hamburg
vertreten durch die
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
Amt Natur- und Ressourcenschutz
Energieabteilung
Neuenfelder Straße 19
21109 Hamburg

Verfasser

Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH
Ludwig-Erhard-Straße 1
20459 Hamburg

Dr. Helge Plath
Dr. Peter Möslé
Oliver Lange
Andreas Ziri
Valentin Brenner
Gregor Grassl
Torben Lange

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Ansprechpartner

Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH
Ludwig-Erhard-Straße 1
20459 Hamburg

Dr. Helge Plath

Tel: +49 40 514944-6906

Fax: +49 40 514944-406906

helge.plath@dreso.com

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Zusammenfassung	5
1.1 Primärenergieeinsatz	5
1.2 Nachhaltigkeitsstandard	8
2 Einleitung	9
3 Aufgabenstellung	9
4 Vorgehensweise.....	11
5 Grundlagen.....	12
5.1 Begriffe und Definitionen	12
5.1.1 Effizienzhaus Plus	12
5.1.2 KfW-Effizienzhäuser	12
5.1.3 Niedrigenergiehaus	13
5.1.4 Niedrigstenergiehaus	13
5.1.5 Passivhaus	13
5.2 Anforderungen der Stadt Hamburg an die Olympischen Spiele.....	14
5.3 Stand der Masterplanung	16
5.4 Klimadaten	18
6 Energiebedarfsermittlung.....	20
6.1 Wärmeenergiebedarf	20
6.2 Kälteenergiebedarf	21
6.3 Stromenergiebedarf.....	21
7 Gebäudestandards	22
7.1 Energetische Qualität.....	23
7.1.1 Energieeffizienzstandards.....	23
7.1.2 Typgebäude Berechnungsmodell	25
7.1.3 Definition der Gebäudestandards	27
7.1.4 Ergebnisse der Energiebilanz	30
7.1.5 Fazit – energetische Qualität	32
7.2 Ökologische Qualität.....	33
7.2.1 Ökobilanz	33
7.2.2 Vergleich der Energieeffizienzstandards	34
7.2.3 Vergleich der Materialwahl	38

7.2.4	Fazit – ökologische Qualität	44
7.3	Ökonomische Qualität	45
7.3.1	Lebenszykluskostenberechnung	45
7.3.2	Vergleich der energetischen Gebäudestandards.....	47
7.3.3	Vergleich der Bauweisen	49
7.3.4	Fazit – ökonomische Qualität	51
8	Energieversorgungslösungen	52
8.1	Wärmeversorgung	56
8.1.1	Infrastruktur.....	58
8.1.2	Untersuchte Systeme.....	66
8.1.3	Zusätzliche Wärmeerzeuger	86
9	Nachhaltigkeitsstandards	111
9.1	Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme im Vergleich	114
9.2	Bewertung von Sportstätten bis dato.....	117
9.3	Fazit – Nachhaltigkeitsstandards	119
10	Leuchttürme	120
11	Abbildungsverzeichnis.....	124
12	Tabellenverzeichnis.....	127
13	Abkürzungsverzeichnis	128
14	ANLAGE 1 – Ökobilanzieller Vergleich Tragwerke	129
15	ANLAGE 2 – Protokoll Workshop Stakeholder	131

1 Zusammenfassung

Das vorliegende Energie- und Nachhaltigkeitskonzept für die OlympiaCity 2024 zeigt Wege auf, wie zukünftige Gebäude in urbanen Räumen einen positiven ökologischen Fußabdruck selbst unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte hinterlassen können. Dabei liegt der Fokus auf dem End- und Primärenergieeinsatz von Gebäuden, betrachtet über den gesamten Lebenszyklus inklusive Grauer Energie und Nutzerstrom.

1.1 Primärenergieeinsatz

Die Energieeffizienz von Gebäuden wird gemäß Energieeinsparverordnung 2014 durch die Bilanzierung der End- und Primärenergie für folgende Bereiche bewertet:

- Heizung und Warmwasser,
- Lüftung,
- Klima und Kälte sowie
- Beleuchtung (nur bei Nichtwohngebäuden).

Diese Betrachtung spiegelt jedoch nicht den tatsächlichen Energieaufwand wider, den Gebäude über ihren Lebenszyklus, also von der Herstellung bis zum Abriss, tatsächlich benötigen.

Ein bedeutenden Anteil stellt die sogenannte Graue Energie oder korrekt ausgedrückt, der kumulierte Energieaufwand (KEA) dar. Also die Energie, die zusätzlich für die Herstellung und Entsorgung der Baumaterialien erforderlich wird. Diese machen bei heutigen, konventionellen Bauweisen häufig mehr als ein Drittel der eingesetzten und nicht erneuerbaren Primärenergie von Gebäuden aus.

Zusätzlich wird in Gebäuden der größte Teil der Energie meist in Form von Strom durch die Nutzer verbraucht. Dieser Energiebedarf steht zwar nicht in direktem Zusammenhang mit dem Gebäude als Bauwerk, sollte aber auf dem Weg in eine CO₂-freie Gesellschaft mitbetrachtet werden. Ziel muss es sein, diese erforderliche Energie soweit wie möglich nicht nur regenerativ, sondern auch lokal, also nah am Ort des Verbrauchers, zu erzeugen.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

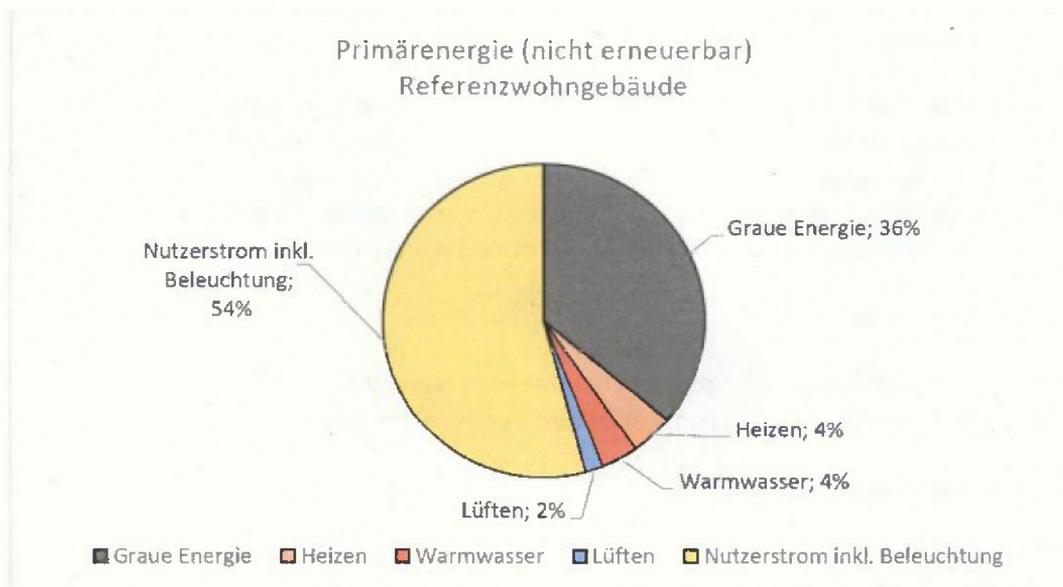


Abbildung 1-1: Beispielhafte Darstellung der Anteile nicht erneuerbarer Energie an einem Referenzwohngebäude (mehrgeschossig, konventionelle Bauweise); Quelle: Eigene Berechnung

Für messbar umwelt- und klimaschonende Olympische Spiele sowie einen zertifiziert nachhaltigen Stadtteil OlympiaCity, wird die beschriebene, ganzheitliche energetische Bewertung der Gebäude vorgenommen.

Im Sinne einer zukunftsweisenden Entwicklung ist das Ziel, einen positiven ökologischen Fußabdruck der Gebäude in der OlympiaCity zu hinterlassen, nur erreichbar, wenn neben einem hohen Maß an Energieeffizienz für die Nutzungsphase, auch der Ressourcenaufwand in der Herstellungs- und End-of-Life-Phase konsequent von Beginn der Planung an mitberücksichtigt und zusätzlich regenerative Energie genutzt wird.

Gebäudeenergieeffizienz

Die Strategie zur Erreichung der genannten primärenergetischen Ziele sieht vor, den durch zusätzlichen Energieaufwand zu deckenden End- und Primärenergieeinsatz mittels Ausschöpfung sämtlicher Energieeffizienzpotentiale so weit wie möglich zu reduzieren. Dafür umfassen die entwickelten Energie-Gebäudestandards hochwärmedämmte und luftdichte Gebäudehüllen, ausgewogene Fensterflächenanteile und energiesparende Gebäudetechnik.

Zu den wesentlichen baulichen und technischen Eigenschaften, die zur Reduzierung des Wärmeenergiebedarfs beitragen, zählen neben einer hochwärmedämmenden und luftdichten Gebäudehülle, auch der Einsatz von Niedertemperaturheizsystemen, kontrollierter Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung und Warmwasserstationen in den Wohnungen. Zusätzlich wird ein Teil des Warmwasserbedarfs durch die Nutzung von Solarthermieanlagen regenerativ am Gebäude selbst erzeugt.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Der rationelle Einsatz von Strom wird durch LED-Beleuchtungen mit Präsenz- und Tageslichtsteuerung, hocheffizienten Pumpen, Antriebe und Ventilatoren in der Haustechnik sowie energiesparende Haushaltsgeräte gewährleistet.

Darüber hinaus wird bereits ein Teil des erforderlichen Stromenergiebedarfs durch Photovoltaik auf den Dächern und an den Fassaden direkt am Ort des Bedarfs erzeugt. Um die Eigenstromnutzung zu optimieren und nicht unnötig in das öffentliche Stromnetz einspeisen zu müssen, kommen Batteriespeicher mit vernetzten Energiemanagementsystemen zum Einsatz. Diese unterstützen auch beim gezielten Bezug von regenerativem Strom aus dem öffentlichen Netz in Verbindung mit der Nutzung von Mehrtarifzählern (Smart Metering).

Energieversorgung

Der verbleibende nur noch geringe Primärenergieaufwand zur Versorgung der Gebäude mit Heizung und Warmwasser, der den drittgrößten Anteil in der Energiebilanz ausmacht, wird durch eine weitestgehend CO₂-freie zentrale Wärmeversorgung gedeckt.

Zusätzlich ermöglicht ein LowEx-Netz in Teilen der OlympiaCity im Winter die Nutzung von Abwärmepotentialen aus Abwasser, Rückkühlern, Rechenzentren u. a. zur Beheizung einzelner Gebäude über Wärmepumpen. Im Sommer steht das LowEx-Netz zur Verfügung, um, insbesondere im Bereich der teilweise gekühlten Nichtwohngebäude, die Rückkühler auf den Dächern zu ersetzen und für eine hocheffiziente Kühlung zu sorgen. Die entsprechende Kühlenergie kann aus Elbe- oder Brunnenwasser sowie aus Absorptionskältemaschinen umweltfreundlich erzeugt werden.

Gleichzeitig stehen mit Wegfall der Rückkühler auf den Dächern die wertvollen Dachflächen für andere multifunktionale Nutzungen wie urban farming, Aufenthaltsflächen, Solarenergiegewinnung, etc. zur Verfügung.

Das LowEx-Netz ist somit das ganze Jahr über sinnvoll nutzbar und quasi eine Plattform zur bedarfsgerechten Verschiebung diverser Abwärmepotentiale – die Basis für ein echtes „virtuelles Kraftwerk“.

Gebäudematerialien und Bauweisen

Wertvolle Ressourcen, die heute in den einzelnen Gebäudeelementen wie Fassade, Tragwerk, Innenausbau enthalten sind, dürfen zukünftig nicht mehr nach Ende ihrer Nutzungsdauer auf dem Sondermüll landen oder, wie heute üblich, in einen minderwertigen Recyclingprozess (Downcycling) geführt werden.

Die Baumaterialien müssen zu großen Teilen erneuerbar oder hochwertig rezyklierbar sein. Erneuerbares Material könnte Holz zusätzlich für Tragwerk, Wände und Decken sein. Rezyklierbar können nahezu alle Materialien sein, sofern sie schadstofffrei sind, sich leicht sortenrein trennen und wieder den Stoffkreisläufen zuführen lassen. Heute bereits vereinzelt umsetzbar, wird die rezyklierbare Bauweise und die damit verbundenen angebotenen Systeme und Baustoffe in den nächsten Jahren deutlich zunehmen. Sämtliche Bauteile und eingesetzte Materialien, die dem Designgedanken der

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

geschlossenen Stoffkreisläufe entsprechen, würden somit den Anteil der Grauen Energie gegen Null lenken. Folglich werden die Gebäude zu einem temporären Rohstoffdepot für zukünftige Anwendungen im Bausektor.

1.2 Nachhaltigkeitsstandard

Das nachhaltige Bauen ist im engen Zusammenhang mit dem energieeffizienten Bauen zu betrachten und steht somit im direkten Kontext zum hier betrachteten Energieeinsatz, den Lebenszykluskosten und der Ökobilanzierung.

Die Umsetzung der hohen Qualitätsansprüche Hamburgs an die Nachhaltigkeit der entstehenden Gebäude als auch des neuen Stadtteils, wird durch die Anwendung international anerkannter Zertifizierungssysteme gemessen und bewertet. Dabei muss der Anspruch sein, hohe bis höchste Auszeichnungsgrade für alle Gebäude einzeln als auch für das gesamte Areal als Ganzes zu erreichen.

Die zusätzliche Zertifizierung des gesamten Quartiers als Ganzes ist erforderlich, da viele Themen der baulichen Nachhaltigkeit nicht allein in Details der Einzelgebäude, sondern übergeordnet in Infrastrukturen und Systemzusammenhängen beantwortet werden müssen. Dabei werden beispielsweise auch stadtklimatische Auswirkungen, die Qualität des öffentlich zugänglichen Raumes (Straßen, Wege, Plätze, Grün- und Freiflächen) sowie die infrastrukturelle Umgebung des Quartiers mitberücksichtigt.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

2 Einleitung

Die Freie und Hansestadt Hamburg bewirbt sich für Deutschland um die Ausrichtung der Olympischen und Paralympischen Sommerspiele im Jahr 2024 oder 2028. Sie zielt auf die nachhaltige Entwicklung eines neuen Stadtquartiers, in dem die Olympischen und Paralympischen Spiele stattfinden sollen – der OlympiaCity.

Ziel ist die Entwicklung eines innerstädtischen Quartiers mit nachgenutzten, Sporteinrichtungen, integriert in urbane Freiräume. Die zu bearbeitende Fläche des Kleinen Grasbrooks mit den benachbarten 50er Schuppen hat eine Gesamtgröße von rund 160 ha, davon 130 ha Land- und 30 ha Wasserflächen. Mit den Spielen könnten auf dem Kleinen Grasbrook rund 3.000 und in der Nachnutzung bis zu 7.000 Wohnungen entstehen.

Für die Durchführung der Spiele werden Olympiastadion, Olympiahalle und Olympiaschwimmhalle sowie Media Press Centre, International Broadcast Centre und viele weitere besondere Einrichtungen auf dem Gelände erforderlich.

3 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung für das vorliegende Dokument ist die Entwicklung von Energie- und Nachhaltigkeitskriterien für den neu geplanten Stadtteil auf dem Kleinen Grasbrook.

Das Energie- und Nachhaltigkeitskonzept berücksichtigt den „Olympia Modus“ (während der Olympischen Spiele) sowie den Hauptnutzungs-Modus („Legacy Mode“). Hierbei steht jedoch insbesondere für den Zeitraum nach den olympischen Spielen eine energieeffiziente Wärme- und Stromversorgung im Fokus. In diesem Zusammenhang steht Nachhaltigkeit für Umwelt- und Klimaverträglichkeit sowie Ressourcenschutz und Wirtschaftlichkeit.

Die Aufgabenstellungen im Einzelnen lauten wie folgt:

1. Entwicklung energetischer Gebäudestandards unter Beachtung der Ökologie und Ökonomie;
2. Entwicklung eines Energieversorgungskonzeptes mit einer weitestgehend CO₂-freien Wärmeversorgung;
3. Definition von Anforderungen an das nachhaltige Bauen in der OlympiaCity.

Für die Entwicklung technisch machbarer, nachhaltiger und energetisch sinnvoller Konzepte sollen folgende Rahmenbedingungen beachtet bzw. grob ermittelt werden:

- die vorherrschenden Rahmenbedingungen am Standort,
- der zu erwartende Energiebedarf der Gebäude,
- die Abnahmestrukturen der Gebäude.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Grundlagen hierfür sind:

- Technical Manuals des IOC,
- Erfahrungswerte (Kennwerte) aus vergangenen Olympischen Spielen z. B. London 2012 sowie aus anderen vergleichbaren Großveranstaltungen und Projekten,
- der aktuelle Stand der Masterplanung (Stand 29.07.2015),
- der Anspruch Hamburgs an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit für die Olympischen Spiele in 2024 bzw. 2028 – formuliert im Antwortenkatalog der Freien und Hansestadt Hamburg an den DOSB¹.
- Angaben aus Gesprächen mit diversen Stakeholdern.
- Ergebnisse des Workshops „Energiekonzept für den mittleren Grasbrook“ am 10.07.2015 bei der BUE (Protokoll siehe Anlage 2).

¹ Antworten zu Perspektiven einer möglichen Bewerbung Hamburgs um die Ausrichtung Olympischer und Paralympischer Spiele vom Senat der Freien und Hansestadt Hamburg vom 26. August 2014 an den Deutschen Olympischen Sportbund

4 Vorgehensweise

Für die Erarbeitung des Konzepts werden die folgenden Schritte sukzessive bearbeitet:

1. Grundlagenermittlung

Die Grundlagenermittlung beinhaltet die Recherche nach:

- nutzbaren Abwärmepotentialen aus Industrie und Gewerbe,
- verfügbaren sonstigen Medien (Strom, Gas und Fernwärme),
- Hafenspezifischen Belangen,
- Anforderungen an die Versorgungssicherheit.

2. Energiebedarfe

Die Energiebedarfe für folgende Medien werden grob für die Phasen der Hauptnutzung und der Olympischen Spiele berechnet:

- Wärme,
- Kälte,
- Strom.

3. Gebäudestandards

Entwicklung, Gegenüberstellung und Bewertung verschiedener energetischer Gebäudestandards. Dafür wird ein exemplarisches Typgebäude entwickelt, an dem verschiedene energetische und ökologische Standards berechnet werden können. Die Bewertung erfolgt anhand folgender Kriterien:

- End- und Primärenergiebedarf nach DIN V 18599 zusätzlich mit Berücksichtigung der Grauen Energie und des Nutzerstroms,
- spezifischer Transmissionswärmeverlust im Sinne der EnEV,
- Lebenszykluskostenanalyse gemäß Rechenvorschriften des DGNB-Systems, Nutzungsvariante Neubau Wohngebäude Version 2012,
- Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/62 sowie DIN EN ISO 14044.

4. Energieversorgungslösungen

Entwicklung von Energieversorgungslösungen unter Berücksichtigung der Gebäudestandards.

5. Nachhaltigkeitsstandards

Definition von Nachhaltigkeitsstandards:

- Zertifizierungssysteme,
- Baumaterialien,
- Baukonstruktionen.

5 Grundlagen

5.1 Begriffe und Definitionen

5.1.1 Effizienzhaus Plus

Das Effizienzhaus Plus Niveau ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der Energieeinsparverordnung (EnEV), wie z. B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind einzuhalten.

Die Nachweise sind in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung 2014 (EnEV) nach der DIN V 18599 zu führen. Für die Nachweisführung ist der mittlere Standort nach EnEV anzusetzen. Allerdings müssen in Ergänzung zur Nachweisprozedur der EnEV die End- und Primärenergiebedarfswerte für die Wohnungsbeleuchtung und für die Haushaltsgeräte und -prozesse in der Berechnung mitberücksichtigt werden.²

5.1.2 KfW-Effizienzhäuser

Folgende Standards sind durch die KfW definiert und ab 01.04.2016 förderfähig:

Tabelle 5-1: Übersicht förderfähiger KfW-Standards

	Primärenergie- bedarf kWh/m ² a	Transmissions- wärmeverluste kWh/m ² a	Zusätzliche Anforderungen
Effizienzhaus 55	Q _{p,max} -45% (EnEV)	< 70 % H _{T,Ref} EnEV	Keine
Effizienzhaus 40	Q _{p,max} -60% (EnEV)	< 55 % H _{T,Ref} EnEV	Keine
Effizienzhaus 40 Plus	Q _{p,max} -60% (EnEV)	< 55 % H _{T,Ref} EnEV	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stromerzeugende Anlage (EE), ▪ Batteriespeicher, ▪ Lüftungsanlage mit WRG (> 80 %), ▪ Energieverbrauchs-visualisierung.

² Quelle: „Richtlinie des BMVBS über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte im Effizienzhaus Plus-Standard im Jahre 2012“ vom 21.02.2012 i.V.m. Anlage 1 „Wohnhäuser mit Plus-Energie Niveau – Definition und Berechnungsmethode“ (Anlage VI); Broschüre des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit „Wege zum Effizienzhaus-Plus“ (2014), S. 9.

5.1.3 Niedrigenergiehaus

Die ursprünglichen Anforderungen sind mittlerweile durch die aktuellen gesetzlichen Standards bereits überholt.

5.1.4 Niedrigstenergiehaus

Den Rahmen für die Definitionen geben internationale Abkommen, vor allem aber die EU-Richtlinie 2010/31/EU vor. Darin heißt es in Artikel 2, Absatz 2: "Niedrigstenergiegebäude' [beschreibt] ein Gebäude, das eine sehr hohe, nach Anhang I bestimmte Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen - einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird - gedeckt werden"³.

5.1.5 Passivhaus

Unter einem Passivhaus wird ein Gebäude verstanden, das aufgrund seiner guten Wärmedämmung in der Regel keine aktive Gebäudeheizung benötigt.

Gemäß Definition des Passivhaus-Instituts ist „ein Passivhaus ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit (ISO 7730) allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität (DIN 1946) erforderlich ist, gewährleistet werden kann – ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden.“

Die Häuser werden „passiv“ genannt, weil der überwiegende Teil des Heizwärmebedarfs aus „passiven“ Quellen gedeckt wird, wie Sonneneinstrahlung und Abwärme von Personen und technischen Geräten.

³ effizienzhaus.zukunft-haus.info

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

5.2 Anforderungen der Stadt Hamburg an die Olympischen Spiele

Auszüge aus den Antworten zu Perspektiven einer möglichen Bewerbung Hamburgs um die Ausrichtung Olympischer und Paralympischer Spiele vom Senat der Freien und Hansestadt Hamburg vom 26. August 2014 an den Deutschen Olympischen Sportbund:

„Energieversorgung

Hamburg hat in dem Masterplan Klimaschutz die Weichen gestellt, bis zum Jahr 2050 den Energie- und Wärmebedarf weitgehend aus erneuerbaren Energien zu decken. Die Energieversorgung der olympischen und paralympischen Infrastruktur soll möglichst vollständig aus regenerativen Energien gedeckt werden. Ein virtuelles Kraftwerk als intelligentes Steuerungssystem würde die Energieflüsse regeln. Überschüssige Energiemengen aus Wind- und Photovoltaikstrom würden in Wärme umgewandelt und im Wärmenetz genutzt oder gespeichert....“

„Nachhaltiges Bauen

Die olympischen und paralympischen Anlagen werden flächensparend und energieeffizient in Niedrigenergie- oder Passivhausbauweise errichtet. Die Auswahl der Materialien und Werkstoffe entspreche den neuesten ökologischen Anforderungen in der Bau-, Nutzungs- und ggf. Entsorgungsphase.

Wie bereits in der HafenCity erfolgreich umgesetzt, wird ein möglichst großer Anteil der Gebäude nach den Vorgaben des Umweltzeichens in Gold entwickelt. Neben ökologischen werden auch ökonomische und soziale Komponenten eines Bauvorhabens bewertet:

- *nachhaltiger Umgang mit energetischen Ressourcen im Gebäude,*
- *nachhaltiger Umgang mit öffentlichen Gütern,*
- *Einsatz umweltschonender Baustoffe,*
- *besondere Berücksichtigung von Gesundheit und Behaglichkeit,*
- *nachhaltiger Gebäudebetrieb und Barrierefreiheit.*

Mit Wasser wird – wie in Hamburg bereits selbstverständlich – so sparsam wie möglich umgegangen werden. Stadien, Sportstätten, das Olympische Dorf und sonstige Einrichtungen werden mit wassersparenden Geräten und Sanitäreinrichtungen ausgestattet oder nachgerüstet.

Nicht zuletzt kann durch gezielte Niederschlagwasserversickerung den Folgen einer zusätzlichen Versiegelung von Bodenflächen entgegengewirkt werden. Wege und Plätze können wasserdurchlässig gestaltet werden....“

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

„Messbarkeit, Transparenz und Dialog

Hamburg wird die Nachhaltigkeit der Olympischen und Paralympischen Spiele bereits im Vorfeld messen und bewerten lassen.“

Und auch im Anschluss bestätigen lassen:

„...Die Nachhaltigkeit der Spiele in Hamburg soll über ein Zertifizierungssystem messbar sein und evaluiert werden können.“

5.3 Stand der Masterplanung

Auf Basis der aktuellen Masterplanung (Stand 29.07.2015) wurden Flächen und Nutzungen abgeleitet, die für das Energiekonzept relevant sind. Für die Betrachtung sind nur beheizte und/oder gekühlte Gebäudebereiche relevant.

Tabelle 5-2: Energiebezugsflächen (BGF) für den Olympia-Modus und den Hauptnutzungs-Modus (Stand 29.07.2015)

HAUPTNUTZUNG		Fläche BGF m ²	OLYMPIA		Fläche BGF m ²
1	Stadion	25.467	Olympiastadion		54.748
2	Schwimmhalle	23.846	Olympiaschwimmhalle		29.053
3	Cruise-Terminal	17.556	Olympiahalle inkl. WarmUp		22.129
4	Wohnen (inkl. Anteil Stadion)	743.960	Unterkünfte		307.746
5	Büro	235.000	Büro (ohne IBC, MPC,...)		103.314
6	Retail	90.000	Sonder (Kliniken, etc..)		24.180
7	Gastro	20.000	Retail		33.852
8	Kita, Schule, Praxis	55.000	Gastro		14.508
9	Hotel (am Cruise Terminal)	25.740	IBC/MPC		113.502
		1.236.569			703.032

Anhand der Flächenübersicht wird deutlich, dass die energetisch konditionierte Fläche in der Nachverdichtung für den Hauptnutzungs-Modus um über 70 % wächst.

In den folgenden Abbildungen sind die wesentlichen Nutzungsbereiche in der OlympiaCity mit den erforderlichen energetischen Konditionierungsbedarfen für Hauptnutzungs- und Olympia-Modus grob dargestellt. Es wird unterschieden in

- Heizenergiebedarf,
- Kühlenergiebedarf,
- Trinkwarmwasserbedarf zentral,
- Energiebedarf für maschinelle Lüftungsanlagen,
- Elektroenergiebedarf.

Die jeweilige erforderliche Energieleistung, der Energiebedarf sowie die Verteilung auf dem Areal sind wichtige Grundlagen für die Entwicklung des Energiekonzepts.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

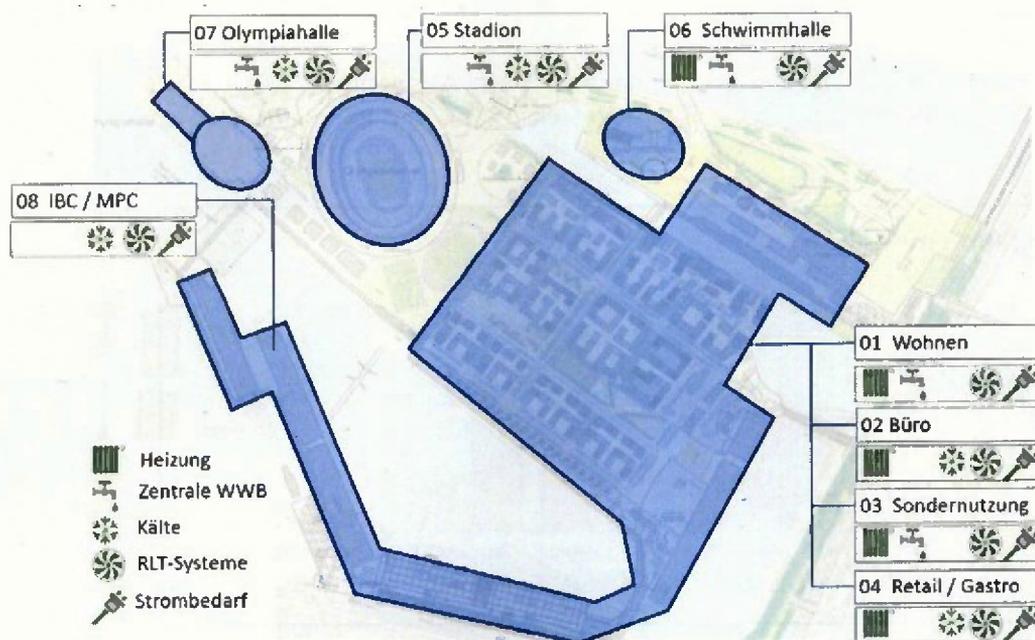


Abbildung 5-1: Verbraucher auf dem Kleinen Grasbrook – Olympia-Modus

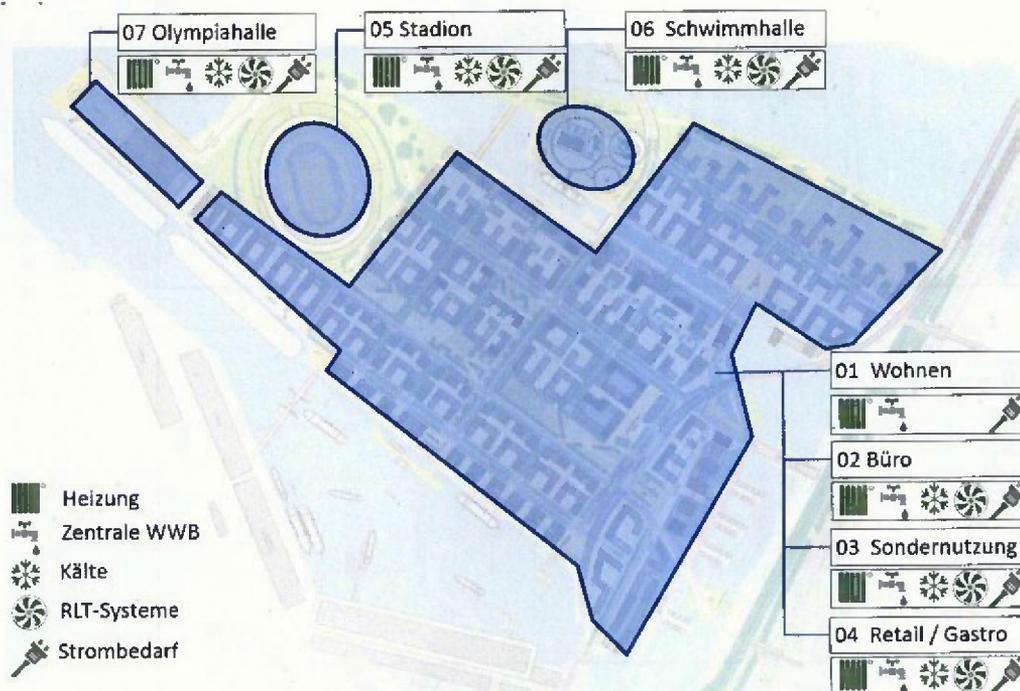
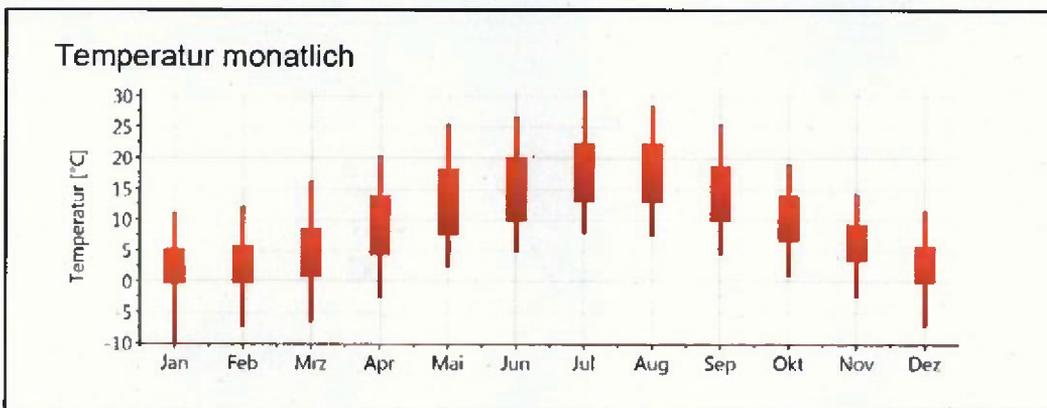
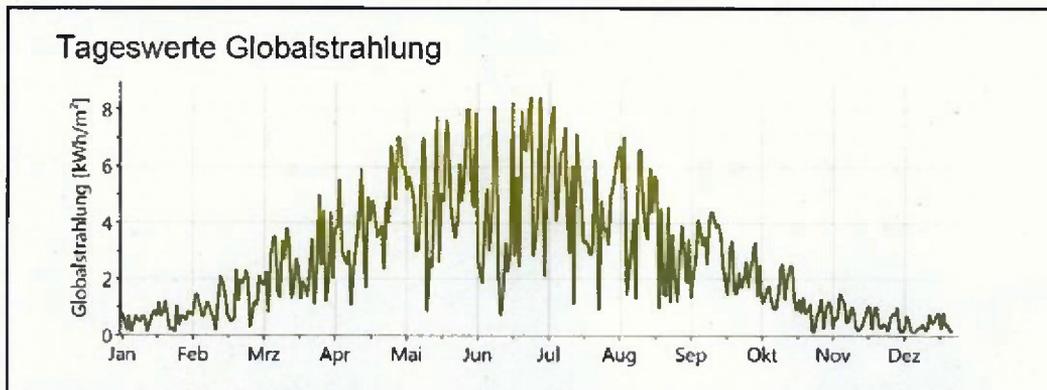
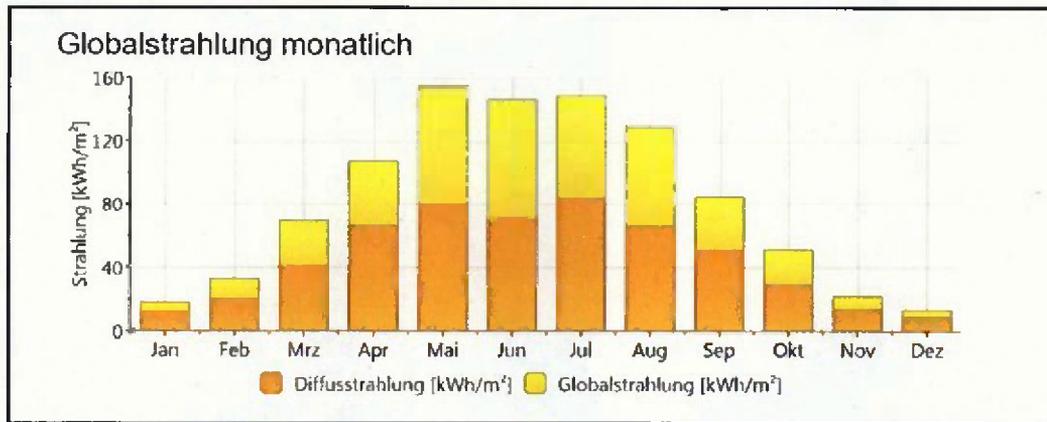


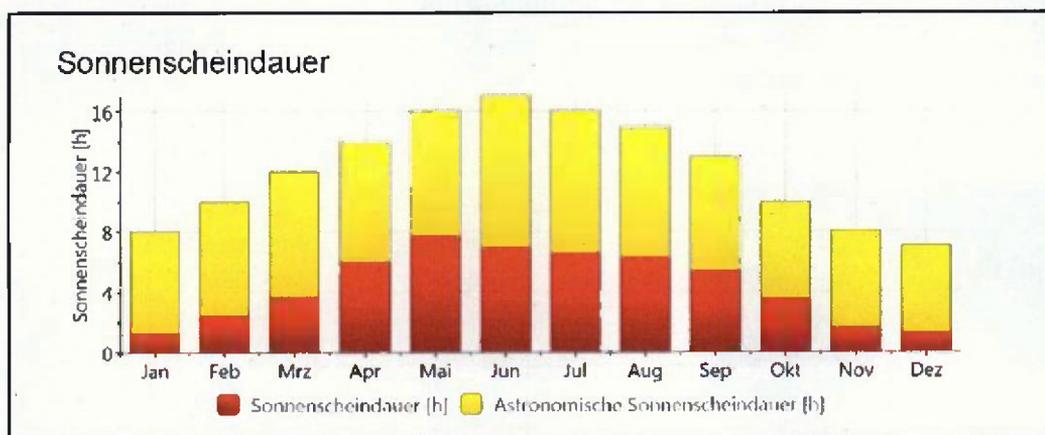
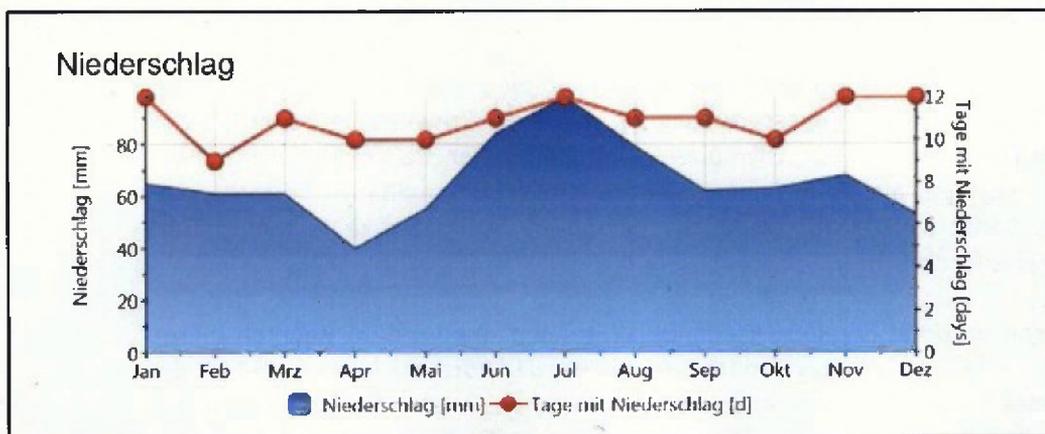
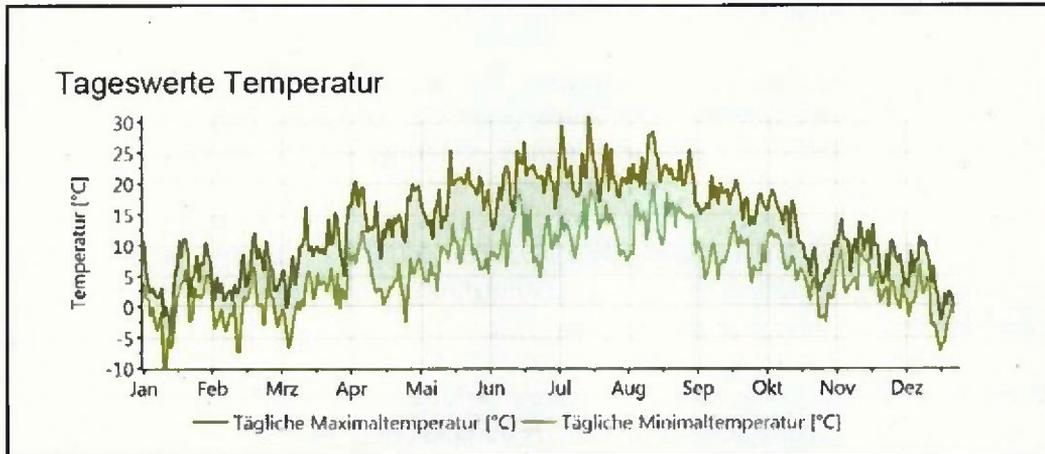
Abbildung 5-2: Verbraucher auf dem Kleinen Grasbrook – Hauptnutzungs-Modus

5.4 Klimadaten

Für den Standort Hamburg wurden die Klimadaten nach Meteonorm Version 5.0 ermittelt, die insbesondere für die Bewertung von Heiz-, Kühl- und Raumluftsystemen erforderlich sind.



Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
 Stand: 21.09.2015



6 Energiebedarfsermittlung

In der OlympiaCity entsteht eine Vielzahl von Gebäuden. Für den Olympia-Modus sind neben den Sportstätten vorrangig Unterkuftsgebäude aber auch zahlreiche Gebäude mit anderen Nutzungen wie Media- und Broadcast Center, Catering, Eventflächen etc. geplant.

In der späteren Hauptnutzung wird mit zusätzlichen Gebäuden deutlich nachverdichtet und die bereits vorhandenen Gebäude erfahren eine Umnutzung in Wohnungen, Büros, Hotels, Retail und Gastronomie aber auch Schulen, Kitas, etc.

Die verschiedenen Nutzungen auf dem Kleinen Grasbrook erfordern unterschiedlichen Energieeinsatz, der bei der Ermittlung des Energiebedarfs berücksichtigt werden muss.

6.1 Wärmeenergiebedarf

Da die Olympischen Spiele im Sommer stattfinden, sind die größten Wärmeverbraucher im „Olympia Modus“ die Warmwassererzeugung sowie die Schwimmbeckenbeheizung und Belüftung/Entfeuchtung der Olympiaschwimmhalle. Der Gesamtverbrauch liegt damit deutlich niedriger als die in Punkto Wärme schwerpunktmäßig zu betrachtende Hauptnutzung. Somit werden für die Dauer der Spiele planmäßig keine temporären Wärmerezeuger erforderlich.

Die erforderliche maximal bereit zu stellende Wärmeleistung wird im Rahmen dieser Untersuchung mit ca. 37 MW grob ermittelt. Davon werden voraussichtlich ca. 6 MW die Grundlast darstellen. Für die Wohngebäude wurde ein Energieeffizienzstandard des Typgebäudes „Basic“ (siehe Kapitel 7.1.3) zu Grunde gelegt. Eine mögliche Unterstützung des Endenergiebedarfs durch Solarthermieanlagen, die auf 40 % Deckungsgrad für zentrale Trinkwarmwasseranlagen ausgelegt sind, ist für die Betrachtung der Wärmeversorgung in den Werten berücksichtigt.

Tabelle 6-1: Übersicht Wärmeenergiebedarf – Hauptnutzungs-Modus

	Nutzungsart	BGF m ²	absolute installierte Wärme MW	spezif. Endenergie- bedarf inkl. TWW kWh/m ² a	absoluter Endenergie- bedarf inkl. TWW MWh/a
1	Wohnen	743.960	18	24	18.000
2	Andere Nutzungen	492.609	20	41	21.000
	Summe	1.236.569	38		39.000

6.2 Kälteenergiebedarf

Der Kältebedarf während der olympischen Spiele wird an einigen Hotspots sehr hoch sein. Insbesondere das International Broadcast Centre (IBC), das Media Press Centre (MPC), die Olympiahalle sowie das Stadion werden sich deutlich auswirken.

Auf Grund der Nachverdichtung für die Hauptnutzung steigt der absolute Kältebedarf zwar voraussichtlich an, wird sich aber in seiner Verteilung anders darstellen als während der olympischen Spiele.

Der Kältebedarf während der olympischen Spiele entfällt insbesondere auf die temporären Nutzungen des International Broadcast Centre, des Media Press Centre sowie der drei großen Sportstätten.

6.3 Stromenergiebedarf

Während der olympischen Spiele wird der Strombedarf, vergleichbar mit dem Kältebedarf, an einigen Hot Spots besonders hoch sein. Gründe dafür sind der zusätzliche Beleuchtungsbedarf und die zahlreichen Übertragungsanlagen insbesondere im International Broadcast Centre (IBC), dem Media Press Centre (MPC) sowie in den Sportstätten. Hinzu kommen hohe Anforderungen an die Absicherung. Basierend auf Angaben aus vergangenen Olympischen Spielen ist für dieses Cluster eine elektrische Anschlussleistung in der Größenordnung um 35 MW plus Backup Leistung um 25 MW zu erwarten.

Während der Hauptnutzung wird die Gesamtanschlussleistung auf dem Kleinen Grasbrook dann voraussichtlich ca. 20 MW betragen und über das Stromnetz bereitgestellt werden.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

7 Gebäudestandards

Die Entwicklung energetischer Gebäudestandards zielt darauf ab, den Einsatz von Primär- und Endenergie für die geplanten Gebäuden und deren Nutzung unter Berücksichtigung von Aspekten wie Komfort, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz so gering wie möglich zu halten.

In dem neuen Stadtteil wird es eine vielfältige Mischung verschiedener Gebäudearten und -nutzungen geben.

Neben dem überwiegenden Anteil an Wohngebäuden (ca. 65 %) wird es Büros, Hotels, Gastronomie- und Einzelhandelsflächen aber auch Schulen, Kitas, Arztpraxen und weitere Nutzungen geben.

Für alle Nutzungen gelten gleichermaßen hohe Ansprüche an Endenergie- und Primärenergiebedarf.

Die Gebäudestandards werden nach folgenden Kriterien analysiert und bewertet:

1. Energieeffizienz - Die Bewertung der Energieeffizienz erfolgt quantitativ nach DIN V 18599 anhand:
 - Primär- und Endenergiebedarf für
 - Heizung,
 - Kühlung,
 - Warmwasser,
 - Beleuchtung,
 - Hilfsstrom.
 - Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' .
2. Umweltverträglichkeit – Die Bewertung der Umweltverträglichkeit erfolgt quantitativ anhand einer Ökobilanzierung nach ISO 14044.
3. Wirtschaftlichkeit – Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfolgt quantitativ anhand einer Lebenszykluskostenanalyse.

Als Ergebnis sollen Leitlinien für die Gebäude der OlympiaCity definiert werden, die den genannten Anforderungen gerecht werden.

7.1 Energetische Qualität

Für die Entwicklung der verschiedenen Gebäudestandards wurden folgende Eigenschaften diskutiert und definiert.

- Gebäudehülle:
 - Wärmedämmung,
 - Luftdichtheit und Wärmebrücken,
 - Fensterflächenanteil,
 - A/V-Verhältnis,
 - Orientierung.
- Gebäudetechnik:
 - Wärmeerzeugungs-, -verteilungs-, -speicherungs- und -übergabesystem,
 - Warmwasserbereitung,
 - Lüftungstechnik,
 - Kühlung,
 - Beleuchtung,
 - Energiemanagementsysteme,
 - Speichersysteme.
- Erneuerbare Energien:
 - Photovoltaik,
 - Solarthermie.

Die Effekte aus Stromspeichersystemen und Energiemanagementsystemen können mit dem Berechnungsverfahren der DIN V 18599 derzeit noch nicht abgebildet werden, daher werden diese Systeme individuell bewertet.

7.1.1 Energieeffizienzstandards

Die Gebäude in der OlympiaCity werden hohe Anforderungen an Energieeffizienz und Einsatz erneuerbarer Energien erfüllen. Dabei kann im Hinblick auf die heutigen Anforderungen aus dem Umweltzeichen HafenCity, der Hamburger Klimaschutzverordnung sowie der dann voraussichtlich gültigen Energieeinsparverordnung von folgenden energetischen Mindeststandards ausgegangen werden. Die dargestellten Maßnahmen beziehen sich schwerpunktmäßig auf die Anwendung in Wohngebäuden, können aber weitestgehend auch auf andere Nutzungen übertragen werden.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

- Wärmedämmung:** Hoch wärmegeämmte, luftdichte und wärmebrücken-optimierte Gebäudehüllen mit eben solchen Fenstern und Verglasungen.
- Heizung:** Niedertemperaturheizsysteme mit niedrigen Vorlauftemperaturen.
- Warmwasser - Wohnungsstationen:** Einsatz von Warmwasserstationen im Durchlaufprinzip direkt in den Wohnungen für niedrigere Systemtemperaturen, die nicht nur für weniger Wärmeverluste sorgen, sondern sich auch auf die Auslegung der Wärmeerzeugung positiv auswirken. Positiv ist auch, dass keine Zirkulationsleitungen mehr gebraucht werden, da die Wohnungsstation direkt an das Heizungsnetz angeschlossen ist und die Wasserhygiene kann ohne die sonst übliche thermische Desinfektion gewährleistet werden.
- Beleuchtung:** LED-Beleuchtungen mit intelligenter Steuerung (Tageslicht, Präsenz).
- Hilfsenergie:** Hocheffiziente und teilweise intelligente Pumpen, Ventilatoren, Antriebe etc. für die haustechnischen Anlagen.
- Kontrollierte Lüftung:** Mit einer kontrollierten Lüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung kann ein immer noch großer Anteil des Heizenergieverbrauchs, der Lüftungswärmeverlust, deutlich reduziert werden. Auch die Praxis zeigt immer wieder, dass die in der Bedarfsberechnung angesetzten Luftwechselraten für Fensterlüftung in der Realität deutlich überschritten werden.
- Photovoltaik:** Anteilige Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen (PVA) auf dem Dach und ggf. an den Fassaden je nach technischer und kostenmäßiger Entwicklung mit Batteriespeicher zur Unterstützung des PV-Eigenstromanteils.
- Solarthermie:** Nutzung der Solarthermie für Gebäude mit zentraler Warmwasserbereitung (Deckungsanteil bis 40 %); eine ausführliche Erläuterung findet sich in Kapitel 8.1.3.1.
- Energiemanagement/ Smart Metering:** Wichtiger Bestandteil der Gebäudestandards wird ein intelligentes Energiemanagementsystem sein. Eine kontinuierliche Betriebsüberwachung unterstützt einen bedarfsgerechten Anlagenbetrieb. Smart Meter ermöglichen die zunehmende Nutzung von variablen Energietarifen. Dazu gehören auch Elektrofahrzeugladestationen, die in die Smart Grid Steuerung eingebunden sind. Fallende Tarife z. B. zur Mittagszeit bei hoher solarer Einstrahlung führen zum automatischen Start der Fahrzeugladung.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Einen hohen Einfluss auf die Energieeffizienz von Gebäuden haben weiterhin der Fensterflächenanteil und deren Orientierung sowie die Kompaktheit der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (A/V-Verhältnis). Hier sind in der späteren architektonischen Planung möglichst gute Kompromisse zwischen einem hohen Maß an Kompaktheit und trotzdem nicht zu tiefen Räumen, die eine weitestgehend natürliche Belichtung ermöglichen, zu finden.

Gleiches gilt für große Fensterflächenanteile und intelligente Verschattungssysteme, um maximal nutzbare solare Warmegewinne und hohe Tageslichtquotienten zu erzielen, ohne dabei zu hohe Kühllasten außerhalb der Heizperiode zu erzeugen.

Die Umsetzung einer weitestgehend CO₂-neutralen Wärmeversorgung wird im Kapitel 8 ausführlich untersucht und bewertet.

7.1.2 Typegebäude Berechnungsmodell

Im Rahmen dieser Untersuchung sollen die Energieeffizienzstandards hinsichtlich Ökologie und Ökonomie bewertet werden. Dazu sollen an einem konkreten Berechnungsmodell die zuvor genannten Maßnahmen quantitativ untersucht und bewertet werden. Im Ergebnis sollen daraus Aussagen zu den ökologisch und ökonomisch empfehlenswerten Gebäudestandards abgeleitet werden. Dafür wurde ein Wohngebäudeberechnungsmodell, das gewissermaßen als typisches Wohngebäude bezeichnet werden kann, entwickelt. Im Folgenden sind die wichtigsten Eckdaten dieses Typegebäudes kurz beschrieben.

Das Typ-Gebäude weist eine Nettogrundfläche von 11.560 m² und 7 oberirdische Geschosse auf und orientiert sich an funktionalen Wohnungsbau-Geometrien, wie sie beispielsweise in der heutigen HafenCity und auch anderswo zu finden sind.

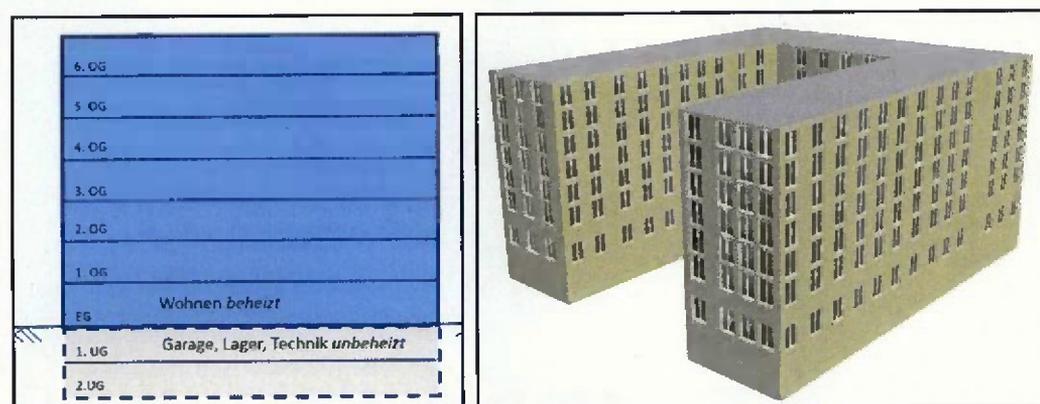


Abbildung 7-1: Darstellung des Berechnungsmodells

Die folgende Tabelle stellt die wichtigsten Zahlen zur Kubatur des Typebäudes dar.

Tabelle 7-1: Kennzahlen des Berechnungsmodells

Flächen und Rauminhalte		
Anzahl der Geschosse	-	7
Bruttogeschossfläche (BGF) o.i.	m ²	13.136
Nettogeschossfläche (NGF) o.i.	m ²	11.560
A/V-Verhältnis	-	0,25
Wohnfläche (WF)	m ²	8.092
Geschosshöhe o.i.	m	3,5
Lichte Raumhöhe o.i.	m	2,8
Bruttorauminhalt (BRI) o.i.	m ³	45.977
Grundfläche	m ²	1.877
Fassadenfläche inkl. Fenster	m ²	6.632
– opake Außenwandfläche	m ²	3.995
– transparente Außenwandfläche (Fenster)	m ²	2.637
Anzahl der Wohneinheiten	-	116

7.1.3 Definition der Gebäudestandards

Im Rahmen der Bearbeitung wurden zwei energetische Gebäudestandards entwickelt und ein „Referenz“-Gebäude definiert:

1. „Referenz“-Gebäude

Das „Referenz“-Gebäude orientiert sich hinsichtlich seiner Anforderungen an Wärmeschutz und Primärenergiebedarf an den aktuellen Kriterien des HafenCity Umweltzeichens in „Gold“. Dieser Standard ist annähernd vergleichbar mit dem von der KfW geförderten „Effizienzhaus 55“-Standard. Es dient dazu, den Bezug der neu entwickelten Energiestandards zum heutigen „HafenCity-Umweltzeichen-Gold“-Standard herstellen zu können.

	H'T W/(m²K)	Q _p kWh/m²a
KfW-Effizienzhaus 55	70 % H'T _{Ref} = 0,38	45 % Q _{p,Ref} = 25
„Referenz“-Gebäude*	0,36	10

*Bilanzierung nach EnEV-Kriterien

2. Olympiahaus „Basic“

Das Olympiahaus „Basic“ orientiert sich hinsichtlich seiner Anforderungen an Wärmeschutz an den aktuellen Kriterien des „KfW-Effizienzhauses 40“ und weist damit einen ca. 15% höheren Wärmeschutzstandard auf als das „Referenz“-Gebäude. Im Hinblick auf den Primärenergiebedarf verfügt das Gebäude zusätzlich zum „Referenz“-Gebäude über Solar- und Photovoltaikanlage. Die Wärmeversorgung ist nahezu CO₂-neutral (Primärenergiefaktor Wärme PEF = 0,2). Der Stromaufwand für Beleuchtung, Lüftung und sonstige Hilfsenergien wird durch energieeffiziente Technologien so gering wie möglich gehalten. Streng nach EnEV-Bilanzierungskriterien, also ohne Graue Energie, Beleuchtung und Nutzerstrom, erzeugt bereits dieses Gebäude mehr Primärenergie als es bedarf.

	H'T W/(m²K)	Q _p kWh/m²a
KfW-Effizienzhaus 40	55 % H'T _{Ref} = 0,31	40 % Q _{p,Ref} = 21,5
„Basic“-Gebäude*	0,31	-26

*Bilanzierung nach EnEV-Kriterien

3. Olympiahaus „Advanced“

Das Olympiahaus „Advanced“ ist ein Gebäude, das sich hinsichtlich seiner Anforderungen an den Wärmeschutz an den aktuellen Kriterien des „KfW-Effizienzhauses 40 plus“ orientiert. Im Hinblick auf die Anlagentechnik und den Primärenergiebedarf geht das Gebäude deutlich über diese Anforderungen hinaus. Das „Advanced“-Gebäude verfügt über einen zusätzlichen Anteil an Solarthermie- und Photovoltaikanlagen mit Batteriespeicher und wird darüber hinaus mit nahezu CO₂-neutraler Wärme versorgt. Der Stromaufwand für Beleuchtung, Lüftung und sonstige Hilfsenergien wird durch energieeffiziente Technologien so gering wie möglich gehalten.

Eine Übersicht über den Energieeffizienzstandard der drei Gebäude gibt Tabelle 7-2.

	HT W/(m ² K)	Q _p kWh/m ² a
KfW-Effizienzhaus 40	55 % H _{T,Ref} = 0,31	40 % Q _{p,Ref} = 21,5
„Advanced“-Gebäude*	0,24	-41

*Bilanzierung nach EnEV-Kriterien

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Tabelle 7-2: Übersicht über die Energieeffizienzstandards der Typgebäude

	„Referenz“	„Basic“	„Advanced“
Energiebezugsfläche		11.560 m ²	
Bruttogeschossfläche (oberirdisch)		13.140 m ²	
Fensterflächenanteil gemäß EnEV		40 %	
A/V-Verhältnis		0,25	
A Wärmeschutz			
H _T -Anforderung	70 % H _{T,Ref} erfüllt	55 % H _{T,Ref} erfüllt	55 % H _{T,Ref} erfüllt
Spezifischer Transmissionswärmeverlust H _T -IST	0,35	0,31	0,24
Spezifischer Transmissionswärmeverlust H _T -SOLL	0,56	0,56	0,56
Mittlere Wärmedämmung – opake Bauteile	0,15 W/m ² K	0,13 W/m ² K	0,10 W/m ² K
Mittlere Dämmstärke	18 cm WLG 030	21 cm WLG 030	28 cm WLG 030
Fenster – Wärmedurchgangskoeffizient	0,90 W/m ² K	0,75 W/m ² K	0,60 W/m ² K
Wärmebrücken	0,05 W/m ² K	0,05 W/m ² K	0,03 W/m ² K
Dichtigkeit	n ₅₀ ≤ 1,5 h ⁻¹	n ₅₀ ≤ 0,6 h ⁻¹	n ₅₀ ≤ 0,6 h ⁻¹
Gebäudetechnik			
Wärmeerzeugungssystem primär	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme
Wärmeerzeugungssystem sekundär	keine Vorgaben	Solarthermie	Solarthermie
Wärmespeichersystem	keine Vorgaben	Solar-WW-Speicher	Solar-WW-Speicher
Wärmeübergabesystem	NT-Systeme	NT-Systeme	NT-Systeme
Warmwasser	Wohnungsstationen	Wohnungsstationen	Wohnungsstationen
Lüftung	Zu-/Abluftanlage	Zu-/Abluftanlage	Zu-/Abluftanlage
– Lüftungsart	Kontrollierte Lüftung	Kontrollierte Lüftung	Kontrollierte Lüftung
– Wärmerückgewinnungsgrad	> 80 %	> 80 %	> 80 %
Kälteversorgung	keine Vorgaben	keine Vorgaben	keine Vorgaben
Beleuchtung	keine Vorgaben	keine Vorgaben	keine Vorgaben
Stromversorgungssystem primär	Stromnetz	Stromnetz	Stromnetz
Stromversorgungssystem sekundär	keine Vorgaben	keine Vorgaben	PV (ca.100 % bilanziell)
Stromspeicher	keine Vorgaben	keine Vorgaben	Batterie - ca. 450 kWh
Photovoltaik – Belegungsgrad	-	21 % Dachfläche	48 % Dachfläche 29 % opake S- Fassade
Solarthermie – Belegungsgrad	-	5 % Dachfläche	11 % Dachfläche

7.1.4 Ergebnisse der Energiebilanz

In Ergänzung zur Ermittlung der End- und Primärenergiebedarfswerte auf Basis der EnEV wird der Elektroenergiebedarf für die Wohnungsbeleuchtung und für die Haushaltsgeräte und -prozesse mitberücksichtigt. Dafür wird ein pauschaler Endenergiebedarf von 22 kWh/m²a bzw. 2.200 kWh/a je Wohneinheit angesetzt.

Folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der überschlägigen EnEV-Bilanz für die Typwohngebäude.

Tabelle 7-3: Energiebedarf der Typgebäude

		„Referenz“	„Basic“	„Advanced“	
B Energiebedarf					
1	Endenergiebedarf	kWh/m²a	59	32	20
	- Heizen	kWh/m ² a	16	6	3
	- Warmwasser (thermisch)	kWh/m ² a	18	18	18
	- Solarthermie für Heizung und TWW	kWh/m ² a		-4	-9
	- Lüften (Hilfsenergie Strom)	kWh/m ² a	2	2	2
	- Hilfsenergie Pumpenstrom	kWh/m ² a	1	1	1
	- Kühlbedarf	kWh/m ² a			
	- Nutzerstrom inkl. Beleuchtung	kWh/m ² a	22	22	22
	- Photovoltaik	kWh/m ² a	0	-12	-24
	Primärenergiefaktor				
	- Energieträger Heizen	-	0,2	0,2	0,2
	- Energieträger Warmwasser	-	0,2	0,2	0,2
	- Energieträger Strommix	-	2,4	2,4	2,4
	- Energieträger EE-Strom (Verdrängung)	-	2,8	2,8	2,8
2	Primärenergiebedarf	kWh/m²a	99	63	50
	- Graue Energie (Herst./Nutzung/Ents.)	kWh/m ² a	35	36	38
	- Heizen	kWh/m ² a	3	1	1
	- Warmwasser	kWh/m ² a	4	4	4
	- Solarthermie	kWh/m ² a	0	-1	-2
	- Lüften	kWh/m ² a	5	5	4
	- Kühlen	kWh/m ² a			
	- Nutzerstrom inkl. Beleuchtung	kWh/m ² a	53	53	53
	- Photovoltaik	kWh/m ² a	0	-34	-67

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
 Stand: 21.09.2015

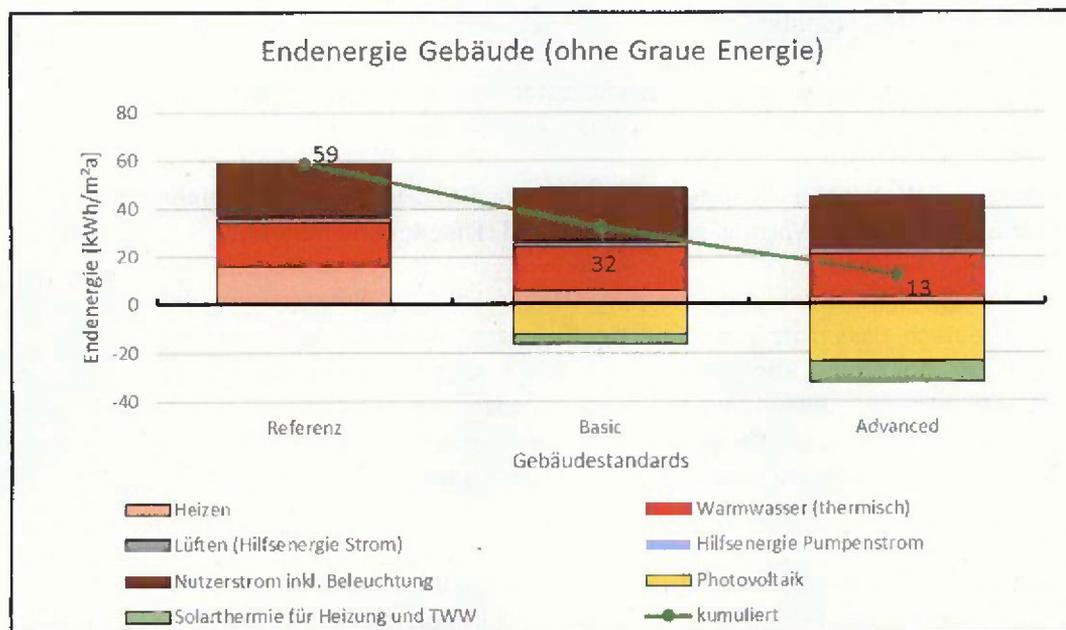


Abbildung 7-2: Vergleich der Endenergiebilanz für die Typgebäude

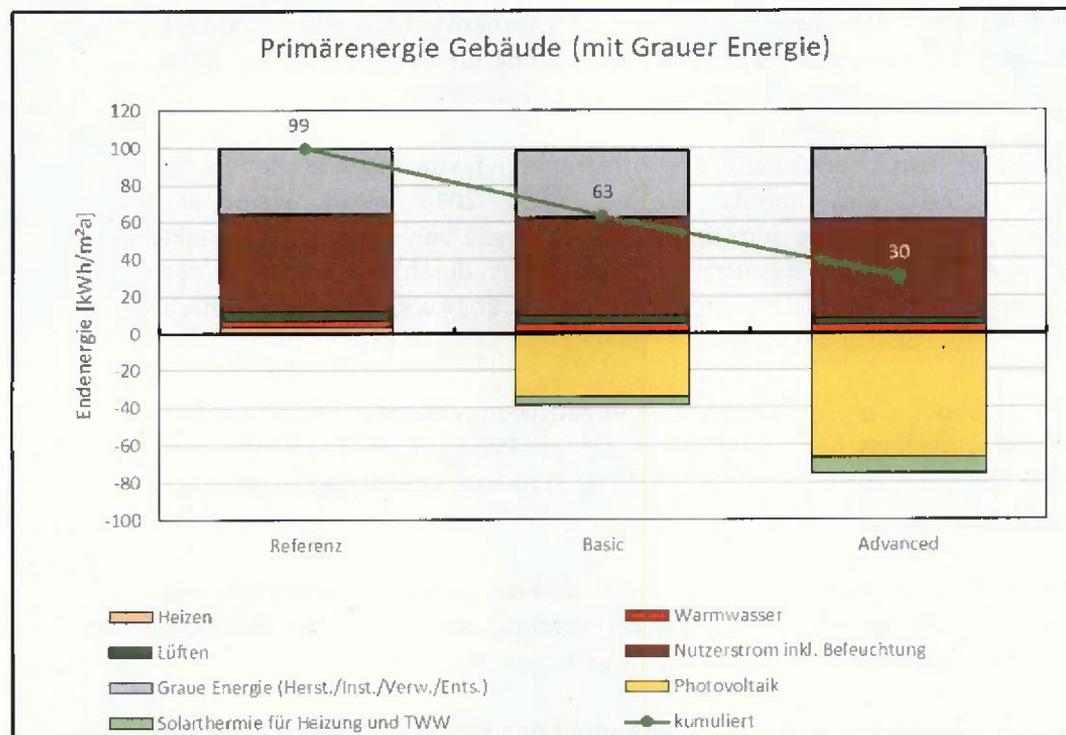


Abbildung 7-3: Übersicht über die Primärenergiebilanz der Typgebäude

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

7.1.5 Fazit – energetische Qualität

Im Hinblick auf die Endenergie wird der Passivhausstandard bzw. ein Nahezu-Null-Heizenergiestandard bis 2024 voraussichtlich Stand der Technik sein.

Gemäß EnEV-Bilanz für Wohngebäude erzeugt bereits das „Basic Haus“ jährlich mehr Primärenergie als es für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Hilfsenergien benötigt.

Bei der Bewertung der Gesamtenergiebilanz inkl. Grauer Energie, Nutzerstrom und Beleuchtung wird deutlich, dass trotz hoher Energieeffizienzstandards ein Null- oder gar ein Plusenergiehaus für ein kompaktes mehrgeschossiges Wohngebäude in konventioneller Bauweise wirtschaftlich und städtebaulich bei heutigen Rahmenbedingungen noch eine große Herausforderung darstellt. Bei konsequenter Verfolgung dieses Ziels über alle Gewerke und rechtzeitiger Einbindung aller Beteiligten in eine integrale Planung, erscheint dies jedoch möglich.

Die größten Anteile entfallen auf die Graue Energie und den Nutzerstrom. Beide zusammen machen in der Bilanz fast 90 % Anteil an der Primärenergie aus.

Neben einer effizienten Anlagentechnik, guter Wärmedämmung und Nutzung von solarer Strahlungsenergie muss also zusätzlich der Anteil an Grauer Energie, der bei konventioneller Bauweise sehr hoch ausfällt, durch alternative Bauweisen reduziert werden. Im Kapitel 7.2 werden Möglichkeiten untersucht und aufgezeigt, den nicht erneuerbaren Primärenergieanteil der Grauen Energie zu reduzieren.

Beim Strom stellt der heute noch ungünstige Primärenergiefaktor einen großen Hebel dar. Ein erster Schritt wird bereits mit der EnEV 2016 getan, wenn der Primärenergiefaktor für Strom aus dem deutschen Stromnetz von 2,4 auf 1,8 gesenkt wird. Eine weitere Reduzierung des Primärenergiefaktors durch die Erhöhung des Erneuerbaren-Energien-Anteils am deutschen Strom-Mix bis 2024 wird als wahrscheinlich bewertet.

Das „Advanced“-Gebäude weist den höchsten energetischen Standard auf und kann in Verbindung mit einer ökologischen Bauweise ein „echtes“ Plusenergiehaus im Jahr 2024 darstellen. Unter energetischen Aspekten sollte dieser Standard für Wohngebäude in der OlympiaCity gefördert werden.

Grundsätzlich müssen aber auch zukünftig nicht alle Gebäude „echte“ Plusenergiehäuser sein. Wichtig ist viel mehr die Betrachtung und Bilanzierung aller anfallenden Energien, um die Differenz beziffern und off-site regenerativ erzeugen zu können.

Das einfacher zu realisierende „Basic“-Haus sollte somit den Mindeststandard darstellen und die negative Bilanz im Bereich Nutzerstrom und Graue Energie off-site ausgeglichen werden.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

7.2 Ökologische Qualität

7.2.1 Ökobilanz

Die Ökobilanz ist ein Instrument zur Beschreibung von Systemen, die die Umweltbelastung bestimmen und ist in der DIN EN ISO 14040 sowie DIN EN ISO 14044 beschrieben. Sie beschreibt die potentiellen Auswirkungen auf die Umwelt und den Verlauf eines Produktes in seinem Lebenszyklus von der „Wiege bis zur Bahre“ (cradle-to-grave).

Die Ökobilanz von Gebäuden ist demnach die systematische Analyse der Umweltwirkungen von Baustoffen (Bauprodukten) während ihres Lebensweges – die Phasen Produktion, Errichtung, Nutzung, Entsorgung bzw. Rezyklierung sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. die Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe) werden berücksichtigt.

Im Rahmen der Ökobilanz werden alle Baustoffe eines Gebäudes massenmäßig erfasst und mit ihren spezifischen Ökobilanz-Datensätzen aus der Ökobau.dat multipliziert. Das Aufsummieren aller Bauteilwerte ergibt (vereinfacht dargestellt) die Ökobilanz des Gebäudes.

Ziel der Ökobilanz im Rahmen dieser Untersuchung ist es,

- die **Graue Energie**, also den Anteil der nicht erneuerbaren Primärenergie der in den verwendeten Baustoffen enthalten ist, und
- die **Umweltauswirkungen**, die auf Emissionen in Luft, Wasser und Boden zurückzuführen sind, wie beispielweise die globale Erwärmung, die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht, der Sommersmog oder die Überdüngung von Gewässern und Böden,

in Abhängigkeit der verschiedenen Energieeffizienzstandards und verwendeten Baumaterialien, zu qualifizieren und zu quantifizieren.

Ein ökobilanzieller Vergleich von Gebäuden ist nur sinnvoll und belastbar, wenn die Randbedingungen der Berechnungsmodelle sowie konstante und variable Einflussfaktoren klar definiert werden. Unter Beachtung dieser Prämisse wurden am Beispiel des entwickelten Typgebäudes und Energieeffizienzstandards die Auswirkungen aus

- zunehmenden Energieeffizienzstandard (zunehmende Dämmstoffstärke),
- zunehmender technischer Ausstattungsgrad (PV- und Solarthermiesysteme, RLT-Anlagen, etc.) bei sonst gleichbleibenden Baumaterialien und
- verschiedenen Baukonstruktionen bei gleichbleibenden Energieeffizienzstandard

analysiert.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Im Ergebnis werden Aussagen über den Einfluss der untersuchten Modifikationen auf die ökologische Qualität der Typgebäude getroffen.

Dazu wurde in dieser Konzeptstudie das vereinfachte Ökobilanzverfahren gemäß den Anforderungen des Gebäudezertifizierungssystems DGNB – Neubau Wohngebäude Version 2015 – unter Zuhilfenahme der Ökobau.dat-Datensätze Version 2011 angewendet. Die Systemgrenzen und der methodische Anwendungsbereich sind in den Kriterien ENV1.1 und ENV2.1 des DGNB-Systems beschrieben.

Die Herstellung der Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen, lufttechnischen und solarthermischen Anlagen wurde im Rahmen dieser Studie nur überschlägig über Erfahrungswerte berücksichtigt. Die Herstellung der Photovoltaik-Anlagen wurde nicht zum Ansatz gebracht, da hierfür bislang keine geeigneten Ökobilanzdaten vorliegen.

7.2.2 Vergleich der Energieeffizienzstandards

Beim Vergleich der verschiedenen Energieeffizienzstandards liegt die Annahme zugrunde, dass das „typische“ Wohngebäude in konventioneller Stahlbetonbauweise errichtet wird. Demnach wurden auf Grundlage der energetischen und bauphysikalischen Randbedingungen ein „Referenz“-Gebäude mit Referenzbauteilen im Bereich Fassade/Außenwand, Fenster, Geschossdecke und Dach sowie Innenwand entwickelt, die in jedem Gebäudemodell gleichermaßen, im Hinblick auf die verwendeten Materialitäten, zum Einsatz kommen.

Im ersten Schritt wurden als variable Faktoren

- die Stärke der Wärmedämmung geändert sowie
- ein erhöhter Einsatz an Gebäudetechnik angesetzt.

Vorgenannte Änderungen haben Einfluss auf die Umweltwirkungen und damit verbunden auf den Endenergiebedarf für Wärme und Strom als Einflussgrößen auf den Ressourcenverbrauch in der Nutzungsphase.

Die Auswirkungen aus der Veränderung des Technikeinsatzes wurden für die zentralen Wärme-, Kälte- und lufttechnischen Anlagen auf der Ebene der Erzeugung berechnet. Eine Berechnung für die PV-Technik konnte auf Grund fehlender Datensätze in der Ökobau.dat derzeit noch nicht erfolgen.

Ergebnis

Im Vergleich der Konstruktionsphasen (Herstellung, Erhalt und Rückbau) für die Energieeffizienzstandards „Referenz“, „Basic“ und „Advanced“ zeigt sich deutlich, dass die Umweltwirkungen (nachstehend am Beispiel des GWP dargestellt) als auch der Ressourcenverbrauch (Summe aus nicht erneuerbarer und erneuerbare Primärenergie) mit zunehmender energetischer Optimierung des Gebäudes ebenfalls zunehmen. Ein Zuwachs von bis zu 6 % lässt sich auf verstärkte Dämmung und technischen Ausstattungsgrad zurückführen. Der Einfluss des technischen Ausstattungsgrad ist hierbei jedoch von untergeordneter Bedeutung (< 1 %).

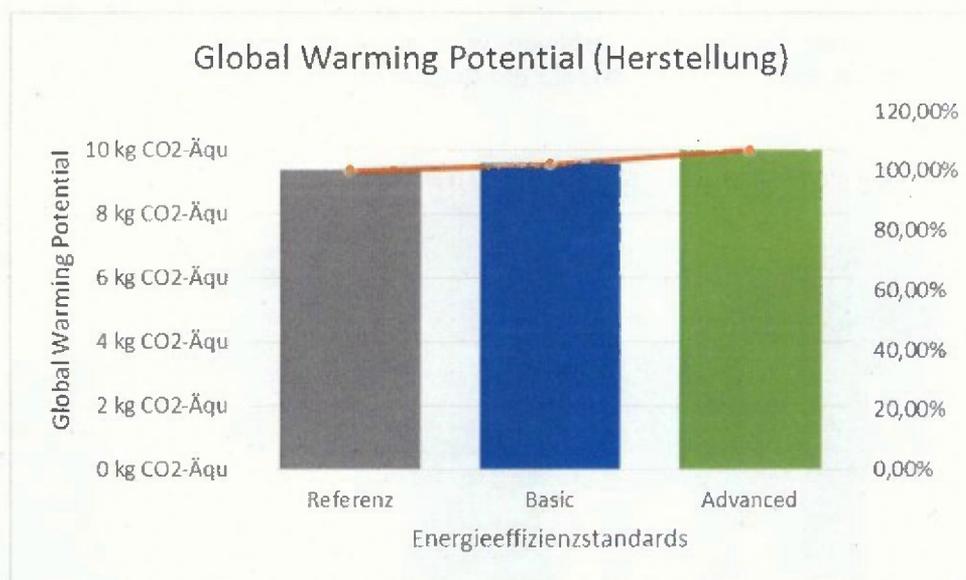


Abbildung 7-4: Vergleich von GWP Gesamt in der Herstellungsphase

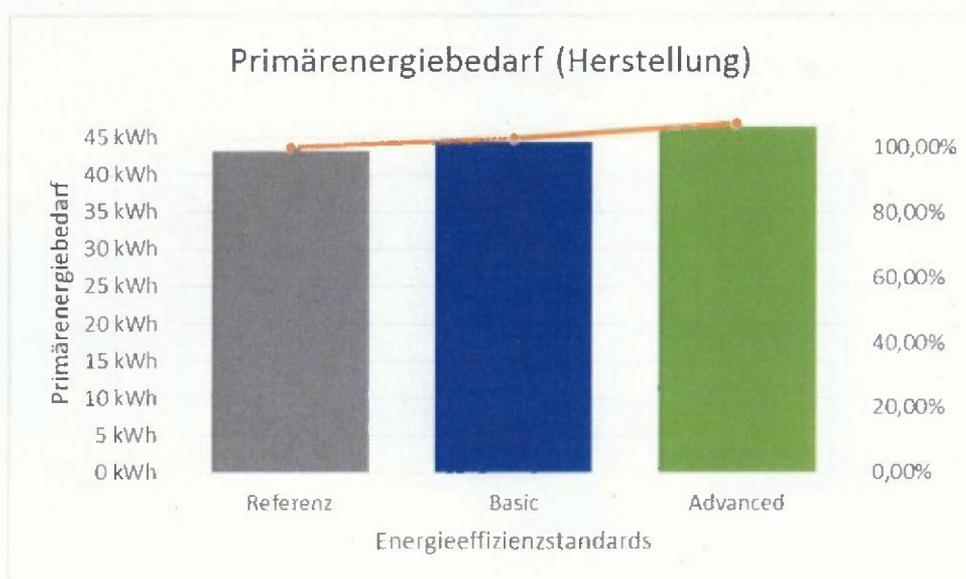


Abbildung 7-5: Vergleich von Primärenergiebedarf Gesamt in der Herstellungsphase

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Betrachtet man neben der Konstruktions- auch die Nutzungsphase verändern sich die Ergebnisse zugunsten der energieoptimierten Gebäude. Für die Ökobilanzwerte des Strombedarfs wird in der Regel der deutsche Strom-Mix als Basis verwendet. Übliche Ökostromanteile sind darin berücksichtigt, jedoch überwiegen die nicht regenerierbaren Anteile. Das hier betrachtete „Advanced“-Gebäude wird bilanziell zu 100 % mit erneuerbarem Strom aus gebäudebezogenen Anlagen (Photovoltaik) versorgt. Demzufolge fallen in der Nutzungsphase des Gebäudes bezogen auf Strom keine Umweltwirkungen und Ressourcenverbräuche an. Hierbei wurde vorausgesetzt, dass die hierfür erforderliche PV-Technik über den Lebenszyklus des Gebäudes durchgängig zur Verfügung steht.

Mit zunehmender energetischer Qualität der Gebäude wird auch der Bedarf an Heizenergie geringer. Dies wirkt sich ebenfalls positiv auf das Gesamtergebnis aus.

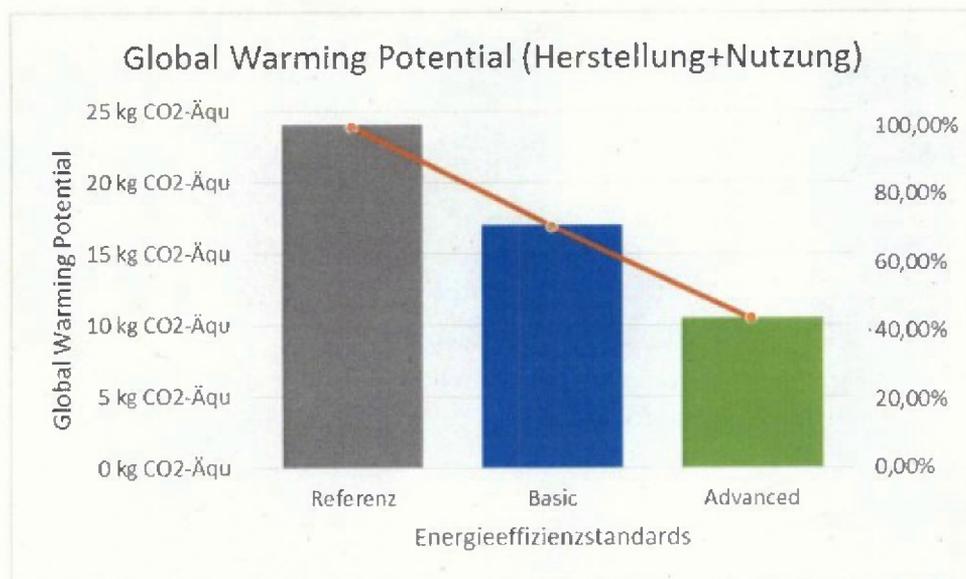


Abbildung 7-6: Vergleich von GWP-Gesamt in der Herstellungsphase + Nutzungsphase

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

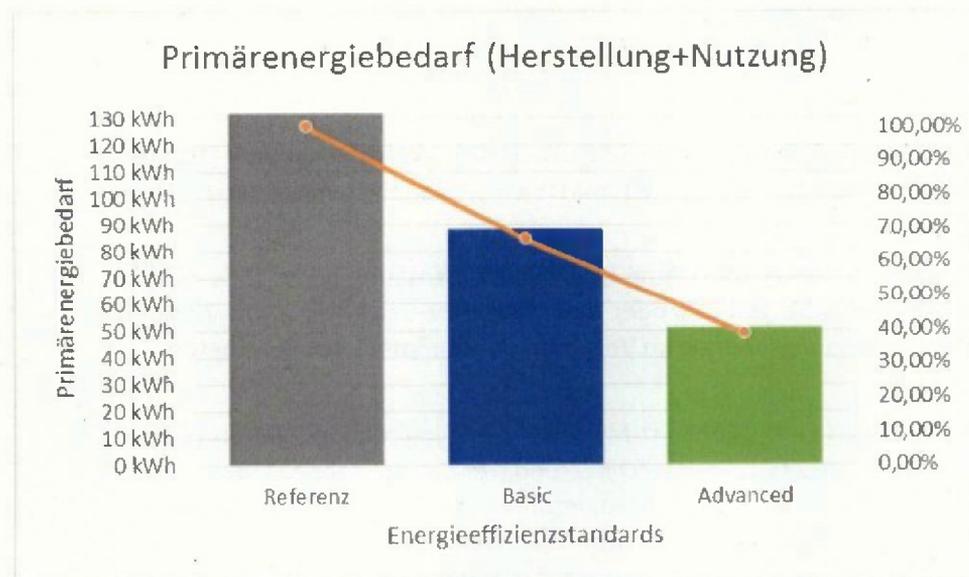


Abbildung 7-7: Vergleich von Primärenergiebedarf Gesamt in der Herstellungsphase + Nutzungsphase

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

7.2.3 Vergleich der Materialwahl

7.2.3.1 Baukonstruktion

Eine alternative Konstruktionsweise für Tragende Bauteile wie Geschossdecken, Dach und Außenwände hat auf Grund des Anteils an Baumasse einen signifikanten Einfluss auf die ökologische Qualität.

So lassen sich beispielsweise mit einer Stahlbeton-Leichtbaukonstruktion bis zu 25 %, mit einer Stahl-Holz-Hybridbauweise bis zu 60 % oder einer Nur-Holz-Bauweise bis zu 70 % an nicht regenerierbarer Herstellungenergie im Vergleich zu herkömmlicher Stahlbeton-Bauweise einsparen.

Dies zeigt z. B. der Vergleich von zwei Ökobilanz-Modellen des Typgebäudes „Referenz“, die wir im Rahmen dieser Konzeptstudie berechnet und verglichen haben. Die erste Variante berücksichtigt eine herkömmliche Stahlbeton-Bauweise mit Mineralwolle-Dämmung und hinterlüfteter Klinker-Vorsatzschale, die zweite eine Holzbauweise in näherungsweise Anlehnung an das Projekt „Woodcube“ in Hamburg-Wilhelmsburg.

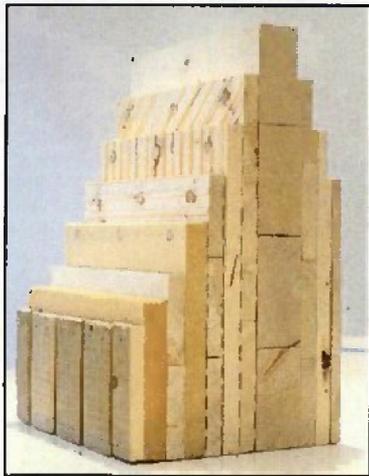


Abbildung 7-8: Außenwandaufbau des Woodcube Hamburg (Quelle: White Paper Wood Cube - IBA Hamburg)

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

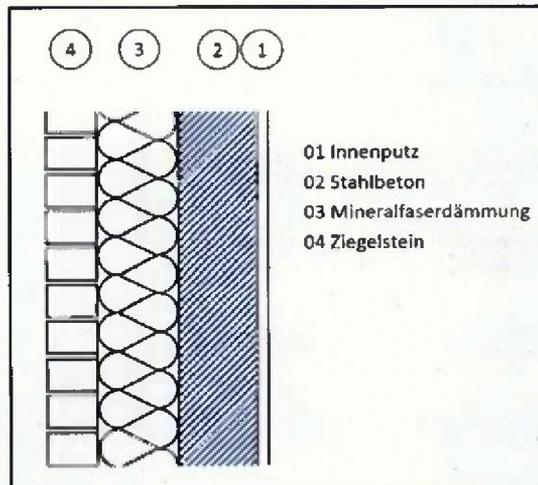


Abbildung 7-9: Außenwandaufbau des Typgebäudes „Basic“ in Stahlbeton-Bauweise

In beiden Berechnungsmodellen wurde von gleichen Flächenansätzen, nahezu gleichen bauphysikalischen Kennwerten (U-Werten) sowie vereinfacht auch gleichen Nutzungsrandbedingungen (Endenergie Wärme und Strom) ausgegangen. Die Ausstattung (z. B. Technik) wurde bei dieser Berechnung in beiden Modellen aus Vereinfachungsgründen nicht berücksichtigt, da der Einfluss auf die Ergebnisse nur sehr gering ist.

Vorstehendes Bild zeigt den zu Grunde gelegten Außenwand- und Geschossdeckenaufbau beider Konstruktionen.

Emissionsbedingte Umweltwirkungen

Die Auswertung am Beispiel der Indikatoren Treibhauspotential, Ozonabbaupotential, Versauerungspotential und Eutrophierungspotential zeigen, dass der Holzbau deutliche Vorteile in Bezug auf die emissionsbedingte Beeinflussung der Umwelt hat.

Allein der Indikator Treibhauspotential (GWP) wird im Wesentlichen durch die Prozesse in der Herstellphase definiert. Das GWP für Stahlbeton beträgt in diesem Fall das 35-fache des GWP für das in Holzbauweise errichtete Gebäude. Hier macht sich sehr stark bemerkbar, dass Holzwerkstoffe (z. B. leimfreies Brettsperrholz, Vollholz-Lattung und Vollholz-Schalung, Holzweichfaser-Dämmung) als annähernd CO₂-neutral einzustufen sind, hingegen Steine (Vorsatzklinker), Stahlbeton und Kunstschäumstoffe wie XPS sowie Mineralwolle durch Brennvorgänge, das Aufschäumen durch Treibmittel sehr viel an CO₂ freisetzen.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
 Stand: 21.09.2015

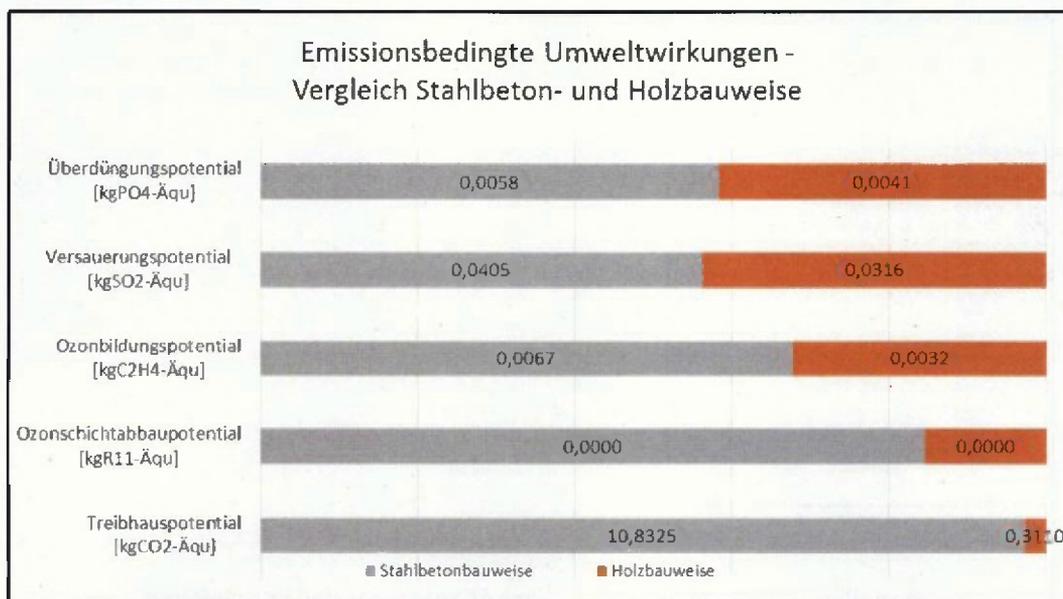


Abbildung 7-10: Vergleich der emissionsbedingten Umweltwirkungen Typgebäude „Basic“ in StB- und Holzbauweise

Die Holzbaukonstruktion schneidet vor allem deswegen günstigster ab, weil Holz als nachwachsender Rohstoff geringe Produktionsenergie erfordert und CO₂ speichert bzw. am Ende des Gebäude-Lebenszyklus die größten Energiegutschriften durch dessen thermische Verwertung erhält. Die Stahlbetonbauweise benötigt bei dem zu Grunde gelegten Modell mehr als dreimal so viel fossile Energie wie die Holzbauweise.

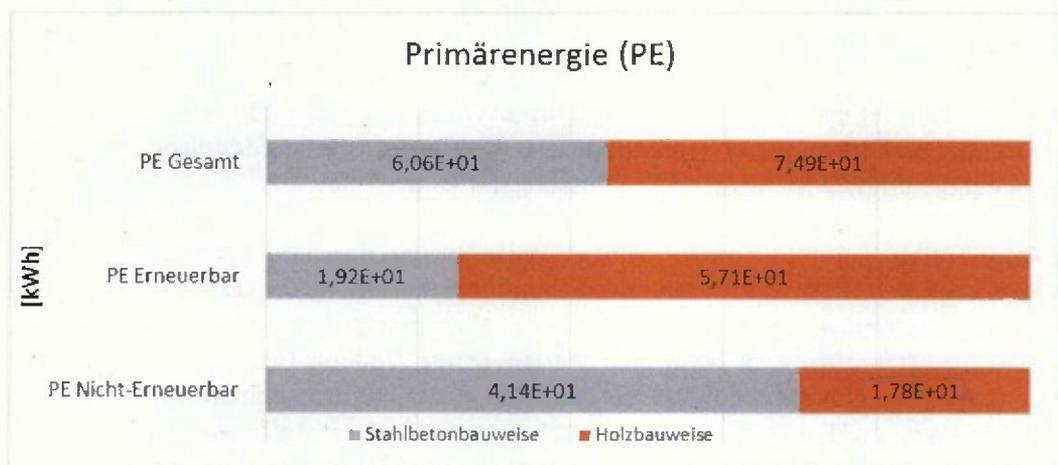


Abbildung 7-11: Vergleich Primärenergieeinsatz (gesamt/erneuerbar/nicht erneuerbar) für das Typgebäude „Basic“ in StB- und Holzbauweise

Bei allen ökologischen Argumenten für eine Holzbaukonstruktion sind im Einzelfall immer auch die technischen Aspekte wie Brandschutz, Schallschutz, Wärmeschutz sowie Statik zu berücksichtigen. Ein nicht unmaßgeblicher Aspekt ist daneben die Wirtschaftlichkeit, die bei zukünftigen Betrachtungen bewertet werden muss. Dazu zählen neben den

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Herstellungs- und Nutzungskosten auch Aspekte der Bauzeit, Flächeneffizienz, Werthaltigkeit und Lebensdauer.

Sollte ein oder mehrere, der zuvor genannten Aspekte eine reine Holzbauweise problematisch erscheinen lassen, stellt die Holz-Hybridbauweise eine konstruktive Alternative dar. Ein Verbund zwischen Beton und Holz ist eine wirkungsvolle Lösung für Balken- oder Brettstapeldecken mit hohen Beanspruchungen und Spannweiten, für Brandschutzwände und Aufzugstürme. Durch die Nutzung der Verbundkonstruktion können Tragfähigkeit nebst Steifigkeit erhöht werden. Gleichzeitig erleichtern sich beim Einsatz dieser Konstruktionen im Vergleich zur Holzkonstruktion die Schall- und Brandschutzeigenschaften der Bauteile.

Aber auch als ökologische und wirtschaftliche Alternative zu den vorher untersuchten Konstruktionsarten Stahlbeton und Holzbau können sich Hybridkonstruktionen wie z. B. die Holz-Beton-Verbundbauweise eignen.

In einer ökobilanziellen Vergleichsbetrachtung einer konventionellen Stahlbetondecke mit mehreren Hybrid-Deckentypen zeigt sich, dass ein Vergleich auch aus umweltbezogener Sicht sinnvoll ist. Dabei lassen sich folgende Ergebnisse aus ökologischer Sicht ableiten:

- Aus primärenergetischer Sicht (Primärenergie nicht erneuerbar) ist eine Holz-Beton-Verbund-Rippendecke optimal.
- Auch im Hinblick auf das Treibhauspotential schneiden die Hybridbauweisen am besten ab.

Das bessere Abschneiden der Hybridbauweisen gegenüber der konventionellen Stahlbetonbauweise ist insgesamt gesehen wiederum dem höheren Anteil des regenerativen Baustoffes (Holz) und der geringeren Masse von Holz gegenüber Beton und Stahl zuzuschreiben.

Die Hybridbauweise bringt mit einer gemittelten Masse von etwa 800 kg/m² die doppelte Masse gegenüber den übrigen Bauteilen in die Bilanzierung mit ein.

Eine ausführliche Übersicht zu der Untersuchung befindet sich in Anlage 1.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

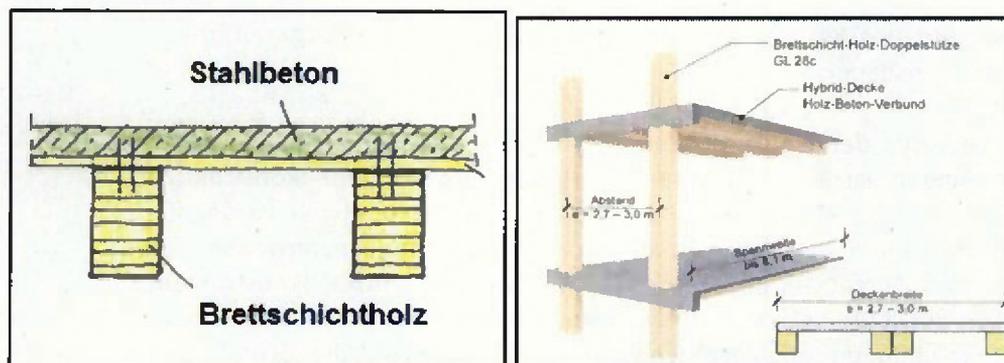


Abbildung 7-12: Holz-Beton-Verbund-Rippendecken

7.2.3.2 Dämmstoffe

Der Einfluss von Dämmstoffen auf die Ökobilanz ist verglichen, beispielsweise mit der Tragkonstruktion, gering. In der aktuellen Ökobilanz des Typgebäudes „Referenz“ macht die Dämmung ca. 18 – 20 % an der gesamten nicht erneuerbaren Primärenergie aus.

Hinzu kommt, dass aus Gründen der technischen Umsetzbarkeit die Auswahlmöglichkeiten alternativer Dämmstoffe i.d.R. sehr begrenzt sind.

Insbesondere im mehrgeschossigen Wohnungsbau kommen aus Brandschutz- und Schallschutzgründen oder konstruktionsbedingt hinsichtlich deutlich größerer Aufbauhöhen nur wenige alternative Materialien zum Einsatz.

Beim ökologischen Vergleich von Dämmstoffen ist allein der Ansatz, einzelne Dämmmaterialien pro Gewicht, Volumen oder Fläche zu bilanzieren, nicht ausreichend. Dämmstoffe sind immer im Kontext ihrer spezifischen Leistungsfähigkeit sowie im System, in das sie eingebaut werden, zu untersuchen.

Die Erklärung findet sich darin, dass um ein möglichst hohes Maß an Wärmedämmung erreichen zu können, sind i.d.R. Dämmstoffe mit guten spezifischen Wärmedurchgangskoeffizienten erforderlich. Gute Wärmedurchgangskoeffizienten werden in der Regel durch künstlich hergestellte Dämmmaterialien wie z. B. EPS-, XPS- oder PU-Dämmstoffe erreicht. Neuartige Vakuum-Isolationspaneele erreichen λ -Werte von unter 0,01 W/mK.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

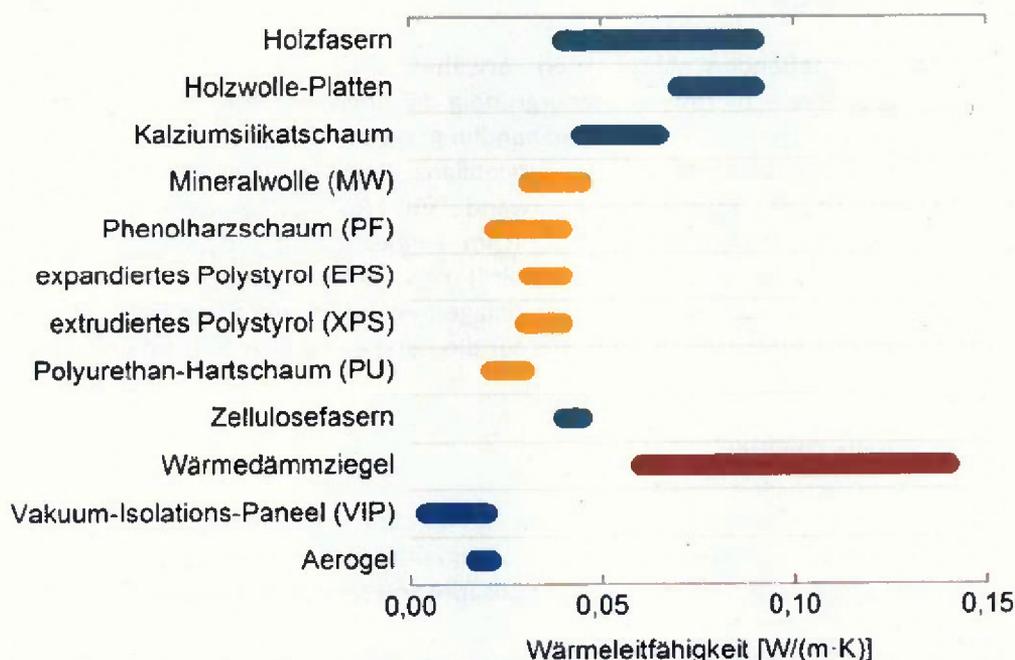


Abbildung 7-13: Bereich der Wärmeleitfähigkeiten von dämmenden Baustoffen (Quelle: FIW München – Bericht FO-12/12)

Die heute und zukünftig erforderlichen U-Werte können mit Naturdämmstoffen wie z. B. Holzwolle-Dämmplatten aufgrund weit ungünstigerer (höherer) Wärmeleitfähigkeiten konstruktiv (größere Dämmschichtdicken) sowie wirtschaftlich (schlechte Amortisation) nur noch sehr eingeschränkt umgesetzt werden.

Weiterhin müssen bei einer umfangreichen ökologischen Bewertung neben den Fragen der energetischen Amortisation auch die Umweltwirkungen wie das Treibhauspotential, Ozonabbaupotential, Versauerungspotential und Eutrophierungspotential im Rahmen einer Ökobilanz berücksichtigt werden. Ein Vergleich unterschiedlicher Materialien führt dabei aber nicht immer zu eindeutigen Ergebnissen, vor allem dann, wenn bei den genannten Umweltwirkungen gegenläufige Tendenzen zu beobachten sind (vergleiche FIW München – Bericht FO-12/12).

Aufgrund der großen Unterschiede beim Treibhauspotential und den insgesamt niedrigen energetischen Amortisationszeiten, könnte ein Vergleich unter ökologischen Gesichtspunkten aus aktueller Sicht zu Gunsten der Holzfaserdämmung ausfallen. Bei einer anderen Gewichtung und unter Einbeziehung weiterer Ökobilanzdaten sind aber theoretisch durchaus auch andere Entscheidungsszenarien denkbar. Auch eine Erweiterung der Betrachtung auf die anzuwendenden Hilfsstoffe, benötigtes Konstruktionsmaterial und den Montageaufwand, einschließlich des Transports zur Baustelle, kann die Ergebnisse im Einzelfall signifikant beeinflussen.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

7.2.3.3 Haustechnische Anlagen

Wie bereits in den vorstehenden Abschnitten erwähnt, hat der technische Ausstattungsgrad des Gebäudes – hiermit ist vordergründig die Anlagentechnik für die Energieerzeugung Wärme und Kälte sowie die Luftbehandlungssysteme gemeint – einen verhältnismäßig geringen Einfluss auf die Primärenergiebilanz. Der Anteil der Grauen Energie (nicht regenerierbarer Primärenergieaufwand für Rohstoffbeschaffung, Transport und Produktion) der Anlagentechnik nimmt im Vergleich zum Typgebäude „Referenz“ zwar um das 3-fache (Typgebäude „Basic“) bzw. 6-fache (Typgebäude „Advanced“) zu, jedoch liegen die Absolutwerte der Anlagentechnik im Vergleich zum nicht regenerierbaren Gesamt-Primärenergieaufwand für die Herstellung aller Baustoffe unter 1 %.

7.2.4 Fazit – ökologische Qualität

Bei energetisch optimierten Gebäuden macht die graue Energie bereits einen wesentlichen Teil des Gesamtenergieaufwands (inkl. Nutzung) über die Lebensdauer aus, während bei energetisch ungünstigen Bauten der Betriebsaufwand sehr stark überwiegt.

Für die weitere Entwicklung des optimalen Gebäudekonzeptes sollte die Graue Energie weiterhin einbezogen werden. Es ist möglich, energetisch hochwertige Gebäude zu bauen, ohne einen erhöhten Einsatz Grauer Energie in Kauf nehmen zu müssen. Ein Mehraufwand z. B. bei der Wärmedämmung kann leicht durch alternative Maßnahmen ausgeglichen werden.

Der Einfluss haustechnischer Komponenten wie Lüftungsanlagen, Batterie Speicher, PV- und Solarthermie-Systemen ist nachgewiesenermaßen sehr gering.

Der energetische „Advanced“-Standard stellt sich bei der Betrachtung über 50 Jahre trotz erhöhter Primärenergieaufwendungen in der Herstellungsphase als die ökologischere Variante dar.

Durch die Veränderung der Bauweise von Stahlbeton zu Holz-Hybridbauweisen kann der Anteil der Grauen Energie um bis zu 60 % gesenkt werden. Außerdem können Holz-Hybrid-Häuser durch einen hohen Vorfertigungsgrad, standardisierte Montageabläufe und somit schnellere Bauzeiten auch aus wirtschaftlicher Sicht mit herkömmlichen Stahlbetonbauweisen mithalten.

Reine Holzhäuser sind im mehrgeschossigen Wohnungsbau noch unter erhöhten Aufwendungen umzusetzen, trotzdem gibt es bereits heute erste Pilot-Gebäude, die zeigen, dass die Umsetzung möglich ist und zukünftig auch weiter gefördert werden sollte.

Ein weiterer innovativer Ansatz und wichtiger Schritt zu einem positiven ökologischen Fußabdruck sind rezyklierbare Bauweisen. Heute bereits vereinzelt umsetzbar, wird die rezyklierbare Bauweise und die damit verbundenen angebotenen Systeme und Baustoffe in den nächsten Jahren deutlich zunehmen. Sämtliche Bauteile und eingesetzte

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Materialen, die dem Designgedanken der geschlossenen Stoffkreisläufe entsprechen, würden somit den Anteil der Grauen Energie gegen Null lenken. Erreicht werden kann dies durch Konstruktionen, die so ausgeführt werden, dass sie demontierbar, sortenrein trennbar, komplett schadstofffrei und somit vollständig rezyklierbar sind. Folglich werden die Gebäude zu einem temporären Rohstoffdepot für zukünftige Anwendungen im Bausektor.

7.3 Ökonomische Qualität

Für eine ganzheitliche ökonomische Bewertung der drei energetischen Gebäudestandards „Referenz“, „Basic“ und „Advanced“ wurden diese mit Hilfe einer Lebenszykluskostenbetrachtung verglichen.

Außerdem wurde eine ökonomische Bewertung der beiden Baukonstruktionen „Konventionell“ und „Holz-Hybrid-Bauweise“ vorgenommen.

7.3.1 Lebenszykluskostenberechnung

Die Lebenszykluskostenberechnung wurde nach den Rechenvorschriften des DGNB-Systems, Nutzungsvariante Neubau Wohngebäude Version 2012 (Upgrade 31.07.2013) nach dem vereinfachten Rechenverfahren erstellt.

Alle Kostenangaben sind auf m² BGFa bezogen.

Die Herstellkosten wurden nach DIN 276-1 ermittelt. Siehe Tabelle 7-5 zum Thema Kostenschätzung:

- KG 300 Bauwerk – Baukonstruktionen,
- KG 400 Bauwerk – Technische Anlagen.

Die Nutzungskosten wurden nach DIN 18960 bestimmt; dabei wurden hier vereinfacht nur die in nachstehender Tabelle grau hinterlegten Kostengruppen berücksichtigt.

Tabelle 7-4: Abgrenzung Nutzungskosten gemäß DGNB-Steckbrief ECO1.1 NWOv12 Upgrade 31.07.2014

Nutzungskosten nach DIN 18960	
KG 310, 320	Ver- und Entsorgungskosten
KG 311	Wasser
KG 312 – 316	Brennstoffe, Energie
KG 321	Abwasser
KG 330	Reinigung und Pflege von Gebäuden
KG 351	Bedienung der technischen Anlagen
KG 352	Inspektion und Wartung der Baukonstruktionen
KG 353	Inspektion und Wartung der technischen Anlagen

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Nutzungskosten nach DIN 18960	
KG 400	Instandsetzungskosten
KG 410	Instandsetzung der Baukonstruktionen
KG 420	Instandsetzung der Technischen Anlagen

Die grob geschätzten und der Lebenszykluskostenberechnung zu Grunde gelegten spezifischen Gesamt-Herstellkosten für die KGR 300 und 400 sowie die spezifischen Mehrkostenansätze der Typgebäude „Basic“ und „Advanced“ im Vergleich zum „Referenz“-Gebäude, zeigt die nachstehende Tabelle 7-5. Bei den Kosten handelt es sich um Nettokosten bezogen auf das Basisjahr 2015.

Tabelle 7-5: Geschätzte zusätzliche Investitionskosten für die erforderlichen Energieeffizienzstandards

Energieeffizienzstandard	„Referenz“- Gebäude	Olympiahaus „Basic“	Olympiahaus „Advanced“
<i>Baumaterialstandard</i>	<i>konventionell</i>	<i>konventionell</i>	<i>konventionell</i>
	[EUR/m ²]	[EUR/m ²]	[EUR/m ²]
Investitionskosten (KG 300 + 400)	1.350	1.415	1.516
Baukonstruktion (KG 300)	1.000	1.019	1.055
- zusätzliche Wärmedämmung		7	11
- verbesserte Fenster		12	
- verbesserte Fenster und Fensterläden			44
Technische Anlagen (KG 400)*	350	396	461
- Frischwasserwohnungsstationen		10	10
- Solarthermie		4	8
- Photovoltaik		12	33
- Batteriespeicher			30
- zentrale GLT mit EMS		19	30

* Die Kosten für die Kostengruppe 400 beinhalten keine Küchen, keine Beleuchtung

Die spezifischen Nutzungs-Kostenkennwerte für Reinigung, Wartung- und Instandhaltung sowie Ver- und Entsorgung sind den Berechnungsvorgaben des DGNB-Kriteriensteckbriefes ECO1.1 entnommen.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

7.3.2 Vergleich der energetischen Gebäudestandards

Ziel der Berechnung war es, den Unterschied zwischen verschiedenen energetischen Gebäudestandards herauszuarbeiten. Nutzungs-Kostengruppen, die vom energetischen Standard unberührt bleiben, wie Wasserversorgung oder Reinigung, wurden nur pauschal und in allen Varianten gleich angesetzt. Die Berechnung erhebt somit keinen Anspruch auf eine vollumfängliche Lebenszykluskostenanalyse. In der Tabelle 7-6 sind die ermittelten Herstellungs- und Nutzungskosten für die drei untersuchten Gebäude dargestellt.

Tabelle 7-6: Vergleich der Herstell- und Nutzungskosten

		„Referenz“	„Basic“	„Advanced“
Lebenszykluskosten Kapitalbarwert 50a				
- Kosten der Maßnahme KG 300	EUR/m ² BGFa	1.000	1.019	1.055
- Kosten der Maßnahme KG 400	EUR/m ² BGFa	350	396	461
- Ver-/Entsorgung Wasser/Abwasser	EUR/m ² BGFa	88	88	88
- Versorgung - Energie	EUR/m ² BGFa	222	114	25
- Reinigung	EUR/m ² BGFa	19	19	19
- Regelmäßige Instandhaltung KG 300	EUR/m ² BGFa	24	24	25
- regelmäßige Instandhaltung KG 400	EUR/m ² BGFa	8	9	13
- Unregelmäßige Instandsetzung KG 300	EUR/m ² BGFa	237	242	251
- Unregelmäßige Instandsetzung KG 400	EUR/m ² BGFa	352	398	464
Summe Kapitalbarwert LCC 50 Jahre	EUR/m² BGFa	2.300	2.309	2.398

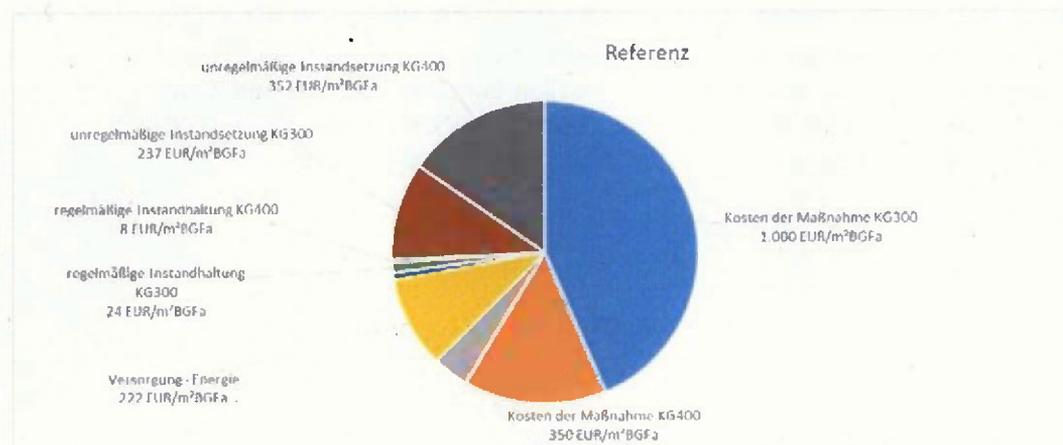


Abbildung 7-14: Zusammensetzung der LCC-Kosten am Beispiel des „Referenz“-Gebäudes

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
 Stand: 21.09.2015

Für die untersuchten Typgebäude wurden folgende Kostenunterschiede bei den errechneten Kapitalbarwerten ermittelt:

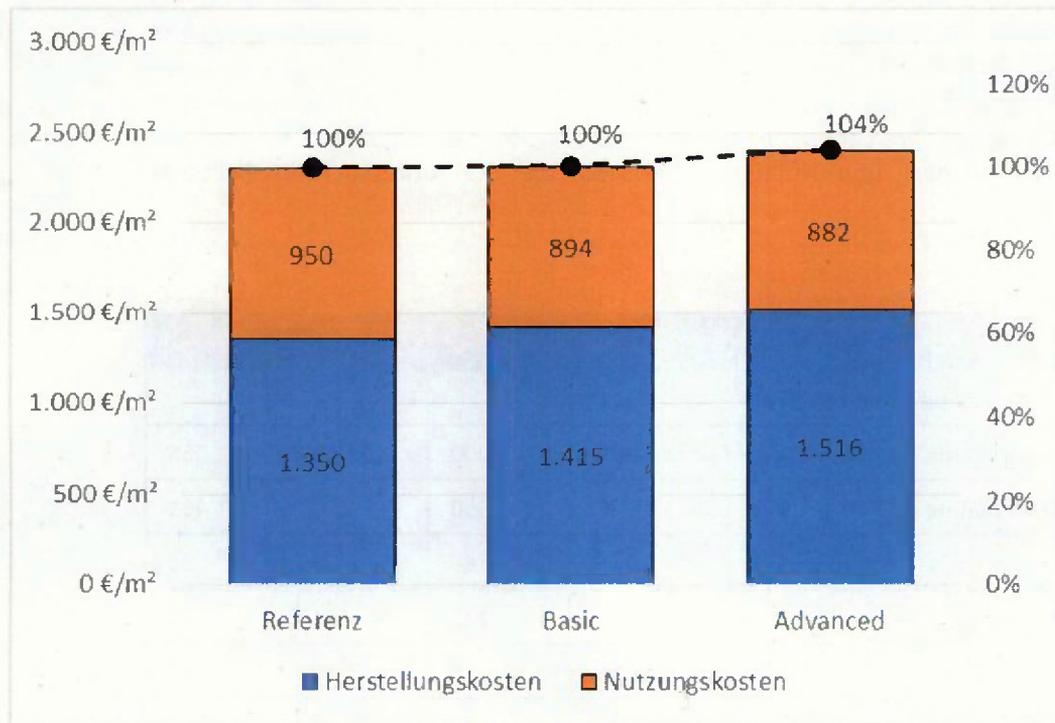


Abbildung 7-15: Vergleich der Kapitalbarwerte LCC 50a der drei Typgebäude

Im Vergleich der drei Berechnungen zeigt sich, dass die Summe des Kapitalbarwert LCC 50a (Lebenszykluskosten) beim „Referenz“-Gebäude und beim „Basic“-Haus nahezu gleich sind. Der Mehraufwand für das „Basic“-Haus bei den Herstellungskosten und den damit verbundenen höheren Instandsetzungskosten wird durch Energieeinsparungen in der Nutzungsphase kompensiert.

Lediglich beim „Advanced“-Haus ergeben sich höhere Lebenszykluskosten, die mit 4 % für einen derart hohen energetischen Standard vergleichsweise gering ausfallen. Zumal dieser Gebäudestandard nahezu unabhängig von fossilen Energieträgern ist und somit mehr Investitionssicherheit bietet, sollten die Energiepreise stärker steigen, als der LCC-Berechnung zu Grunde gelegt wurde.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

7.3.3 Vergleich der Bauweisen

Die unterschiedlichen Bau- und Konstruktionsweisen Holz- und Stahlbetonbauweise sollen ebenfalls unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten bewertet werden.

Allerdings können auf Grund der relativ geringen Datenbasis für realisierte und vergleichbare Holzgebäude, die relevanten Kosten für Herstellung, Betrieb und Entsorgung nur grob geschätzt und lediglich Tendenzen bzw. Indikationen entwickelt werden. Aktuelle Studien zeigen, dass die Baukosten beim Bauen mit Holz mit anderen Bauweisen vergleichbar sind⁴. Es ist sogar davon auszugehen, dass mit zunehmender Marktdurchdringung und bauaufsichtlichen Zulassungen die Herstellkosten überwiegend geringer ausfallen.

Im Folgenden wird lediglich die Holz-Hybrid-Bauweise bewertet, da die Datenbasis für Nur-Holzkonstruktionen zu gering ist. Es können sich, trotz Änderungen im Baurecht zu Gunsten der Holzbauweise, signifikante Veränderungen der Herstellkosten durch bauordnungsrechtlichen Fragestellungen in den Bereichen Brandschutz, Statik, Gründung für das untersuchte Typgebäude ergeben. Somit ist in der folgenden quantitativen Bewertung mit Holzbauweise stets eine Holz-Hybridbauweise gemeint, also eine Konstruktion, die vereinzelt z. B. bei Brandschutzwänden, Aufzugstürmen, Untergeschossen oder Wohnungsdecken auf den Baustoff Stahlbeton zurückgreift.



Abbildung 7-16: Holzbau der Stadtwerke Lübeck (Quelle: In-online.de), LCT One (Quelle: cree)

Je nach architektonischer Gestaltung wie z.B. pflege- und reinigungsintensiver Fassaden, Innenausbau, etc. können die Nutzungskosten, unabhängig davon, ob Holzbauweise oder nicht, stark schwanken. Bei sorgfältiger Planung und unter Zugrundelegung der gleichen energetischen Standards werden diese jedoch für beide Bauweisen ebenfalls als annähernd gleich bewertet.

Bei der Betrachtung des End-of-Life-Szenarios also der Entsorgung des Gebäudes fallen die Kosten zu Gunsten der Holzbauweise aus, ausgehend davon, dass es sich um unbehandeltes Holz mit lösbaeren Verbindungen handelt. Auch wenn es hierfür keine

⁴ Studie zu Baukosten von Holzbauweisen, Holger König; Legep GmbH, 2015

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

verlässlichen Kostenangaben gibt, wird bei Betrachtung der Prozesse erkennbar, dass eine Holzbauweise kostengünstiger zu demontieren und zu entsorgen ist als eine vergleichbare Stahlbetonkonstruktion. Allerdings ist auch dieser Kostenunterschied nicht signifikant, da neben dem Holztragwerk auch massive Stahlbetonbauteile demontiert und entsorgt werden müssen. Darüber hinaus gibt es in beiden Varianten neben dem Tragwerk noch ein Anteil bestehend aus Haustechnik, Fassade und Innenausbau etc.

Die Lebenszykluskostenberechnung berücksichtigt bisher nur die Herstellungs- und die Nutzungsphase, daher und auf Grund der wenig konkreten Kostenansätze ist eine Berechnung für diesen Vergleich nicht zielführend.

Zusammenfassend stellt sich auf Grund der nur sehr geringen und teilweise noch unsicheren Kostenunterschiede heraus, dass beide Bauweisen sowohl hinsichtlich der Herstellungskosten als auch der Nutzungskosten wirtschaftlich vergleichbar sind. Nicht berücksichtigt wurden die komplexen und teilweise sich überlagernden Aspekte wie Werthaltigkeit, Lebensdauer, Flächeneffizienz, Vorfertigungsgrad und Bauzeit, etc.

Die Abbildung 7-17 zeigt grob die Kostenanteile für die Phasen des Lebenszyklus. Dabei wird deutlich, wie geringfügig sich Kostenunterschiede bei Abbruch und Entsorgung darstellen.

Deutlich wird jedoch, wie hoch der Anteil der Herstellungskosten selbst bei Betrachtung des Lebenszyklus von 50 Jahren bleibt. In diesen Kosten ist ein wesentlicher Anteil Rohstoffkosten enthalten. Hier besteht ein deutliches Kostensenkungspotential bei Weiterentwicklung der rezyklierbaren Bauweisen und Verwendung von Rohstoffen aus Stoffkreisläufen.

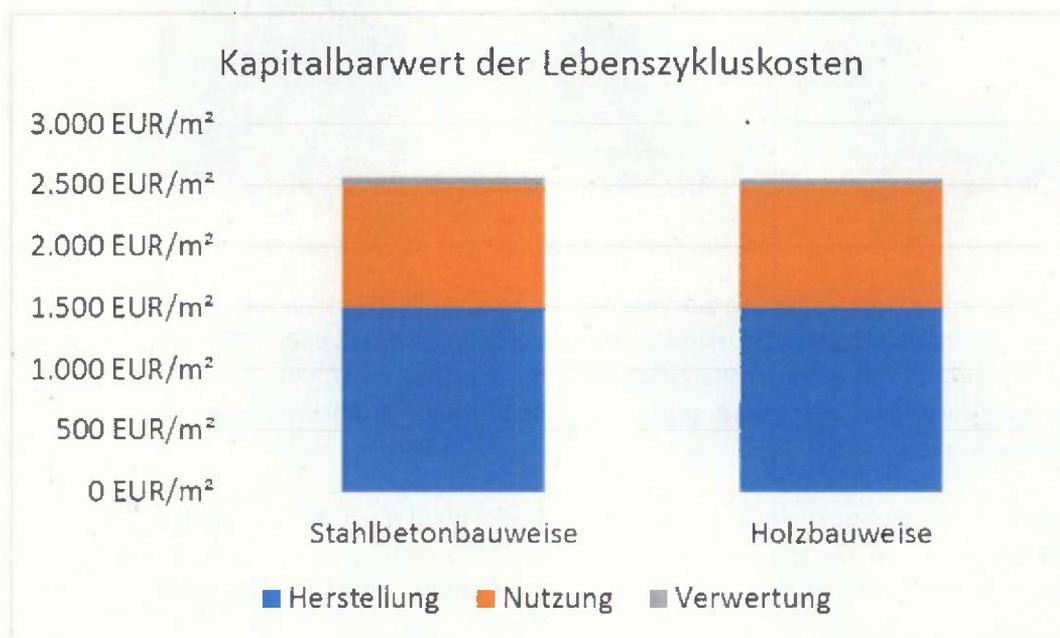


Abbildung 7-17: Darstellung der Anteile an den Lebenszykluskosten (Quelle: Berechnung Drees & Sommer)

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

7.3.4 Fazit – ökonomische Qualität

Zunehmende energetische Standards können die Kosten während der Nutzungsphase deutlich senken. Allerdings gehen mit zunehmenden energetischen Standards auch häufig zunehmende Herstellungskosten und bei hohen technischen Ausstattungsgraden auch zunehmende Wartungs- und Instandhaltungskosten einher, so dass unter Berücksichtigung der standardisierten Randbedingungen sich diese Investitionen über den Betrachtungszeitraum nicht immer amortisieren können. Im Hinblick auf sich ändernde Randbedingungen, wie zukünftig knapper werdende Rohstoffe und mögliche zunehmende Energiepreissteigerungen, kann sich ein hoher Endenergieeffizienzstandard zukünftig aber auch wirtschaftlich darstellen.

Trotzdem verdeutlichen die Ergebnisse, dass Energiekonzepte sorgfältig und individuell den Gebäuden und seiner Nutzung anzupassen und die Effekte aus investiven Energieeffizienzmaßnahmen ggf. mit praxisnäheren Simulationen abzusichern sind.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass ökologische Bauweisen wie Holz-Hybridbauweisen auch unter Lebenszykluskostenbetrachtung nicht teurer sondern durchaus auch wirtschaftlich sein können.

8 Energieversorgungslösungen

Das Konzept betrachtet die verschiedenen Systemlösungen zur Erzeugung von Wärme; Kälte und Strom unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Arealerschließung und die Energiebedarfe der Abnehmer. Das Wärmeversorgungskonzept steht dabei im Fokus.

Neben den technisch und rechtlich zu beachtenden Vorgaben bei der Entwicklung eines geeigneten Energieversorgungskonzepts müssen vor allem zwei Prämissen bei der Auswahl berücksichtigt werden, zu denen sich die Freie und Hansestadt Hamburg (FHH) in der Bewerbung um die Austragung der olympischen und paralympischen Spiele verpflichtet hat:

- „Die Energieversorgung ... soll möglichst vollständig aus regenerativen Energien gedeckt werden“,
- „kostengünstiges Bauen“ – was bedeutet, dass die zu planenden und zu bauenden Maßnahmen sich wirtschaftlich im Hinblick auf die Lebenszykluskosten darstellen lassen.

Hierbei ist zu beachten, dass unabhängig vom favorisierten Erzeugungssystem die gesamte Struktur hinter der Wärme- und Kälteerzeugung, also Verteilung, Speicherung und Übergabe, so konzipiert sein soll, dass der Einsatz von Energie so rationell wie möglich gehalten wird. Außerdem ist das System so flexibel und modular aufzubauen, dass eine Veränderung auf der Erzeuger- oder Abnehmerseite jederzeit technisch möglich ist und energieeffizient erfolgt.

Im ersten Schritt wurden sämtliche prinzipiell in Betracht kommenden Systeme zur Erzeugung von Wärme, Kälte und Strom vorbewertet.

Die folgende Energiematrix gibt eine Kurzübersicht über die verschiedenen Erzeugungsvarianten und deren Bewertung unter Berücksichtigung der qualitativen Hauptkriterienpunkte:

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

System	Wärme			Einsatzort	Beschreibung	Machbarkeit	Investskosten	Wirtschaftlichkeit	CO ₂ / Primärenergie	Umweltverträglichkeit	Innovation	Empfehlung	Bewertung
	Kälte	Strom	nur Grundlast										
Anlagentechnologie Wärme:													
Abwärme aus Industrieprozessen	X			zentral	Nutzung von industrieller CO ₂ freier Abwärme	●	●	●	●	●	●	ja, Wirtschaftlichkeit ist detailliert zu prüfen	Technikflächengünstige und umweltschonende Wärmenutzung
BHKW (Windgas/Biomethan/Holzgas)	X	X	ja	zentral/ dezentral	Strom und Wärmezeugung durch Biogas- (aus u.a. Bioabfall, Gülle) Windgaskraftwerk (P2G)	●	●	●	●	●	●	ja, die Wirtschaftlichkeit ist im Einzelfall zu prüfen	Hohe Effizienz (eta ca. 92%), Dezentral (im Schwimmbad) oder zentral zur Abdeckung der Grundlast (BWW) einsetzbar, jedoch als regenerativer Energiequelle unrentabel (hoher Biomethanpreis). Ob zukünftig wirtschaftlich mit Windgas betreibbar ist unklar.
Abwasserwärme	X			dezentral	Abwärmenutzung des Abwassers (vorzugsweise Grauwasser) über Wärmepumpenprozess	●	●	●	●	●	●	ja, aber technisch und wirtschaftlich detailliert zu prüfen	Effizienz abhängig vom Temperaturniveau des Abwassers und Betriebstemperatur Heizung, vorteilhaft im Schwimmbad, geringere Leistungsdichte.
Heizwerk (Besicherung bzw. Ersatzversorgung)													
Holz hackschnitzel	X		ja	zentral	Energieerzeugung durch die Verbrennung von Holz in zentralen + dezentralen Verbrennungsöfen	●	●	●	●	●	●	ja zentral, lokale Staubbelastung, Fläche und Anlieferung sind zu prüfen	Preisentwicklung des Brennstoffs unklar. Kaum zusätzliche CO ₂ Emissionen, nachwachsende Ressourcennutzung, höhere lokale Staubbelastung, große Lagerfläche erforderlich.
Holzpellets	X			zentral/ dezentral	Energieerzeugung durch die Verbrennung von Holz in zentralen + dezentralen Verbrennungsöfen	●	●	●	●	●	●	ja, jedoch nur in kleineren und dezentralen Anlagen, Staubbelastung ist zu prüfen.	Schlechtere Ökobilanz und höherer Preis als Holz hackschnitzel, Einsatz eher in dezentralen Feuerungsanlagen, höhere lokale Staubbelastung, ca. 30% der Lagerfläche von Holz hackschnitzel notwendig.
Holzvergasung	X			zentral	Holzgasgewinn wird durch Brennholzerhitzung, Einsatz in BHKW zur Strom- und Wärmezeugung.	●	●	●	●	●	●	ja zentral, lokale Staubbelastung, Fläche und Anlieferung sind zu prüfen	Höhere Investitionen für die Anlagentechnik, Einsatz in größeren BHKW wirtschaftlich möglich, große Lagerfläche erforderlich.
Brennstoffzelle (Wassersstofftechnik)	X	X	ja	zentral/ dezentral	dezentrale Systeme für MFH, zentrale Anlagen	●	●	●	●	●	●	ja, sofern die Wirtschaftlichkeit bis 2024 besteht	Aktuell noch nicht wirtschaftlich umsetzbar. Erste Pilotanlagen bis 1 MW sind in Betrieb. Es fehlen Langzeiterfahrungen. Hohe Wirkungsgrade, regenerative Energieerzeugung ohne CO ₂ Emissionen.
Dampfturbine	X	X		zentral	Einer Holzfeuerung nachgeschaltete Stromerzeugung und Fernwärmeauskopplung im KWK-Prozess	●	●	●	●	●	●	nein, da kein Dampfprozess vorhanden.	Im Vergleich zum BHKW schlechtere elektrische Wirkungsgrade. Dampfturbine nur in Verbindung mit Dampfkesselanlagen sinnvoll.
Geothermiekraftwerk	X	X	ja	zentral	Tiefenbohrungen zur Heißwasser und Stromerzeugung	●	●	●	●	●	●	nein	Zu hohes Risiko, hohe Investitions- und Projektentwicklungskosten, unklare geologische Voraussetzungen.
ORC Organic-Rankine-Cycle	X	X	ja	zentral/ dezentral	Strom und Wärmezeugung durch "Niedertemperatur-Dampfkraft"	●	●	●	●	●	●	nein, da i.d.R. sehr lange Amortisationszeiten, zur Imagebildung geeignet	Zur Zeit noch sehr geringe elektrische Ausbeute. Wirkungsgrade liegen je nach Temperatur der Wärmequelle deutlich unter 10%.

System	Einsatzort				Beschreibung	Machbarkeit	Investskosten	Wirtschaftlichkeit	CO2 / Primärenergie	Umweltverträglichkeit	Innovation	Empfehlung	Bewertung
	Wärme	Kälte	Strom	nur Grundlast									
Anlagentechnologie Kälte													
Grundwassernutzung		X		zentral	Brunnenbohrung zur Erschließung des Grundwassers. Wärmetauscher macht Grundwasser zum /Kühlen nutzbar	●	●	●	●	●	●	ja, maximale Fördermengen und Temperaturen beachten.	Grundwasservorkommen sowie -zusammensetzung geeignet und zur Spitzenlastrückkühlung im Sommer genehmigungsfähig. Kapazität deutlich begrenzter als Wärmequelle für Grundlast Brauchwassererzeugung über Wärmepumpen.
Elbwassernutzung		X		zentral	Nutzung des Elbwasser für Kalte Nahwärme	●	●	●	●	●	●	ja, Einleitbedingungen beachten.	Gut geeignet zur Rückkühlung der Kühlprozesse, deutlich verbesserte Wirkungsgrade zu Rückkühlern, frei Dachflächen für urbane Nutzung, als ganzjährige Energiequelle für Wärmeumwandler geeignet.
Absorptions-Kältemaschine		X	ja	zentral/ dezentral	Kälteerzeugung durch Wärmeinsatz, hohe Rückkühlfläche bzw. Kühlwassermenge notwendig	●	●	●	●	●	●	ja, mit ausreichend konstantem ganzjährigem Kältebedarf	Dauerhafte Wärmeversorgung nötig, zentral gut anwendbar bei Fernkälteversorgung, dezentral für Industrieprozesse/RZ möglicherweise geeignet.
Kompressions- Kältemaschine		X		zentral/ dezentral	Kälteerzeugung durch Strominsatz, Rückkühlfläche notwendig	●	●	●	●	●	●	ja	zentral wie dezentral geeignet, technisch ausgereift, erforderlicher elektrischer Strom müsste Ökostrom sein.
Wasser / Wasser-Wärmepumpen	X	X		zentral/ dezentral	Nutzung des Grundwassers und Elbwassers als Wärme- bzw. Kältesenke	●	●	●	●	●	●	ja, jedoch nur in Gebäuden mit Retail/Büronutzung und in Verbindung mit Geothermie	In Verbindung mit Elbwasser nicht für den Ganzjahresbetrieb geeignet. In Verbindung mit Geothermie sinnvoll einsetzbar. Jedoch dadurch hohe bis sehr hohe Investitionskosten.
Luft / Wasser-Wärmepumpen	X	X		zentral/ dezentral	WP als umschaltbare Kältemaschinen mit WT-Auskopplung auf Heizsystem in RLT-Geräten integriert.	●	●	●	●	●	●	ja, der Aufwand ist im Einzelfall zu prüfen	In Gebäuden mit zeitgleichen Kühl- und Heizbedarf. z.B. Nachheizregister RLT/Auskopplung lokale FBH. Effiziente und kostengünstige Wärmeerzeugung, Einsparung von Installationsmaterial.
Sol-renergie													
Photovoltaik			X	dezentral	Stromerzeugung durch Solarstrahlung (Installation von PV-Anlagen auf Dächern und Fassaden)	●	●	●	●	●	●	ja, zukünftig vielfältig über Folientechnologien einsetzbar	Im Neubau wirtschaftliche Variante der CO2 freien Stromerzeugung, technische Möglichkeiten zur Integration in das Gebäude nehmen weiter zu.
Solarthermie	X			dezentral	Brauchwassererwärmung durch Solarstrahlung (Inst. auf den Dächern), Eisspeicher	●	●	●	●	●	●	ja, jedoch nur gezielt dezentral	Diskontinuierliche CO2 freie Wärmeerzeugung, die nur bei Gebäuden mit stetigem Wärmebedarf (Hotel, Küche, gut belegte Wohngebäude) wirtschaftlich ist.
Hybrid Photovoltaik / Solarthermie PVT	X	X		dezentral	Kombination aus Photovoltaik (1.Ebene) und Solarthermie (2.Ebene)	●	●	●	●	●	●	ja, jedoch nur gezielt dezentral	Umweltschonende Strom- und Wärmeerzeugung, vorrangig für Stromerzeugung doppelte Nutzung der Flächen, komplizierte Installation.

System	Wärme / Kälte / Strom / nur Grundlast				Beschreibung	Machbarkeit	Investskosten	Wirtschaftlichkeit	CO2 / Primärenergie	Umweltverträglichkeit	Innovation	Empfehlung	Bewertung
	Wärme	Kälte	Strom	Einsatzort									
Windenergie													
große Turbinen		X		zentral	Stromerzeugung durch Generatoren, die durch ein Windrad angetrieben werden.	●	●	●	●	●	●	nein, nur über Bilanzkreismanagement oder Windparkbeteiligung im Areal nutzbar	Umweltschonende Stromerzeugung, bis 2 MWp, wetterabhängig, nicht überall wirtschaftlich umsetzbar.
mittl. Windturbinen		X		zentral	Strom durch Generator, der durch ein Windrad angetrieben wird.	●	●	●	●	●	●	nein, nur über Bilanzkreismanagement oder Windparkbeteiligung im Areal nutzbar	"Einfache" Installation, umweltschonende Stromerzeugung, bis 50 kWp, wetterabhängig, nicht überall wirtschaftlich umsetzbar.
Windkraftanlage-Vertikalachser		X		dezentral	Stromerzeugung durch Windturbinen auf Gebäudedächern, Straßenbeleuchtung, etc. Drehachse vertikal	●	●	●	●	●	●	ja, jedoch nur vereinzelt zur Imagebildung	"Einfache" Installation, umweltschonende Stromerzeugung, bis 6 kW, noch unwirtschaftlich.
Windkraftanlage-Horizontalachser		X		dezentral	Stromerzeugung durch Windturbinen auf Gebäudedächern, Straßenbeleuchtung, etc. Drehachse horizontal	●	●	●	●	●	●	nein	"Einfache" Installation, umweltschonende Stromerzeugung, bis 6 kW, noch unwirtschaftlich.
Erdwärme (oberflächennah)													
Absorber Fundament	X	X		dezentral	Flachkollektor in der Bodenplatte/ im Fundament.	●	●	●	●	●	●	nein	Wärmemenge ist von der Bodenbeschaffenheit abhängig, niedriger Wirkungsgrad einfache Erschließung, relativ großer Flächenbedarf.
Erdkollektoren	X	X		dezentral	Horizontal verlegten Wärmetauschersystemen (Rohrregister bzw. Kapillarrohrrmatten aus Kunststoff). Verlegung ca. 0,2 m unter der örtlichen Frostgrenze.	●	●	●	●	●	●	nein	Wärmemenge ist von der Bodenbeschaffenheit abhängig, niedriger Wirkungsgrad einfache Erschließung, relativ großer Flächenbedarf, eher geeignet für Wohnsiedlungen.
Erdsonden / Energiepfähle	X	X		dezentral	Erdsonden mit geschlossenen, wasserführenden Kreisen, altern. Können auch Gründungspfähle thermisch aktiviert werden. Bohrtiefe liegt bei von 18 bis 70 m.	●	●	●	●	●	●	ja, zur Grundlastdeckung von Heiz- und Kühlenergiebedarf und entsprechend günstigen Randbedingungen	relativ hoher Wirkungsgrad, umfangreiche Berechnung notwendig, heute wirtschaftlich einsetzbar, hoher Investitionsbedarf.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1 Wärmeversorgung

Das Kapitel Wärmeversorgung betrachtet die Systeme die zur Deckung des Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasser primär eingesetzt werden können. Gewissermaßen handelt es sich dabei um die Energie die dem Gebäude von außen zugeführt werden muss um den Wärmebedarf decken zu können. Neben allen zentralen Systemen zählen aber auch dezentrale Systeme wie beispielsweise Wärmepumpen und BHKWs dazu. Solarthermieanlagen werden im Kapitel Gebäudestandards betrachtet, da diese zur Reduzierung des Endenergiebedarfs beitragen und kein primäres Wärmeversorgungssystem für ein Gebäude darstellen.

Die Wärmeversorgung der OlympiaCity dient vorrangig dazu den Wärmebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser von Gebäuden zu decken. Dabei ist zu beachten, dass nur Gebäude mit zentraler Warmwasserbereitung einen ganzjährigen Wärmebedarf aufweisen. Diese Grundlast der überwiegend hoch energieeffizienten Gebäude macht jedoch nur ein Bruchteil der im Winter maximal erforderlichen Spitzenlast aus.

Die erforderliche Wärme kann im Gebäude erzeugt oder über extern erzeugte Fernwärme in das Gebäude geliefert werden. Wichtig ist, dass sie einen Primärenergiefaktor von nahezu Null aufweist. Dafür kommen verschiedene Systeme in Betracht. Diese Systeme werden definiert über:

- die Art der Wärmeerzeugung (Biomasse, Wärmepumpe, Abwärme, ...),
- den Ort der Wärmeerzeugung (zentral, dezentral),
- die Systemtemperaturen der Wärmeverteilung (Heißwasser/Niedertemperatur/LowEx).

Für die Wärmeerzeugung der Wohn- und Nichtwohngebäude sowie der Sonderbauten bieten sich folgende prinzipielle Erzeugungsmöglichkeiten an:

1. Wärme aus Abwärme

Direkt nutzbare Abwärme entsteht aus Stromerzeugungsprozessen (Kraft-Wärme-Kopplung) wie beim Blockheizkraftwerk, bei der Brennstoffzelle oder der Dampfturbine oder aber aus Industrie- und Produktionsprozessen.

Eine Möglichkeit der Abwärmenutzung aus Industrie wird in Variante 1 entwickelt und analysiert. Die Abwärmenutzung aus Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen (KWK) ist in Variante 3 betrachtet.

2. Wärme aus Verbrennungsprozessen

Bei der Wärme aus Verbrennungsprozessen kommen auf Grund der Anforderungen an einen CO₂-neutralen Stadtteil folgende Energieträger in Betracht:

- Feste Biomasse wie Holzpellets, Hackschnitzel, etc.
- Gas aus regenerativen Energien wie Biogas, Windgas, etc.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Eine sich hieraus ergebene technische Lösung wurde in Variante 2 entwickelt und analysiert.

3. Wärme aus Wärmepumpen

Mit Hilfe von Wärmepumpen kann Energie, die auf Grund ihres geringen Temperaturniveaus normalerweise nicht nutzbar ist, auf ein hohes und somit nutzbares Temperaturniveau gebracht werden. Energiequellen hierfür können die Außenluft, das Erdreich oder Fluss-/Grundwasser sein.

Der Einsatz von dezentralen aber auch von zentralen Wärmepumpen in der OlympiaCity wird in den Kapiteln 8.1.2.3 bis 8.1.2.5 bewertet.

Folgende Systeme wurden für die detaillierte Analyse und Bewertung entwickelt:

- System 1: Abwärmenutzung aus Industriebetrieb mit Fernleitung und Heißwasser-Wärmenetz-Nutzung,
- System 2: Biomasseheizkraftwerk mit Wärmenetz mit Fernleitung und Heißwasser-Wärmenetz-Nutzung,
- System 3: Dezentrale Wärmeerzeugung mit Elektronetz-Nutzung (Smart Grid),
- System 4: Dezentrale Wärmeerzeugung mit LowEx- und Elektronetz-Nutzung (Smart Grid),
- System 5: Power-to-Gas mit dezentraler Wärmeerzeugung mit Gas- und Elektronetz-Nutzung,
- System 6: Rücklaufabkühlung des Hamburger Fernwärmenetzes über zentrale Wärmepumpe mit Fernleitung und Heißwasser-Wärmenetz-Nutzung.

Die erforderlichen Technologien für System 5 befinden sich noch in der Entwicklung und können im Rahmen dieser Untersuchung quantitativ nicht hinreichend genau ermittelt bzw. bewertet werden.

Das System 6 bedarf noch umfangreicher Untersuchungen hinsichtlich der technischen Machbarkeit auf Seiten des Fernwärmerversorgers. Weiterhin ist noch unklar wie die CO₂-Emissionen einer solchen Variante bewertet werden können. Beide Systeme werden deshalb in diesem Bericht zur Vollständigkeit aufgeführt und nur qualitativ bewertet.

Wichtiger Bestandteil der Wärmeversorgungskonzepte ist die damit verbundene Infrastruktur entweder zur Versorgung dezentraler Wärmeerzeuger mit Energieträgern oder zur Verteilung der zentral erzeugten Wärme zu den Abnehmern. Dafür wurden in einem ersten Schritt die erforderlichen Infrastruktursysteme zur Verteilung der Wärme bzw. Versorgung der Wärmeerzeuger mit den entsprechenden Energieträgern bewertet.

8.1.1 Infrastruktur

Ausgehend von Niedertemperaturheizungen und einem sehr geringen Heizwärmebedarf, ist die Trinkwarmwasserbereitung in Gebäuden mit zentraler Warmwasserbereitung die maßgebliche Führungsgröße im Hinblick auf die notwendigen Systemtemperaturen. Wärmeenergie zur Bereitung von Trinkwarmwasser muss bei zentraler Warmwasserbereitung zwecks Einhaltung der Hygiene mit einer Temperatur von ca. 60 °C im Gebäude zur Verfügung stehen. Bei Warmwasserbereitungen in den Wohnungen über Wohnungsstationen im Durchlaufprinzip kann die Systemtemperatur ggf. etwas darunter liegen. Bei Wohngebäuden sowie dem Schwimmbad, Kitas, Gastronomie etc. ist eine Warmwasserbereitung über das Heizungssystem zu empfehlen. Das bedeutet, dass diese Gebäude, die ca. 75 % der Gebäude auf dem Grasbrook ausmachen ein Wärmebedarf auf einem Temperaturniveau von ca. 60 °C haben (Erzeugung bzw. Fernwärmenetz sollte entsprechend auf ca. 70 °C ausgelegt sein). Im Folgenden sind die in Betracht kommenden Infrastrukturlösungen zur Verteilung der Wärme auf dem Kleinen Grasbrook aufgeführt. Dabei wurden folgende vier Varianten gebildet:

- Verteilungssystem 1: Zwei-Leiter-Wärmenetz (Heißwasser 90/35 °C),
- Verteilungssystem 2: Zwei-Leiter-Wärmenetz (LowEx 28/33 °C),
- Verteilungssystem 3: Vier-Leiter-Wärmenetz (Heißwasser und LowEx),
- Verteilungssystem 4: Gasnetz (für Windgas, Biomethan, SNG, ...),
- Verteilungssystem 5: Nutzung Elektronetz.

Die Kombinationen zu den Wärmeerzeugungsvarianten sind in folgender Matrix dargestellt:

Infrastruktur	System 1 Zwei-Leiter Wärmenetz	System 2 Zwei-Leiter Wärmenetz	System 3 Vier-Leiter Wärmenetz	System 4 Gasnetz	System 5 Nutzung Elektronetz
Wärmeerzeuger	Heißwasser	LowEx	Heißwasser & LowEx		
System 1 Industrieabwärme	+	-	-	-	-
System 2 Heizkraftwerk	+	-	-	-	-
System 3 Dezentrale WP (Geo)	-	-	-	-	+
System 4 Dezentrale WP (LowEx)	-	+	+	-	-
System 5 Power-to-Gas	-	-	-	+	-

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Infrastruktur	System 1 Zwei-Leiter Wärmenetz	System 2 Zwei-Leiter Wärmenetz	System 3 Vier-Leiter Wärmenetz	System 4 Gasnetz	System 5 Nutzung Elektronetz
Wärmeerzeuger	Heißwasser	LowEx	Heißwasser & LowEx		
System 6 RL-Auskühlung Vattenfall	+	-	-	-	-

8.1.1.1 System 1: Zwei-Leiter-Wärmenetz (Heißwasser)

Dieses System betrachtet die Installation eines Wärmenetzes auf dem Kleinen Grasbrook inklusive einer Hauptverteilung und erforderlicher Hausanschlüsse. Die Betrachtung geht von folgenden Systemtemperaturen aus:

- Winter: 90/35 °C,
- Sommer: 65/35 °C.

Auf Grund des hohen energetischen Standards der Gebäude und der Bebauungsdichte in der OlympiaCity können die Systemtemperaturen im Heißwassernetz deutlich geringer ausfallen als in herkömmlichen Fernwärmenetzen mitunter viele Bestandsgebäude zu versorgen haben.

Je nach daran angeschlossener Wärmeerzeugung ist ggf. eine Fernleitung von der Wärmeerzeugung zur Hauptverteilung des Netzes erforderlich. Diese ist im Rahmen dieser Betrachtung der jeweiligen Wärmeerzeugung zugeordnet, da Länge, Dimension und Trassenführung der Fernleitung von der Wärmeerzeugungsvariante abhängen.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

In der folgenden Tabelle sind die Erläuterungen zu den gestellten Anforderungskriterien enthalten:

Investitionskosten:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Investitionskosten für ein ca. 7 km langes Nahwärmenetz inkl. Hauptverteilung und 120 Hausanschlüssen werden auf ca. 10 Mio. EUR geschätzt. ▪ Kosten werden voraussichtlich von einem Contractor getragen und über marktfähige Arbeits- und Leistungspreise ggf. Grundpreise refinanziert. 	+
Machbarkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nah-/Fernwärmenetze sind heute Stand der Technik, ▪ effiziente Trassenführung im öffentlichen Grund ist gut möglich. 	+
Wirtschaftlichkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Finanzierbar durch Contractor - Kosten werden auf Eigentümer in Form von Arbeits- und Grundpreisen umgelegt. 	+
CO ₂ :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CO₂-freie Wärmeversorgung ist gewährleistet, da Wärmeversorgung in der Hand eines Fernwärmelieferanten und nicht verteilt auf viele unterschiedliche Bauherren ist und dieser vertraglich an die CO₂-freie Erzeugung verpflichtet wird. 	+
Flexibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Flexibilität, da unterschiedlichste Erzeuger eingesetzt und alle Gebäudestandards versorgt werden können. 	+
Kompatibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Gebäudetypen (Retail, Gastro, Office, Sportstätten) mit und ohne zentrale WWB versorgbar. ▪ Niedertemperaturwärmequellen und Wärmepumpen können nicht voll genutzt werden. 	+
Innovation:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ FW-Netz kann Grundlage für Nutzung innovativer Technologien (z. B. Wasserstoff-KWK) und für virtuelle Kraftwerke sein. 	+
Zukunftsfähigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz verschiedener Wärmeerzeuger auch nachträglich möglich. 	+
Fazit:	<p>Empfohlenes System:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ zukunftssicher, flexibel und kompatibel, ▪ alle Anforderungen an CO₂-Freiheit und Innovation können umgesetzt werden. 	+

Legende: + positiv; o neutral; - negativ

8.1.1.2 System 2: Zwei-Leiter-Wärmenetz (LowEx)

Die Variante betrachtet die Installation eines Wärmenetzes auf dem Kleinen Grasbrook inklusive einer Hauptverteilung und erforderlicher Hausanschlüsse. Bei der Betrachtung wird von folgenden Systemtemperaturen ausgegangen:

- Winter: 14/9 °C,
- Sommer: 28/33 °C.

Bei diesem Konzept wird davon ausgegangen, dass sich die jeweiligen Wärmequellen und -senken auf dem Großen Grasbrook befinden und dezentral in das Netz einspeisen bzw. daraus entnehmen. Mögliche Quellen sind Wärme aus Abwasserwärmerückgewinnung, Rückkühlung aus Kältemaschinen, Grundwasser, Elbwasser, geothermische Wärme, Freie Kühlung, etc. Mögliche Wärmesenken sind vor allem Wärmepumpen.

Auf Grund des geringeren Temperaturniveaus im LowEx-Netz und dabei ähnlichem Wärmebedarf wie im Heißwasser-Netz werden die Rohrleitungsdimensionen um ca. 50 % größer.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

In der folgenden Tabelle sind die Erläuterungen zu den gestellten Anforderungskriterien enthalten:

Investitionskosten:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein ca. 7 km langes Nahwärmenetz inkl. Hauptverteilung und 120 Hausanschlüssen wird auf ca. 11 Mio. EUR geschätzt. ▪ Investitionskosten müssten vermutlich durch Fördermittel bezuschusst werden. 	o
Machbarkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nah-/Fernwärmenetze sind heute Stand der Technik. ▪ Effiziente Trassenführung im öffentlichen Grund ist gut möglich. 	+
Wirtschaftlichkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wirtschaftlichkeit derzeit nicht nachweisbar. 	o
CO ₂ :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CO₂-freie Wärmeversorgung ist gewährleistet, aber kompliziert. Alle Bauherren müssen zur Wärmeversorgung auf Wärmepumpen mit CO₂-freiem Strom setzen. ▪ Einzelne Sondergebäude wie Schwimmbad oder Hotels erfordern vermutlich eine separate Wärmeerzeugung. 	o
Flexibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mäßige Flexibilität, da zwar unterschiedliche Wärmequellen eingesetzt werden können, aber die jederzeit ausreichende Einspeisung in das Netz schwer zu gewährleisten ist – Besicherungswärmeerzeugung erforderlich. ▪ Variante ist kompatibel mit vielen NT-Wärmequellen (Abwasser, Elbewasser, Rückkühlung, etc.) und NT-Wärmeerzeugern (Wärmepumpe) – dezentrale Lösungen sind technisch unabhängig hiervon möglich. 	o
Kompatibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nicht alle Gebäudetypen (Gastro, Hotel, Sportstätten) mit Wärme versorgbar – dezentrale Eigenerzeugung erforderlich. 	-
Innovation:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Basis für virtuelles Kraftwerk, ▪ könnte die Rückkühler auf den Dächern ersetzen. 	+
Zukunftsfähigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Viele Abwärmepotentiale zusammenschaltbar und verschiebbar. 	+
Fazit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als Hauptversorgungsinfrastruktur nicht geeignet. ▪ Dezentrale Eigenerzeugungen würden für Sondernutzungen erforderlich. 	o

Legende: + positiv; o neutral; - negativ

8.1.1.3 System 3: Vier-Leiter-Wärmenetz (Heißwasser und LowEx)

Die Variante betrachtet eine Kombination aus Variante 1 und 2. In der folgenden Tabelle sind die Erläuterungen zu den gestellten Anforderungskriterien enthalten:

Investitionskosten:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein ca. 7 km langes 4-Leiter-Nahwärmenetz auf den Grasbrook inkl. Hauptverteilung und 190 Hausanschlüssen wird auf ca. 12 Mio. EUR geschätzt, ▪ Investitionskosten für NT-Leitungen müssten vermutlich durch Fördermittel bezuschusst werden. 	-
Machbarkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nah-/Fernwärmenetze sind Stand der Technik, ▪ effiziente Trassenführung im öffentlichen Grund ist gut möglich. 	+
Wirtschaftlichkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wirtschaftlichkeit derzeit nicht nachweisbar, ▪ voraussichtlich Baukostenzuschuss erforderlich. 	o
CO ₂ :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CO₂-freie Wärmeversorgung durchgängig gewährleistetbar, ▪ zusätzlich verbessert sich der Primärenergieeinsatz für Kälteversorgung, 	o
Flexibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Höchste Flexibilität, alle Erzeuger und Abwärmepotentiale einsetzbar, für alle Gebäudestandards verwendbar. 	+
Kompatibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Gebäudetypen mit Wärme und Rückkühlwasser versorgbar – zusätzlich dezentrale Einspeisungen möglich. 	+
Innovation:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundlage für Nutzung aller denkbaren innovativen Technologien (z. B. Wasserstoff-KWK) und für virtuelles Kraftwerk. ▪ Ersetzt Rückkühler auf den Dächern. 	+
Zukunftsfähigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz verschiedener Wärmeerzeuger auch nachträglich möglich. 	+
Fazit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als Hauptversorgungsinfrastruktur gut geeignet, ▪ Flexibel, sicher und kompatibel, ▪ alle Anforderungen an CO₂-Freiheit und Innovation können umgesetzt werden, ▪ teuerste Variante. 	o

Legende: + positiv; o neutral; - negativ

8.1.1.4 System 4: Gasnetz

Investitionskosten:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein ca. 7 km Gasnetz (ohne Zuleitung zum Grasbrook) inkl. 120 Hausanschlüsse wird auf ca. 5 Mio. EUR geschätzt. ▪ Kosten werden voraussichtlich von einem Contractor getragen und über marktfähige Arbeits- und Leistungspreise ggf. Grundpreise refinanziert. 	o
Machbarkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unter der Maßgabe der CO₂-freien Wärmeversorgung wird dieses Netz nur für Biogas; Biomethan genutzt. 	o
Wirtschaftlichkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wirtschaftlichkeit ist bei Anschluss aller Gebäude erreichbar 	+
CO ₂ :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CO₂-freie Wärmeversorgung ist technisch möglich. 	+
Flexibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mäßige Flexibilität, ▪ zusätzliche Technikflächen für dezentrale Wärmeerzeuger in den Gebäuden erforderlich. 	o
Kompatibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prinzipiell alle Gebäudetypen (Retail, Gastro, Office, Sportstätten) mit Wärme versorgbar, 	+
Innovation:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gasnetz ist Stand der Technik und nur in Verbindung mit Power-to-Gas (P2G) innovativ 	o
Zukunftsfähigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei Verwendung sogenannten Windgases aus P2G ist die Zukunftsfähigkeit gegeben. Für Biogas ist die Marktentwicklung derzeit ungewiss. 	o
Fazit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei wirtschaftlicher und konsequenter Umsetzung können mit diesem System die Vorgaben an CO₂-Emission und dem zukünftig durch die EnEV geforderten Erneuerbaren Energieanteil erfüllt werden. 	+

Legende: + positiv; o neutral; - negativ

8.1.1.5 System 5: Nutzung Elektronetz

Investitionskosten:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergleichsweise geringe Erhöhung der Investitionskosten für das sowieso vorhandene Stromnetz auf Grund zusätzlicher Anschlussleistung. 	+
Machbarkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leistungsfähigeres Stromnetz umzusetzen ist technisch gut möglich. ▪ Unter der Maßgabe der CO₂-freien Wärmeversorgung kommt nur die ausschließliche Nutzung der Wärmepumpentechnologie in Betracht die nicht für alle Gebäude insbesondere Sonderbauten für die Abdeckung der Spitzenlast geeignet ist. 	+
Wirtschaftlichkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wirtschaftlichkeit bei entsprechender bedarfsgerechter Auslegung vorhanden. ▪ Hohe Investitionen und Technikflächenbedarf für Bauherren, die sich ggf. auf die Grundstückserlöse auswirken könnten. 	+
CO ₂ :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CO₂-freie Wärmeversorgung ist dauerhaft nur sehr schwer gewährleistetbar/kontrollierbar. 	-
Flexibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geringe Flexibilität; ▪ zusätzliche Technikflächen in den Gebäuden erforderlich. 	-
Kompatibilität:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prinzipiell alle Gebäudetypen (Retail, Gastro, Office, Sportstätten) mit Wärme versorgbar, jedoch mit hohem Aufwand für jeden Bauherrn. 	-
Innovation:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Innovation ist nur passiv steuerbar. 	-
Zukunftsfähigkeit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kein dauerhafter Einfluss auf Eigentümer und Gebäudetechnik. 	-
Fazit:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nur in Verbindung mit Geothermie- oder LowEx-Netz nutzenden Wärmepumpen sinnvoll. 	o

Legende: + positiv; o neutral; - negativ

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1.2 Untersuchte Systeme

8.1.2.1 Erzeugungssystem 1: Energiezentrale mit Abwärme und Ersatzheizwerk

In mittelbarer und unmittelbarer Nachbarschaft zum Kleinen Grasbrook befinden sich einige Unternehmen des produzierenden Gewerbes. Vielfach sind an diesen Produktionsstandorten Abwärmenutzungskonzepte bereits umgesetzt worden. Die Aurubis als weltweit größter Kupferproduzent betreibt eine in direkter Nachbarschaft zum Kleinen Grasbrook ansässigen Produktionsstätte.

Hier besteht die Möglichkeit, für die OlympiaCity ein nahezu konstantes Abwärmepotential in Höhe von durchschnittlich ca. 65 MW als CO₂-freie Wärme gemäß EEWärmeG und AGFW Arbeitsblatt FW 309 zu nutzen. Die Abwärme ist CO₂-frei, da es sich hierbei nicht um ein klassisches Abfallprodukt aus der Umwandlung von Strom in thermische Energie handelt. Die Abwärme stammt aus einem chemischen Prozess, der Abgasreinigung bei dem Schwefeldioxid in Schwefelsäure umgewandelt wird.

Technisch ist die Auskopplung der Abwärme im Werk von Aurubis in der Hovestraße auf einem Temperaturniveau von bis zu 100 °C möglich. Eine solche Auskopplung erfordert einen erheblichen Investitionsaufwand auf Seiten Aurubis. Ein ernsthaftes Interesse, die Abwärme der OlympiaCity zur Verfügung zu stellen wurde deutlich signalisiert. Die technische Machbarkeit der Wärmeauskopplung wurde bereits im Rahmen eines externen Basic Engineerings geprüft und bestätigt.

Die Versorgungssicherheit während geplanter und ungeplanter Stillstandszeiten des Produktionsbetriebes und für Spitzenlasten ist eine Ersatzwärmeversorgung erforderlich. Dies kann über ein separat zu errichtendes Besicherungsheizwerk erfolgen.

Eine Alternative zur Besicherung in Form eines Anschlusses an das vorhandene Hamburger Fernwärmenetz ist technisch möglich, erscheint jedoch auf Grund unterschiedlicher Temperaturniveaus und erforderlicher Reserveleistungen auf Seiten des Hamburger Fernwärmenetzes derzeit als nicht sehr wahrscheinlich.

Zusätzliche Synergieeffekte ergeben sich aus der ganzheitlichen Betrachtung in Verbindung mit der Abwärmenutzung sowohl für den Kleinen Grasbrook als auch für die Hafencity Ost und einen möglichen Anschluss an das Hamburger Fernwärmenetz. Diese Konstellation würde das Abwärmepotential von Aurubis maximal nutzen, die Wirtschaftlichkeit weiter erhöhen und die Elbe im Hinblick auf die derzeitige Rückkühlung bei Aurubis weiter entlasten. Die anteiligen Investitionskosten für Besicherungs- und Spitzenlastheizwerk sowie für die Fernleitung von Aurubis bis zum Grasbrook würden sich deutlich verringern.

Eine Besicherung über das Hamburger Fernwärmenetz wird derzeit als kritisch erachtet, da das Hamburger Fernwärmenetz mit einem anderen Temperaturniveau betrieben wird, im Winter nicht die zusätzlichen erforderlichen Reserven für den Kleinen Grasbrook derzeit vorhält und somit selbst in ein zusätzliches Besicherungsheizwerk investieren müsste.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

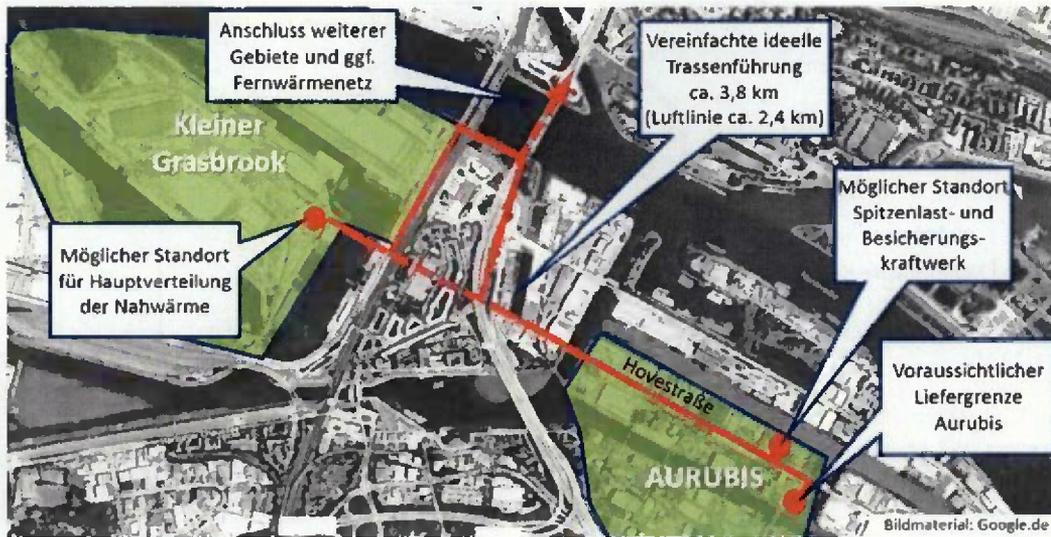
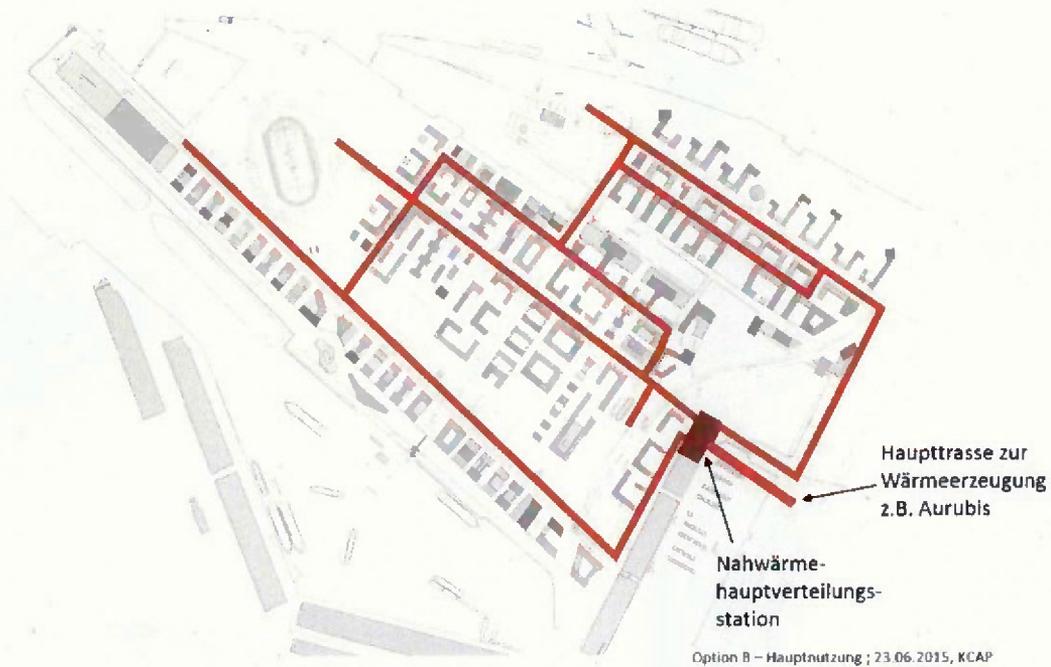


Abbildung 8-1: Darstellung Entfernung Kleiner Grasbrook und Aurubis



Option B – Hauptnutzung ; 23.06.2015, KCAP

Abbildung 8-2: Nahwärmenetz (HT 2-LeiterSystem)

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

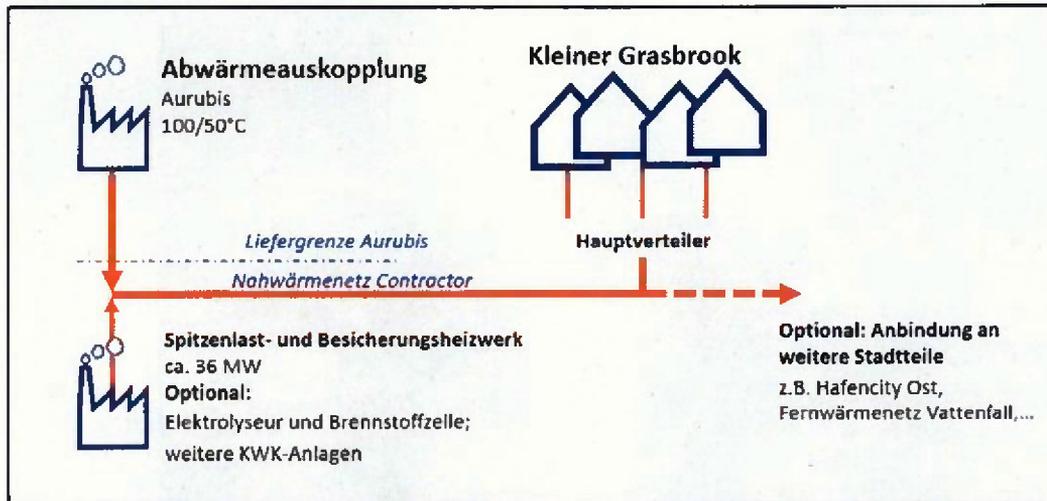


Abbildung 8-3: Prinzipschema Wärmeversorgung für System 1

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Folgende Tabelle erläutert den Erfüllungsgrad der geforderten Kriterien:

System 1: Abwärmenutzung aus Industriebetrieb	
mit Fernleitung und Fernwärmenetznutzung	
Beschreibung	
Primäre Wärmeerzeugung:	
Zentrale Wärmeerzeugung (außerhalb des Kleinen Grasbrooks).	
Abwärmeauskopplung aus Industriebetrieb; Wärme stammt aus exothermen Prozess zur Abgasreinigung; zentrale Wärmeerzeugung.	
Optionale Wärmeerzeuger	
Einbindung der Abwärme aus einer Wasserstoff-Brennstoffzelle oder anderer KWK-Lösungen z. B. am Standort des Spitzenlastkraftwerkes möglich.	
Spitzenlast / Besicherung:	
Heizwerk auf Basis von Biogas oder SNG.	
Pufferspeicher	
Nicht erforderlich - Wärmenetz stellt ausreichend Puffer dar.	
Infrastruktur	
Fernleitung zum Grasbrook und Wärmenetz auf dem Grasbrook.	
Grob-Kostenschätzung	
Grob geschätzt (ohne Investition Aurubis): 17 Mio. EUR	
Bewertung	
Technische Machbarkeit:	
Technisch umsetzbar - Erste Planungskonzepte liegen bereits vor.	
Investitionskosten:	
Hohe Investitionskosten für Fernleitung, Wärmenetz und Besicherung.	
Wirtschaftlichkeit:	
Die Abwärmenutzung zumindest einer Grundlast erscheint wirtschaftlich darstellbar. Problem sind die geringen Grundlasten bei durchweg gleichbleibendem Abwärme-Potential.	
CO₂ / Primärenergie:	
Die Abwärmenutzung ist CO ₂ -neutral. Die Spitzenlastversorgung	
Umweltverträglichkeit:	
Keine zusätzlichen Emissionen oder Rohstoffverbrauch; Entlastung der Elbe durch Verringerung des Wärmeeintrags.	
Risiken	
Technologie der Abwärmeauskopplung ist kompliziert und innovativ - kein Standardprodukt. Wärmeerzeugung ist nicht das Kerngeschäft des Abwärmelieferanten. Fernleitung führt durch Industriegebiet, quert Straßen/Hafenbecken, Kampfmittelbelastetes Areal.	
Innovation:	
Auskopplung technisch anspruchsvoll und innovativ (bestätigt durch KfW).	

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1.2.2 Erzeugungssystem 2: Energiezentrale mit Biomasseheizwerk und KWK

Sollte keine Abwärmeauskopplung, wie im Erzeugungssystem 1 beschrieben, möglich sein, kann die Wärmeversorgung für den kleinen Grasbrook alternativ auch über eine eigene Biomasse-Wärmeversorgungszentrale erfolgen. Hierfür wäre ein Standort außerhalb der OlympiaCity erforderlich.

In dieser Energiezentrale wird Wärme über Kesselanlagen und ggf. zusätzlich Strom über Kraft-Wärmekopplungsanlagen z.B. Dampfturbine für die OlympiaCity erzeugt. Eine geforderte 100%ig CO₂-freie Wärmeerzeugung wäre nach heutigen Maßstäben nicht wirtschaftlich umsetzbar. Üblich wäre eine Grundlastversorgung über Biomasse (100 % regenerativ) und eine Spitzenlastversorgung über Gaskessel (Erdgas fossil). Technisch möglich wäre es, das Erdgas über Biogas zu substituieren, wobei hier der Preisunterschied mit einem Faktor von 2,5 derzeit grob bewertet wird.

Die thermische Verwertung von Holz erfordert Abgasreinigungsprozesse mit teuren Filteranlagen um die Emissionsgrenzwerte (z. B. für NO_x und Feinstaub) sicher einzuhalten.

Andere Biomasse-Energieträger erscheinen derzeit nicht wirtschaftlich einsetzbar.

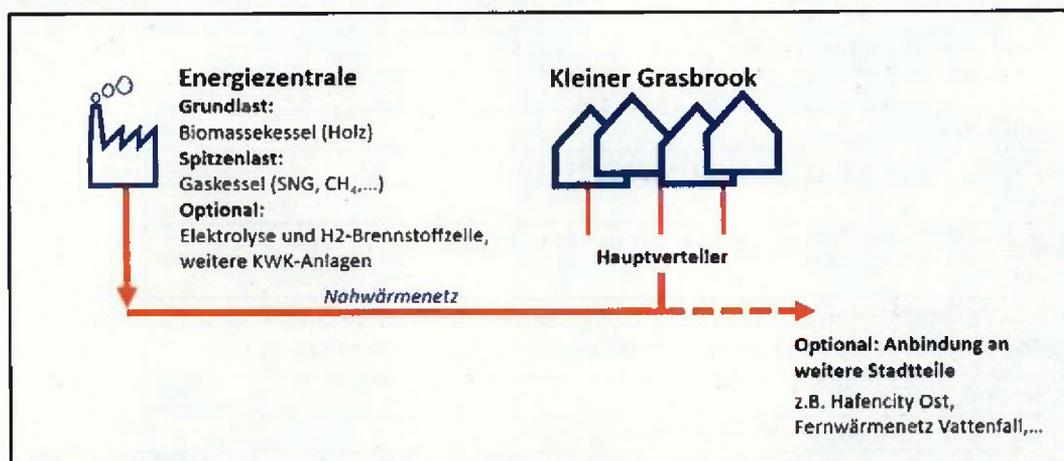


Abbildung 8-4: Prinzipschema Wärmeversorgung für System 2.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
 Stand: 21.09.2015

System 2: Biomasseheizkraftwerk mit Wärmenetz	
mit Fernleitung und Fernwärmenetznutzung	
Primäre Wärmeerzeugung:	
Zentrale Wärmeerzeugung (außerhalb des Kleinen Grasbrooks).	
Hackschnitzelkessel als Grundlastkessel .	
Optionale Wärmeerzeuger	
Einbindung der Abwärme aus einer Wasserstoff-Brennstoffzelle oder anderer KWK-Lösungen wie Dampfturbine möglich.	
Spitzenlast / Besicherung:	
Spitzenlastkessel auf Basis von Biogas (nur Biogastarif).	
Pufferspeicher	
Großer Pufferspeicher zur Erhöhung der Grundlast sinnvoll.	
Infrastruktur	
Fernleitung zum Grasbrook und Wärmenetz auf dem Grasbrook	
Grob-Kostenschätzung	
Grob geschätzt: 36 Mio. EUR	
Technische Machbarkeit:	
Technisch bereits ausgereifte Lösung mit Optimierungspotentialen. Hoher Platzbedarf für Technik und Vorratslager. Emission begrenzen.	
Investitionskosten:	
Höhere Investitionskosten als heutige klassische Lösungen wie Erdgas-BHKW mit Spitzenlastkessel.	
Wirtschaftlichkeit:	
Biogene Energieträger wie Biogas sind etwa 2,5-mal teurer als herkömmliches Erdgas, was die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt.	
CO₂ / Primärenergie:	
Biomasse ist rechnerisch CO ₂ -neutral. Der Bedarf an Biomasse müsste voraussichtlich auch überregional bezogen werden - real entstehen Emissionen durch Transportkosten. Spitzenlastabdeckung über Biogastarif ist teuer und kein reales Biogas.	
Umweltverträglichkeit:	
Lokale Emissionen durch Verbrennungsprozess. Weitere Emissionen durch Transport der Biomasse. Solange es sich bei dem Holz um Abfall- oder Nebenprodukte handelt ist die thermische Verwertung umweltverträglich. Bei Nutzung von "Frischholz" ist das bedenklich.	
Risiken	
Geringes Risiko - Technologie ist ausgereift und bewährt.	
Innovation:	
Innovationsgrad ist gering.	

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1.2.3 Erzeugungssystem 3: Dezentrale Wasser-Wasser-WP mit Geothermie

Bei Wärmepumpen wird durch Kompression eines Kältemittelgases das Temperaturniveau angehoben. Das Gas verdampft bei tiefen Temperaturen und nimmt so Wärme aus der Umwelt auf. Der Kompressor wird in der Regel mit Strom angetrieben. Um eine gute Energiebilanz zu erhalten, sollte der Hub von der Wärmequelle zur Wärmesenke im Gebäude möglichst klein sein. Als Maß für die Güte einer Geothermieanlage dient im Heizfall die Jahresarbeitszahl.

Eine Variante zur Wärmeversorgung von Gebäuden stellt die Wasser-Wasser-Wärmepumpe dar, wenn sie als Energiequelle die Temperatur des Erdreichs über die sogenannte oberflächennahe Geothermie nutzt. Bei der Verwendung von Erdsonden oder aktivierten Bohrpfählen können auch in den Wintermonaten Temperaturen von 8 – 10 °C genutzt werden.

Bei einer erforderlichen Vorlauftemperatur von 50 – 55 °C zur Warmwasserbereitung stellen sich hier gute Arbeitszahlen ein.

Zur Nutzung der oberflächennahen, geothermischen Potenziale des Erdreichs wird Wärme mit Hilfe von Erdsonden, Energiepfählen oder Brunnen in das Erdreich geleitet bzw. diesem entzogen. Die Abbildung 8-5 zeigt den Verlauf der Temperaturen im Erdreich für unterschiedliche Tiefen unter Geländeoberfläche in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Ab einer Tiefe von 10 m ändert sich die Temperatur nur noch sehr langsam. Zum Erdinneren wird es immer wärmer, ca. 3 K pro 100 m⁵.

Im Bereich des Kleinen Grasbrook ist allerdings damit zu rechnen, dass die maximale Bohrtiefe für Erdsonden bei ca. 60 m liegen wird, was die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen verringert.

Die Nutzung von Wärmepumpen in Kombination mit Geothermiebohrungen (oberflächennahe Geothermie) hat somit folgende Vorteile:

- Arbeitszahlen sind höher als bei Luft-Wasser-Wärmepumpen.
- Die Temperaturen des Erdreichs sind auch zur freien Kühlung –primärenergetisch neutral – nutzbar.

Gleichzeitig gibt es aber auch Nachteile bzw. Randbedingungen die zu beachten sind:

- Ein Erdsondenfeld oder auch die Aktivierung der Bohrpfähle ist hinsichtlich der Investitionskosten vergleichsweise sehr teuer, insbesondere dann, wenn es nicht wie heute üblich auf Grundlast ausgelegt ist, sondern auf den gesamten Jahreswärmebedarf. Bedingt durch die hohen Investitionskosten ist die

⁵ Interne Kennzahlen aus vergleichbaren Projekten

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Geothermie heute nur dort wirtschaftlich wo sie auf Grundlast ausgelegt ist und zusätzlich auch einen erforderlichen Kühlbedarf abdeckt.

- Außerdem bedarf es in Kombination mit Geothermie eines Spitzenlasterzeugers der bei der Anforderung, keine fossilen Energieträger zu verbrennen, wirtschaftlich nicht darstellbar ist.
- Darüber hinaus ist die Nutzung ausschließlich zu Heizzwecken nicht nur unwirtschaftlich sondern auch technisch begrenzt. Eine ausschließliche Wärmenutzung, also der permanenten Entzug von Wärme aus dem Sondenfeld führt zu einer zunehmenden Auskühlung bis hin zur Vereisung des Sondenfelds, was es nach einigen Jahren unbrauchbar werden lässt.
- In Anbetracht des strengen Terminplanes können Erdsondenbohrungen den Bauablauf zusätzlich verlängern.

Prinzipiell gibt es am Standort verschiedene Möglichkeiten zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie:

- (passive) Erdsonden – im Bereich Kleiner Grasbrook ca. 60 m tief,
- thermisch aktivierte Gründungspfähle – ca. 16 - 18 m tief,
- (aktive) Integralsonden – ca. 30 m tief,
- Brunnen im 2. Grundwasserleiter.

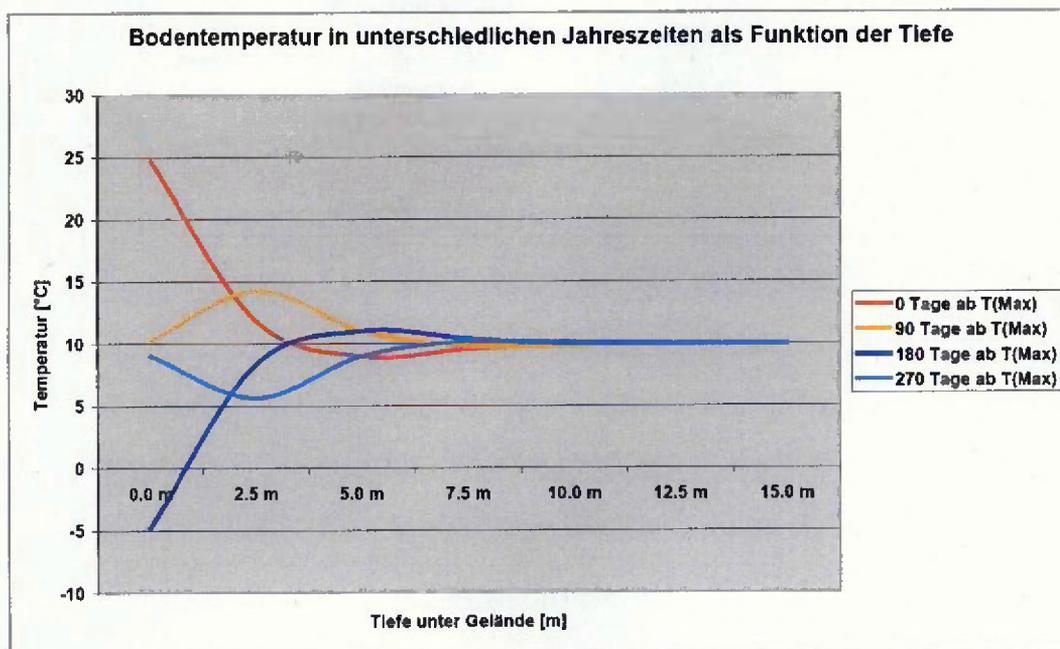


Abbildung 8-5: Temperaturprofil im ungestörten Erdreich für unterschiedliche Zeitpunkte des Jahres bezogen auf Tage nach dem Hochsommer. (Quelle: Eigene Messungen)

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Fazit

Geothermieeinsatz ist nur empfehlenswert und wirtschaftlich, wenn diese sowohl zu Heiz- als auch zu Kühlzwecken in einem ausgeglichenen Verhältnis genutzt wird. Zudem sollte das Geothermiefeld auf Grundlast ausgelegt sein und nicht auf Spitzenlast, was allerdings einen Spitzenlastwärmeerzeuger auf Basis regenerativer Energien erforderlich machen würde. Die Spitzenlast könnte über Strom-Direktheizung abgedeckt werden. Dies setzt allerdings ein funktionierendes Smart Grid in Verbindung mit Smart Metering voraus, um tatsächlich nur überschüssigen Strom aus erneuerbaren Quellen zu nutzen. Eine zusätzliche Einbindung von Solarthermie wäre energetisch zwar von Nutzen, wirtschaftlich jedoch nicht darstellbar. Geothermie ist eine geeignete Technologie für die Grundlastversorgung von ausgeglichenen Heiz- und Kühlenergiebedarfen, jedoch nicht als primärer Wärmeerzeuger für die hier gestellten Anforderungen.

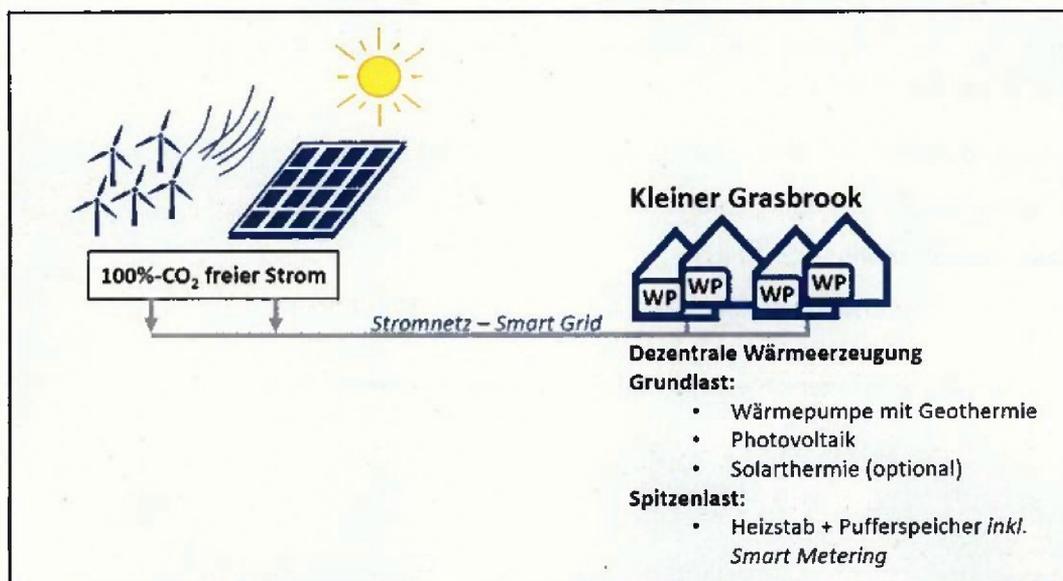


Abbildung 8-6: Prinzipschema Wärmeversorgung System 3

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

System 3: Dezentrale Wärmeerzeugung	
mit Elektronetz-Nutzung (Smart Grid)	
Primäre Wärmeerzeugung:	
Dezentrale Wärmeerzeugung in den Gebäuden.	
Wärmepumpe mit Geothermienutzung.	
Optionale Wärmeerzeuger	
(zusätzlich Solarthermie und PV)	
Spitzenlast / Besicherung:	
Elektroheizung mit Smart Meter Steuerung.	
Pufferspeicher	
Großer Pufferspeicher zur flexiblen Nutzung der Stromtarife.	
Infrastruktur	
Stromnetz mit erhöhter Leistung.	
Grob-Kostenschätzung	
grob geschätzt > 70 Mio. EUR	
Bewertung	
Technische Machbarkeit:	■
Es würden über 10.000 Erdsonden auf dem Grasbrook erforderlich (Hochwasserschutz, Bauzeitverlängerung). Technisch ausgereifte Lösung, allerdings werden die Heizungssysteme dadurch komplexer und anfälliger - kontinuierliche Betriebsüberwachung erforderlich.	
Investitionskosten:	■
Sehr hohe Investitionskosten für Geothermie, aber auch für Technikflächen und Wärmepumpen etc. in den Gebäuden.	
Wirtschaftlichkeit:	■
Eine Wirtschaftlichkeit wäre nur bei Umsetzung der Smart Grid/Smart Metering Technologie mit entsprechend flexiblen Stromtarifen denkbar aber speziell für Gebäude mit hohem Warmwasserbedarf im Moment nicht nachweisbar.	
CO₂ / Primärenergie:	■
CO ₂ -neutrale Wärmeversorgung ist möglich bei Bezug von Ökostrom für die Wärmepumpen (Nach EnEV nur dann, wenn Strom für Wärmepumpe durch PV-Anlage am Gebäude produziert wird).	
Umweltverträglichkeit:	■
keine lokalen Emissionen; Wärmeentzug des Erdreichs muss sorgfältig geprüft und geplant werden.	
Risiken	■
Risiko, dass prognostizierte Erträge nicht erreicht werden und dass die erforderliche Anzahl an Sonden nicht auf den Grundstücken untergebracht werden können. Hohe Abhängigkeit zur reinen Stromheizung. Entwicklung der erforderlichen Smart Grid/Smart Metering Technologie nicht prognostizierbar.	
Innovation:	■
Die vollständige CO ₂ -freie Abdeckung des Wärmebedarfs für ein Quartier dieser Größe nur über Strom wäre innovativ.	

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1.2.4 Erzeugungssystem 3.1: Dezentrale Luft-Wasser-WP mit Solarthermie

Luft-Wasser-Wärmepumpen in Kombination mit Solarthermie müssten neben der Heizung auch das Warmwasser für die Gebäude erzeugen. Während der olympischen Spiele, die in den Sommermonaten stattfinden und wo voraussichtlich ausschließlich Warmwasser benötigt wird, funktioniert diese Lösung aus energetischer Sicht sehr gut, da sowohl die Arbeitszahlen der Wärmepumpe bei hohen Außenlufttemperaturen sehr gut sind als auch die Solarthermie hohe Erträge produziert.

In der Hauptnutzung wird es in den Wintermonaten dagegen sehr ungünstig. Bei niedrigen Außentemperaturen und geringer Solarstrahlung (November bis Februar) arbeitet die Wärmepumpe mit einem sehr ungünstigen Nutzungsgrad und die Solarthermie produziert kaum Erträge.

Das bedeutet, dass die Luft-Wasser-Wärmepumpe im Winter sehr hohen Strombedarf aufweist, um die erforderliche Wärmemenge zur Verfügung zu stellen. Ökologisch attraktiver könnte diese Technologie werden, wenn mit Unterstützung intelligenter Steuerung die Wärmepumpen stromgeführt bei Stromüberschuss aus regenerativen Energien betrieben werden und die Erzeugte Wärme in großen Wärmespeichern zwischengespeichert wird. Somit wäre ein Beitrag zur Entlastung der Stromnetze bei Kapazitätsüberschuss geleistet.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Kombination aus Luft-Wasser-Wärmepumpe und Solarthermie eher ungünstig zu bewerten, da die Systeme im Sommer miteinander konkurrieren. Während die Solaranlage die höchsten Erträge erzielt, arbeitet auch die Wärmepumpe mit maximalen Nutzungsgrad. Im Winter sind unter ungünstigen Bedingungen beide Systeme ungeeignet bzw. ineffizient.

Hinsichtlich des Technikflächenbedarfs werden Außenluftansaugungen und Fortluftauslässe erforderlich. In den Gebäuden sind entsprechend große Pufferspeicher vorzusehen.

Selbst bei Verfügbarkeit von Smart Grid und Smart Metering ist die Umweltenergiequelle Außenluft für Gebäude mit zentraler Warmwasserbereitung nicht geeignet. Eine Umsetzung der Wärmeversorgung über dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen wird nicht empfohlen.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1.2.5 Erzeugungssystem 4: Dezentrale Wasser-Wasser-WP mit LowEx-Wärmenetz

Ein Nahwärmenetz bzw. Freikühlungsnetz wie in Kapitel 8.1.1.2 beschrieben, auf niedrigem Temperaturniveau bis ca. 30 °C im Sommer, könnte ebenfalls als Wärmequelle für die Wärmepumpen dienen.

Insbesondere im Sommer würden mit der zeitgleichen Netznutzung zur Rückkühlung der Kälteprozesse sehr hohe Arbeitszahlen erreicht. Diese aktive Verschiebung von Abwärmepotentialen verbessert zusätzlich die Wirtschaftlichkeit des Netzes.

Problematisch wird diese Variante in der Übergangszeit und im Winter. Das Elbwasser kann bis zu 0 °C kalt werden. Systembedingt ist eine Mindesttemperatur der Elbe von 9 °C notwendig. Dies entspricht z. Zt. einer Lufttemperatur von ca. 13 °C, so dass sehr früh auf Grundwasser umgeschaltet werden muss.

Die Kapazität der Grundwasserbrunnen ist dann auf den gesamten Wärmebedarf für eine Nutzungsdauer von fast 80 % der Heizperiode auszulegen. Es ist noch gutachterlich zu prüfen, ob diese hohe Kühlwassermenge gefördert werden kann.

	Arbeitszahl inkl. WW (55 °C)	+ Solar (30 % WW Deckung)
V3.1 Luft-Wasser-WP mit Außenluft	2,3	2,7
V3.2 Wasser-Wasser-WP mit Geothermie	3,0	3,4
V3.3 Wasser-Wasser-WP mit Freikühlungsnetz	3,5	3,9

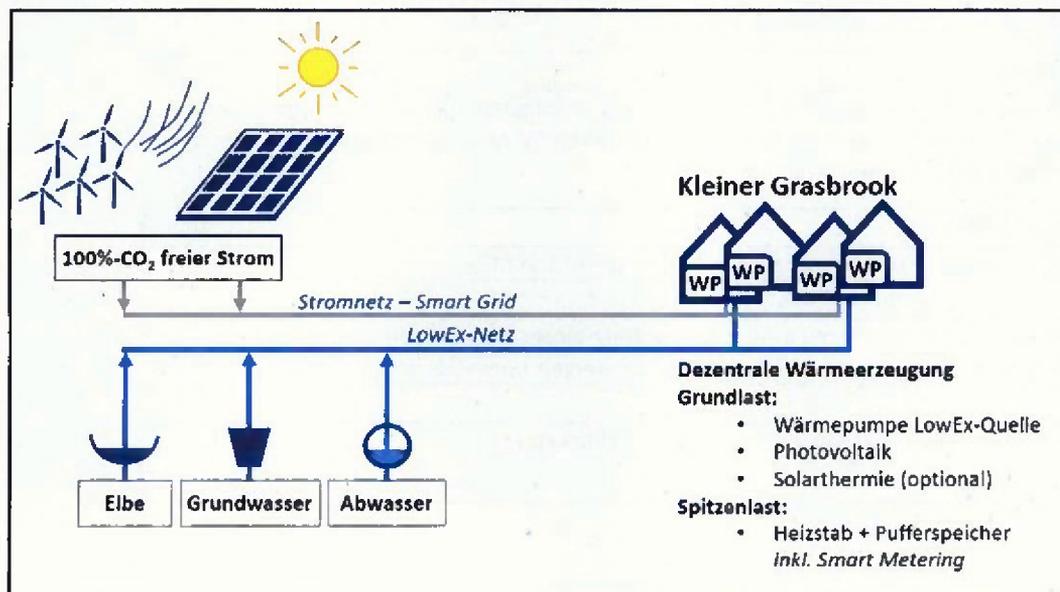


Abbildung 8-7: Prinzipschema Wärmeversorgung System 4

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

System 4: Dezentrale Wärmeerzeugung mit LowEx- und Elektronetz-Nutzung (Smart Grid)	
Primäre Wärmeerzeugung: Dezentrale Wärmeerzeugung in den Gebäuden. Wärmepumpe mit LowEx-Wärmenutzung.	
Optionale Wärmeerzeuger (zusätzlich Solarthermie und PV)	
Spitzenlast / Besicherung: Elektroheizung mit Smart Meter Steuerung.	
Pufferspeicher Großer Pufferspeicher zur flexiblen Nutzung der Stromtarife.	
Infrastruktur	
Grob-Kostenschätzung grob geschätzt: 25 Mio. EUR	
Bewertung	
Technische Machbarkeit:	
Wärmepumpen sind ausgereifte Systeme. In Verbindung mit LowEx-Leiter eine geeignete Kombination und technisch handhabbar.	
Investitionskosten:	
Investitionskosten im Vergleich mit sonstigen dezentralen Wärmeerzeugungssystemen vergleichsweise gering - jedoch höher als bei Fernwärme.	
Wirtschaftlichkeit:	
Die Wirtschaftlichkeit hängt davon ab, zu welchen Kosten ein LowEx Netz sich betreiben lässt, da dies noch für andere Nutzungen bereit stünde.	
CO₂ / Primärenergie:	
CO ₂ -neutrale Wärmeversorgung ist möglich bei Bezug von Ökostrom für die Wärmepumpen (Nach ENEC nur dann, wenn Strom für Wärmepumpe durch PV-Anlage am Gebäude produziert wird); Energieeffiziente Wärmeerzeugung.	
Umweltverträglichkeit:	
Keine lokalen Emissionen - keine zusätzlichen Umweltbeeinträchtigungen.	
Risiken	
Das System ist nur in Verbindung mit einem LowEx-Netz einsetzbar, dessen Umsetzung auf Grund der Wirtschaftlichkeit/möglicher Subventionen derzeit ungewiss ist.	
Innovation:	
Innovationsgrad wäre hoch. Das System hätte Vorbildcharakter.	

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1.2.6 Erzeugungssystem 5: Power-to-Gas mit dezentraler Wärmeerzeugung

Bei diesem System wird davon ausgegangen, dass in der Nähe zum Kleinen Grasbrook eine Gaserzeugungsanlage nach dem Power-to-Gas (P2G)-Verfahren mit dahinter geschaltetem Gasnetz errichtet wird.

Das Gas wird mittels Elektrolyseur und anschließender Methanisierung aus elektrischem Strom erzeugt. Bei dem dafür verwendeten Strom handelt es sich jedoch um Überkapazitäten aus Windkraft oder Photovoltaikanlagen, die das Netz oder der Markt nicht aufnehmen kann. Mittels Elektrolyseur wird der Strom erst in Wasserstoff und anschließend, für den Transport in einem Gasnetz zu den Verbrauchern, in Methan umgewandelt. Dort können mit dem erzeugten Methan BHKWs und Gasheizungen betrieben werden. Eine Abdeckung von Grund- und Spitzenlast auf dem jeweils erforderlichen Temperaturniveau wäre somit möglich.

Die Wirkungsgrade haben sich in den letzten Jahren verbessert, sind aber in der Regel noch zu gering, um eine wirtschaftliche Nutzung von Power-to-Gas-Anlagen in der hier beschriebenen Form zu ermöglichen. Die Wirtschaftlichkeit wird beispielsweise erhöht, wenn die Abwärme aus der Elektrolyse sinnvoll genutzt werden kann. Das spricht wiederum für eine zentrale Nutzung der Abwärme aus Wasserstoffproduktion und Verstromung, bei dem die Abwärme über ein Nahwärmenetz zur OlympiaCity transportiert wird.

Dieses System wird auf Grund der noch unsicheren Entwicklung für die Zukunft nicht quantitativ bewertet und kann nach heutigem Kenntnisstand ohne entsprechende Fördergelder nicht zur Umsetzung empfohlen werden. Die Power-to-Gas- Technologie wird aber als aussichtsreiche Technologie für 2024 erachtet und sollte, wenn auch voraussichtlich keine primäre Lösung, ein wichtiger Baustein innerhalb der Energieversorgung sein.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

System 5: Power-to-Gas mit dezentraler Wärmeerzeugung	
mit Gas- und Elektronetz-Nutzung	
Primäre Wärmeerzeugung:	
Dezentrale Wärmeerzeugung in den Gebäuden.	
BHKW.	
Optionale Wärmeerzeuger	
(zusätzlich Solarthermie und PV)	
Spitzenlast / Besicherung:	
Gaskessel mit Nutzung von Methan.	
Pufferspeicher	
Pufferspeicher.	
Infrastruktur	
Gasleitung und Gasnetz auf dem Grasbrook.	
Grob-Kostenschätzung	
keine Angabe	
Bewertung	
Technische Machbarkeit:	
Technisch funktionierende Lösung mit Optimierungspotentialen. Hoher Platzbedarf außerhalb des Kleinen Grasbrook. Trassenführung Gasleitung zum Grasbrook.	
Investitionskosten:	
Sehr hohe Investitionskosten für die P2G-Technologie inkl. Gasnetz.	
Wirtschaftlichkeit:	
Eine Wirtschaftlichkeit ist in dieser Form derzeit nicht darstellbar.	
CO₂ / Primärenergie:	
Das System kann bilanziell CO ₂ -neutral Gas erzeugen und auch die dezentrale Verbrennung des Methans wäre bilanziell CO ₂ -neutral.	
Umweltverträglichkeit:	
Es entstehen keine beeinträchtigenden Emissionen durch die Verbrennung des Methans auf dem kleinen Grasbrook.	
Risiken	
Technologie steckt noch in der Entwicklung. Es gibt bisher nur wenige Anlagen dieser Größenordnung.	
Innovation:	
Innovationsgrad ist hoch.	

System 5: Power-to-Gas mit dezentraler Wärmeerzeugung	
mit Gas- und Elektronetz-Nutzung	
Primäre Wärmeerzeugung:	
Dezentrale Wärmeerzeugung in den Gebäuden	
BHKW	

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
 Stand: 21.09.2015

Optionale Wärmeerzeuger	
(zusätzlich Solarthermie und PV)	
Spitzenlast / Besicherung:	
Gaskessel mit Nutzung von Methan	
Pufferspeicher	
Pufferspeicher	
Infrastruktur	
Gasleitung und Gasnetz auf dem Grasbrook	
Grob-Kostenschätzung	
keine Angabe	
Bewertung	
Technische Machbarkeit:	
Technisch funktionierende Lösung mit Optimierungspotentialen. Hoher Platzbedarf außerhalb des Kleinen Grasbrooks. Trassenführung Gasleitung zum Grasbrook	
Investitionskosten:	
Sehr hohe Investitionskosten für die P2G Technologie inkl. Gasnetz.	
Wirtschaftlichkeit:	
Eine Wirtschaftlichkeit derzeit noch nicht erreichbar.	
CO2 / Primärenergie:	
Das System kann bilanziell CO2 neutral Gas erzeugen und auch die dezentrale Verbrennung des Methans wäre bilanziell CO2 neutral.	
Umweltverträglichkeit:	
Es entstehen lokale Emissionen durch Verbrennung des Methans auf dem kleinen Grasbrook.	
Risiken	
Technologie steckt noch in der Entwicklung. Es gibt bisher nur wenige Anlagen dieser Größenordnung.	
Innovation:	
Innovationsgrad ist hoch.	

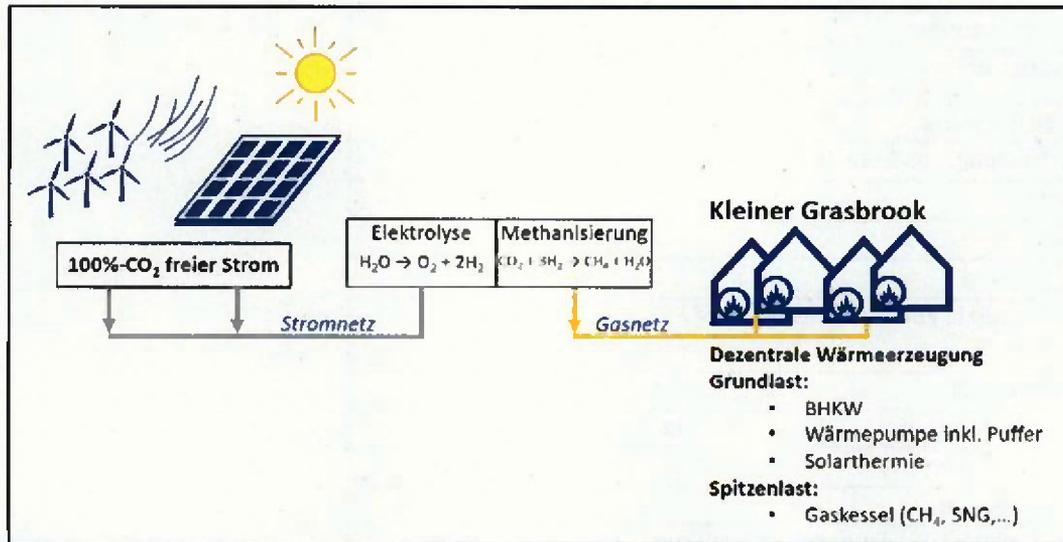


Abbildung 8-8: Prinzipschema Wärmeversorgung für System 5

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1.2.7 Erzeugungssystem 6: Rücklaufauskühlung des Fernwärmenetzes mit WP

Das Hamburger Fernwärmenetz versorgt heute große Teile der Stadt nördlich der Elbe. Nach eigenen Angaben versorgt Vattenfall 451.000 Wohneinheiten in Hamburg mit Wärme. Die Wärme stammt dabei aus zwei Heizkraftwerken, 5 Heizwerken und 8 Blockheizkraftwerken. Gemäß Zertifikat erfolgt die Wärmebereitstellung mit einem Anteil von 90,4 % aus Kraft-Wärme-Kopplung und zu 13,8 % aus regenerativ erzeugter Wärme. Der Primärenergiefaktor des Fernwärmeversorgungssystems beträgt 0,57.

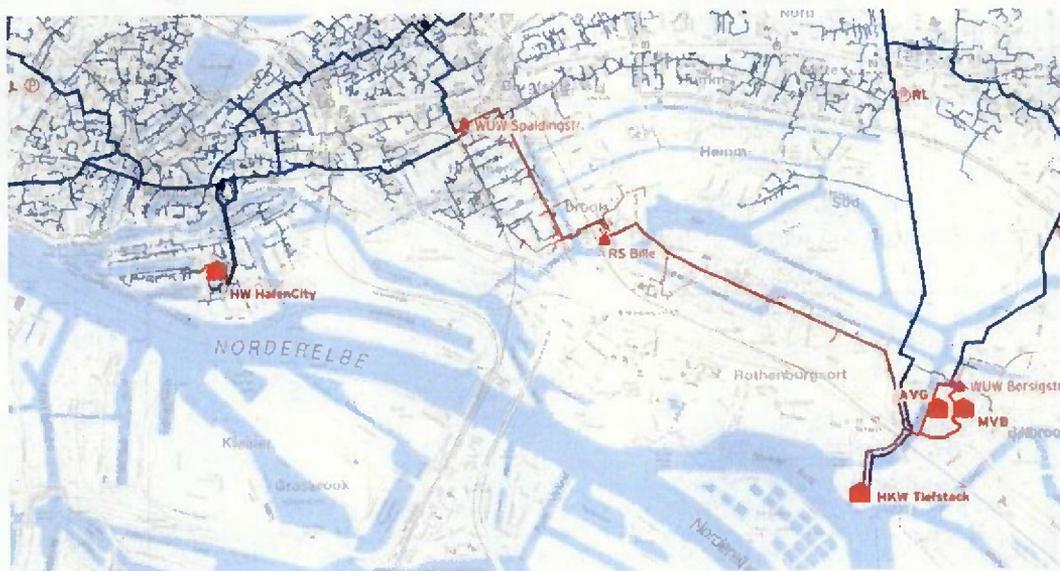


Abbildung 8-9: Auszug aus der Fernwärmenetzkarte (Quelle: Vattenfall)

Das Fernwärmenetz wird mit einer Systemtemperatur von 136/50°C betrieben.

Die OlympiaCity kann auf Grund ihrer energieeffizienten Bauweise mit deutlich geringeren Systemtemperaturen versorgt werden als der Rest der Stadt. Aus diesem Grund sieht das Konzept vor, den Rücklauf des Fernwärmenetzes mit 50 °C über eine zentrale Wärmepumpe auf die erforderlichen 75 °C zu erwärmen und damit die OlympiaCity zu versorgen.

Die Auskühlung der Fernwärme ist sinnvoll, weil damit im Winter die bereits vorhandenen Kraftwerke besser ausgenutzt und effizienter betrieben werden können. Im Sommer können ohnehin vorhandene Wärmeüberschüsse z. B. aus der Müllverbrennungsanlage Borsigstraße abgenommen werden.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Die Fernwärme Hamburgs weist trotz geringem Primärenergiefaktor von 0,57 sehr hohe spezifische CO₂-Emissionen von 327 g CO₂ je kWh auf, was aus dem vergleichsweise großen Anteil an Kohle als Brennstoff resultiert⁶.

Wie die spezifischen CO₂-Emissionen für die hier skizzierte Rücklaufauskühlung bewertet werden würden, ist derzeit noch unklar. Dies hängt auch von der weiteren Entwicklung der Wärmeerzeugungsstruktur im Hamburger Fernwärmenetz ab.

Zur Umsetzung des Konzepts ist eine Fernwärmetrasse vom bestehenden Hamburger Fernwärmenetz zum Grasbrook erforderlich. Die Wärmepumpe könnte in der Nähe der Kraftwerke von Vattenfall im Industriegebiet stehen und dort die Wärme erzeugen, so dass auf dem kleinen Grasbrook keinerlei zusätzliche Technikflächen vorgehalten werden müssen.

Allerdings ist die Trassenführung vom bestehenden Netz zum Kleinen Grasbrook über die Elbe problematisch und stellt ein wirtschaftliches Risiko dar.

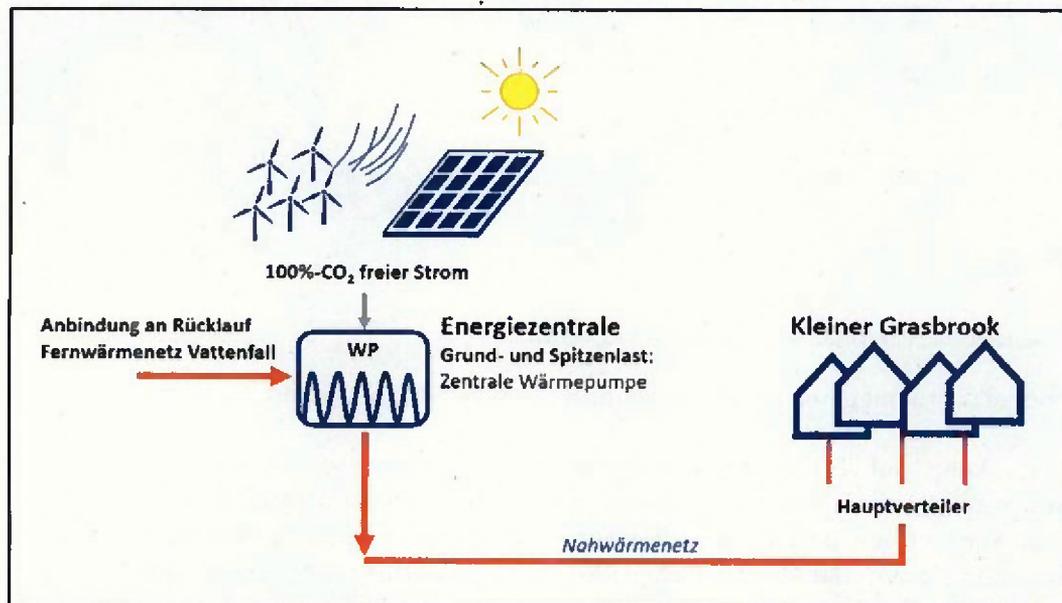


Abbildung 8-10: Prinzipschema Wärmeversorgung System 6

⁶ Gutachten „Rekommunalisierung der Hamburger Fernwärmeversorgung“; LBD-Beratungsgesellschaft mbH; Stand 05. September 2013

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

System 6: Rücklaufauskühlung FW-Netz mit Fernleitung und Wärmenetznutzung	
Primäre Wärmeerzeugung:	
Zentrale Wärmeerzeugung (außerhalb des Kleinen Grasbrooks).	
Zentrale Wärmepumpenanlage mit Wärmenutzung aus RL des FW-Netz Vattenfall.	
Optionale Wärmeerzeuger	
Einbindung der Abwärme aus einer Wasserstoff-Brennstoffzelle oder anderer KWK-Lösungen dezentral oder zentral möglich.	
Spitzenlast / Besicherung:	
Redundante Maschinentechnik; Elektroheizung mit Smart Meter Steuerung.	
Pufferspeicher	
Großer Pufferspeicher zur flexiblen Nutzung der Stromtarife.	
Infrastruktur	
Fernleitung zum Grasbrook und Wärmenetz auf dem Grasbrook.	
Grob-Kostenschätzung	
Grob geschätzt: 44 Mio. EUR	
Technische Machbarkeit:	
Technisch funktionierende Lösung mit Optimierungspotentialen. Hoher Platzbedarf außerhalb des Kleinen Grasbrook. Max. Rücklauftemperaturen des Fernwärmenetzes bis 60 °C möglich.	
Investitionskosten:	
Hohe Investitionskosten für Fernleitung und Wärmenetz.	
Wirtschaftlichkeit:	
Die Abwärmenutzung aus dem Rücklauf des Fernwärmenetzes ist wirtschaftlich darstellbar. Gute Regelbarkeit der Anlagen. Gute COP-Werte (ca. 5,0), da Wärmequelle auf hohem Temperaturniveau.	
CO₂ / Primärenergie:	
Mit Speisung der Wärmepumpe über regenerativ erzeugten Strom ist dieser Anteil CO ₂ -neutral produzierbar. Da die genutzte Wärme aus dem Rücklauf nicht CO ₂ -neutral ist, wird das Ziel möglicherweise nicht erreicht werden können.	
Umweltverträglichkeit:	
Keine zusätzlichen lokalen Emissionen.	
Risiken	
Die Wärmepumpentechnologie auch in dieser Größenordnung gilt als ausgereift und beherrschbar. Die Fernleitung zum Grasbrook führt durch Industriegebiet, quert Straßen/Hafenbecken sowie kampfmittelbelastetes Areal.	
Innovation:	
Hoher Innovationsgrad, da weltweit nur wenige ähnliche Anlagen bisher realisiert wurden.	

8.1.3 Zusätzliche Wärmeerzeuger

Zusätzlich zu den primären Grund- und Spitzenlasterzeugern können verschiedene dezentrale Wärmeerzeuger eingebunden werden. Im Folgenden sind mögliche Technologien beschrieben.

8.1.3.1 Solarthermieanlagen

Solarthermieanlagen leisten einen Beitrag zur Wassererwärmung. In dieser Klimaregion leisten sie den wesentlichen Beitrag während der Sommermonate und kommen daher vorrangig dort zum Einsatz wo auch während der Sommermonate ein Wärmebedarf vorhanden ist. Dies ist bei allen Gebäuden mit zentraler Warmwasserbereitung der Fall z.B. Wohngebäude, Hotels, Schwimmbäder, ggf. auch Kitas und Gastronomie.

Solarthermieanlagen können auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden. Für einen spürbaren Anteil bedarf dies jedoch in der Regel großer Solarthermiekollektorflächen in Bezug auf die zu beheizte Nutzfläche sowie einen entsprechenden Heizwärmebedarf auch in den sogenannten Übergangsmonaten (hohe Heizgrenztemperatur). Bei den geplanten Gebäuden auf dem Grasbrook könnte die Solarthermie auch einen Anteil zur Heizungsunterstützung leisten, auch wenn dieser auf Grund der geringen verfügbaren Außenfläche zur beheizten Nutzfläche gering ausfallen wird.

Auf Grund der vergleichsweise geringen jährlichen Solarstrahlung in dieser Region erfordern Solarthermieanlagen eine sorgfältige und fachgerechte Auslegung für einen wirtschaftlichen Betrieb. Solarthermieanlagen zur signifikanten Heizungsunterstützung erfordern saisonale Speicher, da diese im Sommer sonst mehr produzieren würden, als das Gebäude abnehmen kann.

Der Einsatz von saisonalen Speichern wird voraussichtlich aus Gründen des erforderlichen Flächenbedarfs sowie der hohen Kosten für unterirdische Maßnahmen auf dem Gelände der OlympiaCity nicht umzusetzen sein.

Trotzdem kann die Solarthermie eine sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvolle Technologie zur Verbesserung der Endenergieeffizienz und des Primärenergieeinsatzes sein. Die Art und Größe der Anlage ist jedoch, wie zuvor schon erläutert, individuell für jedes einzelne Gebäude sehr sorgfältig zu prüfen.

Dächer und auch Fassaden der Gebäude könnten mit Solarthermiekollektoren ausgestattet werden. Zu beachten ist, dass die Solarthermie im Wettbewerb mit Photovoltaik als auch mit anderen Nutzungen der Dachfläche z. B. urban farming, Aufenthaltsbereiche, etc. steht.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

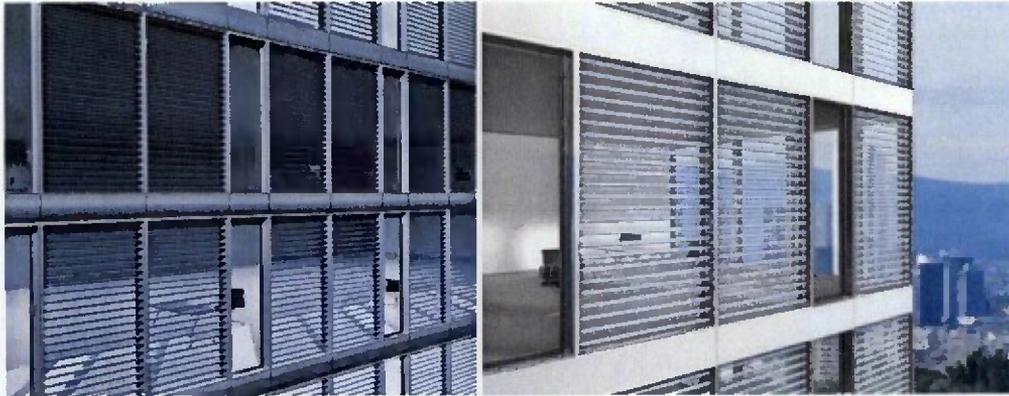


Abbildung 8-11: Beispiele für Fassadenkollektoren (Quelle: "CPC Office/System WICONA und Ritter XL Solar")

Die Vergangenheit zeigt jedoch auch, dass richtig ausgelegte Solarthermieanlagen und deren funktionierende Einbindung in Heizungssysteme immer noch problematisch sind und viele bestehende Anlagen nicht so arbeiten wie in der Planung beabsichtigt. Daher ist zu empfehlen den Betrieb der Solaranlagen in die Hand eines professionellen Contractors zu übergeben, anstatt dies den unterschiedlichsten Bauherrn/in zu überlassen.

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass Solarthermieanlagen in Verbindung mit der Nutzung von KWK-Abwärme, Müllverbrennung oder industrieller Abwärme im Wettbewerb stehen. Die Abwärme aus den genannten Prozessen steht ganzjährig zur Verfügung und produziert in der Regel außerhalb der Heizperiode ohnehin Wärmeüberschüsse, die dann zusätzlich ungenutzt weggekühlt werden müssen. Die Nutzung der Flächen für Photovoltaik kann unter bestimmten Voraussetzungen sinnvoller sein.

8.1.3.2 Wasserstoff-KWK

Als eine zusätzliche Option wird die mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle betrachtet. Dieses System kann in Ergänzung zu den zentralen Systemen 1, 2 und 6 eingesetzt werden. Technologisch ähnelt sich dieses System dem System 5 „Power-to-Gas“.

Die zentralen BHKWs könnten mit Wasserstoff, der aus überschüssigem regenerativem Strom erzeugt wird, betrieben werden. Bei diesem Kraft-Wärme-Kopplungsprozess wird nur Wasserdampf freigesetzt.

Technisch ist diese Technologie noch nicht ausgereift und weist noch Potential für weitere Wirkungsgradsteigerungen und Kostenoptimierung auf.

Die Wasserstoff-KWK-Nutzung ist nur als Grundlast geeignet und somit nur als sekundärer Wärmeerzeuger. Bereits heute sind wasserstoffbetriebene BHKW-Anlagen mit vorgelagerter Elektrolyse erfolgreich in Betrieb.

Zum heutigen Zeitpunkt sind sehr hohe Investitionskosten erforderlich. Ein Investitionskostenreduzierungspotential für die kommenden Jahre wird erwartet.

Die Wärmeerzeugung ist 100 % CO₂-neutral und nachhaltig.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.1.3.3 Abwasserwärmenutzung

Bei der Nutzung eines Niedrigtemperaturnetzes könnte u. a. auch Abwasserwärme in das Netz eingespeist werden und zur Beheizung der Gebäude mittels Wärmepumpen beitragen.

Abwasser entsteht in Haushalten beim Duschen oder Waschen aber auch in der Industrie und Gewerbe. Abwasser weist im Jahresverlauf in der Regel eine Temperatur zwischen 12 °C und 20 °C auf. Dieses energetische Potential gegenüber der Umwelt lässt sich mittels Wärmetauscher dem Abwasser entziehen und durch dezentrale Wärmepumpen energetisch effizient auf ein für Heizwecke erforderliches Temperaturniveau anheben.

Die Technologie ist lange bekannt und bewährt. Lediglich die Umsetzung erfolgt bisher eher zögerlich, da die Wärmedichte von Abwasser eher gering ist.

Die Abwärme kann, je nach Einbindung in das Energiekonzept, direkt im Gebäude, am Kanal oder aber auch erst im Klärwerk zurückgewonnen werden. Entsprechende Technologien stehen dafür bereits heute am Markt zur Verfügung.

Diese sinnvolle Art der Abwärmenutzung ist jedoch bilanziell begrenzt, da der Energieinhalt des Abwassers nicht ausreicht um das Gebäude hiermit ausschließlich zu beheizen. Daher kann dieses System nur die Grundlast abdecken. Eine zusätzliche Spitzenlastheizung wird erforderlich. Optimal einzubinden ist dieses System in das LowEx-Wärmenetz bzw. in das 4-Leiter-Wärmenetz.

Die Abwasserwärmenutzung passt ideal in das Konzept eines LowEx-Netzes oder kann direkt für ein oder zwei Gebäude idealerweise ohne zentrale Warmwasserbereitung genutzt werden.

8.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In einer ersten groben Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden ausgewählte Wärmeerzeugungssysteme in Verbindung mit der dazugehörigen Infrastruktur gegenübergestellt. Mit Hilfe des Annuitätenverfahrens wurden die Systeme nach VDI 2067 dynamisch bewertet. Die Wärmeversorgungssysteme 5 Power-to-Gas und 6 Rücklaufabkühlung wurden in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht aufgeführt.

Für das System 5 ist im Rahmen dieser Untersuchung keine verlässliche Investitionskostenschätzung und Prognose der durchschnittlich erzielbaren Preise für überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien möglich.

Für das System 6 gibt es bis dato noch keine Angaben von Vattenfall über ein mögliches Preisniveau für die Wärme aus dem Rücklauf. Darüber hinaus sind auch die Investitionskosten auf Grund vieler Unsicherheiten in der Trassenführung so hoch geschätzt, dass eine Wirtschaftlichkeit nicht darstellbar ist.

Für die Systeme 1, 2 und 3 wurden die Investitions-, Energie und Betriebskosten grob geschätzt und die erforderlichen Randbedingungen und Prämissen angenommen.

8.2.1 Investitionskosten

Im Folgenden sind die wesentlichen Investitionsblöcke für die jeweiligen Maßnahmen zusammengefasst. Alle Investitionskosten beziehen sich auf das Jahr 2015. Insbesondere für Zukunftstechnologien, wie beispielsweise der Wasserstoffbrennstoffzellen, liegen keine Referenzkostenkennwerte in der Größenordnung vor.

8.2.1.1 Investitionskosten Abwärmenutzung Aurubis

Tabelle 8-1: Investitionskosten Abwärmenutzung Aurubis

Position	Grobkosten-Schätzung	Bemerkungen
Auskopplung Abwärme frei Grundstücksgrenze	-	Finanziert Aurubis und Umlage auf Arbeitspreis.
Fernleitung bis Hauptverteilung	6.000 T€	Ca. Ø DN 500; ca. 4 km inkl. Sicherheitszuschlag.
Ersatzheizwerk (Erdgas)	6.000 T€	Inkl. Gebäude, Pacht und Verteilung.
Nahwärmenetz auf Grasbrook inkl. Hauptverteilung und 120 Hausanschlüsse	8.000 T€	Ca. 7 km Trasse; Hauptverteilung im UG eines Gebäudes auf dem Kleinen Grasbrook
Summe (netto)	20.000 T€	
zzgl. Planer-Honorare, Gutachten, etc. Pauschal 20 %	4.000 T€	
Summe (netto) – Investitionskosten	24.000 T€	

Hinweis: Bei der gemeinsamen Nutzung mit der Abwärmeversorgung für andere Stadtteile wie Hafencity Ost, Anschluss an das Hamburger Fernwärmenetz, etc. ergeben sich Synergieeffekte bei den Investitionskosten die hier noch nicht dargestellt sind. Die Kostenvorteile würden sich vor allem auf die Positionen „2 - Fernleitung bis zur Hauptverteilung“ und „3 – Ersatzheizwerk“ auswirken. Der Synergieeffekt wird mit ca. 4 Mio. EUR geschätzt.

8.2.1.2 Investitionskosten Biomasseheizwerk

Tabelle 8-2: Investitionskosten Biomasseheizwerk

Position	Grobkosten-Schätzung	Bemerkungen
Biomasseheizwerk	25.000 T€	Ohne Berücksichtigung von KWK-Anlagen; inkl. Spitzenlastzeugung und Redundanz.
Fernleitung bis Hauptverteilung	6.000 T€	Ca. Ø DN 500; ca. 4 km inkl. Sicherheitszuschlag.
Nahwärmenetz auf Grasbrook inkl. Hauptverteilung und 120 Hausanschlüsse	8.000 T€	Ca. 7 km Trasse; Hauptverteilung im UG eines Gebäudes auf dem Kleinen Grasbrook.
Summe (netto)	39.000 T€	
zzgl. Planer-Honorare, Gutachten, etc. Pauschal 20 %	7.800 T€	
Summe (netto) - Investitionskosten	46.800 T€	

Hinweis: Die Investitionskosten für das Biomasseheizwerk sind vergleichsweise hoch, da es zu 100 % auf Biomasse (Holz) ausgelegt ist. Üblicherweise würde eine wirtschaftliche Auslegung ca. 10 MW Biomassekessel und 25 MW Gaskessel vorsehen, damit wäre aber das Ziel, zu 100 % CO₂-frei zu bleiben, nicht erreicht.

8.2.1.3 Investitionskosten Dezentrale Wärmepumpen mit Geothermie

Tabelle 8-3: Investitionskosten für dezentrale Wärmepumpen mit Geothermie

Position	Grobkosten-Schätzung	Bemerkungen
Erdsonden, Speicher, Regelungen und Wärmepumpen in den jeweiligen Gebäuden	65.000 T€	Erforderlicher Wärmebedarf entspricht ca. 10.000 Erdsonden.
Summe (netto)	65.000 T€	
zzgl. Planer-Honorare, Gutachten, etc. Pauschal 20 %	13.000 T€	
Summe (netto) - Investitionskosten	78.000 T€	

Die Investitionen würden sich verteilen auf sämtliche Bauherren/in.

Es wurde eine Jahresarbeitszahl von 4,0 zu Grunde gelegt.

8.2.1.4 Investitionskosten Dezentrale Wärmepumpen mit LowEx-Nutzung

Tabelle 8-4: Investitionskosten für dezentrale Wärmepumpen mit LowEx-Nutzung

Position	Grobkosten-Schätzung	Bemerkungen
Wärmepumpen inkl. Verteilung, Regelung, Speicher, etc. in den jeweiligen Gebäuden	7.200 T€	Technik in den einzelnen Gebäuden, ausgehend von 120 Anlagen.
Fluss- und Brunnenwassernutzung	11.000 T€	Wärmetauscher, Pumpenstationen, Saug- und Schluckbrunnen inkl. Bauwerk und Übergabe, etc.
LowEx-Wärmenetz	9.000 T€	
Summe (netto)	27.200 T€	
zzgl. Planer-Honorare, Gutachten, etc. Pauschal 20 %	5.440 T€	
Summe (netto) - Investitionskosten	32.640 T€	

Die Investitionen für dezentrale Wärmepumpenanalagen würden sich auf die Bauherren/in verteilen. Die Investitionen für das LowEx-Netz inkl. der Brunnen- und Flusswassernutzung müssen durch einen Netzbetreiber getragen werden. Zusätzliche Nutzungen z. B. zum Kühlen im Sommer, etc. die das LowEx-Netz wirtschaftlicher machen, sind in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Die Kostenschätzung orientiert sich an Erfahrungswerten aus einer technisch, vergleichbaren Nutzung in der HafenCity (jedoch in deutlich kleinerem Maßstab) und ist vorbehaltlich einer eingehenden Prüfung auf Umweltverträglichkeit und Genehmigungsfähigkeit.

Es wurde eine Jahrbeitszahl von 4,0 zu Grunde gelegt.

8.2.1.5 Optional: Investitionskosten Wasserstoff-KWK

Die Kosten für eine Wasserstoff-Brennstoffzelle inkl. Elektrolyseur etc. wurden nach heutigem Stand auf über 75 Mio. EUR geschätzt. Diese Investitionssumme lässt keine Wirtschaftlichkeit erwarten und wurde deshalb auch nicht weiter berechnet.

8.2.2 Prämissen

Im Folgenden sind die der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu Grunde gelegten Prämissen und Kostenansätze dargestellt:

Prämissen der Wirtschaftlichkeit		
jährl. durchschnittl. Energiepreissteigerung (Abwärme)	$s_e =$	1,00 %
jährl. durchschnittl. Energiepreissteigerung (Biomasse)	$s_e =$	2,50 %
jährl. durchschnittl. Energiepreissteigerung (Strom)*	$s_e =$	4,00 %
jährl. Preissteigerung für die betrachtete Anlage	$s_a =$	1,50 %
jährliche Teuerungsrate für Wartung- und Instandhaltung	$s_u =$	1,50 %
Eigenkapitalrendite/Fremdkapitalzins	$p =$	3,00 %
Betrachtungszeitraum	$n =$	30
Annuitätsfaktor $a_{p,n}$	$a_{p,n} =$	0,05
Faktor für Verteuerung der Abwärme über Betrachtungszeitraum m_e	$m_e =$	1,15
Faktor für Verteuerung der Biomasse über Betrachtungszeitraum m_e	$m_e =$	1,42
Faktor für Verteuerung des Wasserstoffs über Betrachtungszeitraum m_e	$m_e =$	0,78
Faktor für Verteuerung des Stroms über Betrachtungszeitraum m_e	$m_e =$	1,78
Faktor für Verteuerung der Wul-Kosten über Betrachtungszeitraum m_u	$m_u =$	1,23
* Angenommene Deckelung des Strompreises bei 30 Cent/kWh durch Erzeugung durch regenerative Energien		

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Preise für Energieträger	Einheit	Wert	Bemerkung
Preiskomponenten Biomasse			
Lieferpreis frei Heizwerk	€/kWh	0,025	Werte sind geschätzt.
Preiskomponenten Abwärme			
Arbeitspreis (Abwärme)	€/kWh	0,035	Werte sind geschätzt.
Leistungspreis (Abwärme)	€/kW	0	Werte sind geschätzt.
Preiskomponenten Strom			
Durchschnittlicher Gesamtpreis (inkl. Energiesteuer, Abgaben)	€/kWh	0,18	Werte sind geschätzt.
Leistungspreis (Strom)	€/kW	23	Werte sind geschätzt.
Preiskomponenten Wasserstoff			
Lieferpreis frei Energiezentrale	€/kWh	0,10	Werte sind geschätzt.
Preiskomponenten Erdgas (fossil)			
Lieferpreis frei Energiezentrale	€/kWh	0,04	Werte sind geschätzt.
Preiskomponenten Biogas			
Lieferpreis frei Energiezentrale	€/kWh	0,10	Werte sind geschätzt.

Die folgende Tabelle stellt die Kostenansätze für durchschnittliche jährliche Kosten für Wartung, Inspektion und Instandsetzung (prozentual in Bezug auf die Investitionskosten), sowie die rechnerische Lebensdauer der Komponenten dar:

Tabelle 8-5: Kostenansätze der durchschnittlichen jährlichen Kosten

Technische Daten der eingesetzten Systeme (gemäß VDI 2067-1, soweit vorhanden)	Aufwand Wartung und Inspektion	Faktor für Instand- setzung	Nutzungs- dauer
Kompressionskältemaschine	1,0 %	2,0 %	15
Fernwärmeübergabestation	0,5 %	0,5 %	20
Wärmepumpe	1,0 %	2,0 %	15
Pufferspeicher	1,0 %	1,0 %	20
Geothermie - Erdsondenfeld (passive Sonden)	0,5 %	0,5 %	30
Fernwärmenetz	0,3 %	0,3 %	40
Ersatzheizwerk	1,0 %	1,0 %	20
Wärmetauscher (Abwärmeauskopplung)	0,5 %	0,5 %	20
BHKW (Wasserstoff)	0,5 %	1,0 %	15
Brennstoffzelle (Wasserstoff)	0,5 %	0,5 %	15

8.3 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der groben Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der verschiedenen Wärmeerzeugungsvarianten.

Tabelle 8-6: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Wärmeerzeugung

	System 1	System 2	System 3	System 4
Variantenbeschreibung				
Wärmeerzeugung (Systemvariante)	Abwärme Aurubis	Biomasseheizwerk	Dezentrale Wärmepumpen mit Geothermie	Dezentrale Wärmepumpen mit LowEx-Netz-Nutzung
Infrastruktur	Fernleitung+ Wärmenetz	Fernleitung+ Wärmenetz	dezentral	dezentral mit Wärmenetz
Investitionskosten (geschätzt)				
Wärmeerzeugung (inkl. Besicherung)	7.200 TEUR nur Besicherung	30.000 TEUR	78.000 TEUR	21.840 TEUR
Infrastruktur	16.800 TEUR inkl. Fernleitung	16.800 TEUR inkl. Fernleitung	0 TEUR	10.800 TEUR
Endenergiebedarf				
Wärme	35.100 MWh/a	39.000 MWh/a	9.750 MWh/a	
Hilfsenergie	876 MWh/a	876 MWh/a	2.400 MWh/a	10.626 MWh/a
Ersatzversorgung	3.900 MWh/a	0 MWh/a	0 MWh/a	0 MWh/a
Jährliche Kosten				
Kapitalkosten	1.382 T€/a	3.042 T€/a	7.173 T€/a	2.019 T€/a
Energiekosten (durchschnittl.)	1.865 T€/a	1.353 T€/a	3.277 T€/a	3.221 T€/a
- Wärme	1.408 T€	1.117 T€	0 T€	0 T€
- Strom	236 T€	236 T€	3.277 T€	3.221 T€
- Ersatzversorgung	222 T€	0 T€	0 T€	0 T€
Betriebskosten (durchschnittl.)	189 T€/a	381 T€/a	959 T€/a	757 T€/a
durchschnittliche jährliche Gesamtkosten über die Betrachtungsdauer	3.436 T€/a	4.777 T€/a	11.409 T€/a	5.997 T€/a
Wärmebedarf	39.000 MWh/a	39.000 MWh/a	39.000 MWh/a	39.000 MWh/a
Wärmegestehungskosten (durchschnittlich)	0,088 €/kWh	0,122€/kWh	0,293 €/kWh	0,154 €/kWh
Wagnis + Gewinn / Rendite für Contractor	12,0 %	12,0 %	0,0 %	12,0 %
Wärmepreis netto (Mischkalkulation AP+GP durchschnittlich über 30 Jahre)	0,099 €/kWh	0,137 €/kWh	0,293 €/kWh	0,172 €/kWh

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

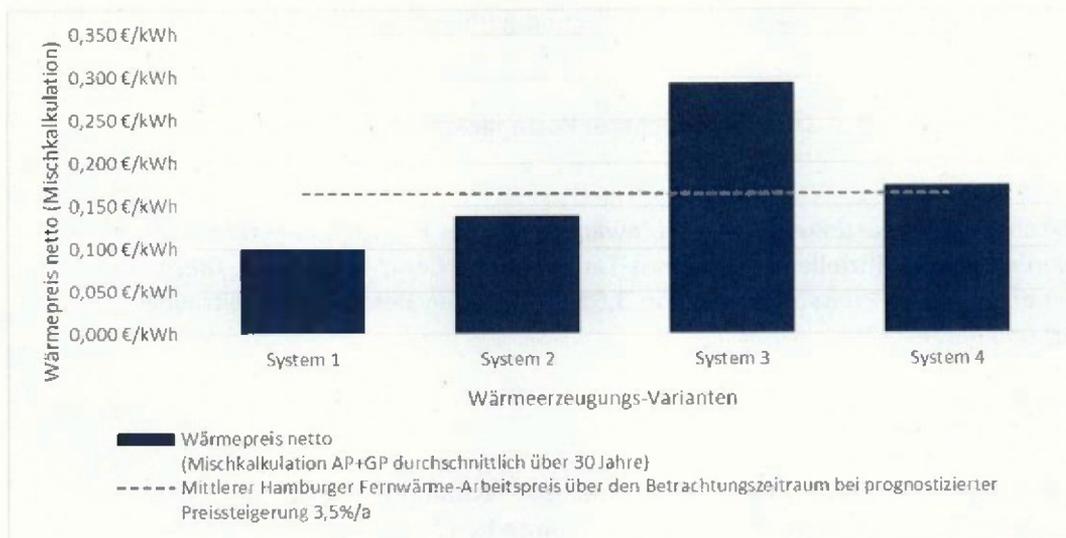


Abbildung 8-12: Vergleich der Wärmegestehungskosten

Bei den grob ermittelten Wärmegestehungspreisen handelt es sich um Mischpreise die sich anteilig aus Grund- bzw. Leistungspreis und Arbeitspreis zusammensetzen.

Bei den Prognosen für die zukünftige Entwicklung der Energiepreise, wurde für Strom eine Deckelung bei 30 Cent/kWh angesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass bei diesem Strompreis eine 100% regenerative Erzeugung möglich ist. Alle anderen fossilen Energieträger steigen kontinuierlich mit der angesetzten Preissteigerungsrate weiter.

Für Wärmeerzeugungsanlagen und Infrastrukturen, die durch private Contractoren übernommen werden, ist eine Pauschale für Wagnis und Gewinn in Höhe von 12 % angesetzt worden.

Beim Vergleich der durchschnittlichen Wärmegestehungskosten über den Betrachtungszeitraum wird deutlich, dass nur „Abwärme Aurubis“ (System 1) unter Zugrundelegung der angesetzten Randbedingungen den günstigsten Wärmepreis erreicht. Allerdings sind diese Berechnungen einiger Parameter noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Derzeit steht noch nicht fest, für welchen Preis Aurubis die Wärme verkaufen kann und auch bei den Kosten für die Trassenführung von Aurubis bis zum Grasbrook ist ein Risiko enthalten. Die Systeme 2 und 4 liegen nach den ersten Prognosen noch in einem Bereich, der bei weiterführenden Untersuchungen gegebenenfalls zu marktfähigen Preisen führen könnte.

Das System 3 ist nicht wirtschaftlich, da die Geothermie hier das primäre Erzeugungssystem darstellt. Die Geothermie empfiehlt sich wie zuvor erläutert als Grundlastsystem wenn sowohl Heiz- als auch Kühlenergiebedarf besteht.

Das System 4 wurde hier als primäres System zur Versorgung der gesamten OlympiaCity berechnet. Die Wirtschaftlichkeit würde sich deutlich günstiger darstellen, wenn es nur für den Teil der OlympiaCity ausgelegt werden würde, der weitestgehend keine zentrale

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Warmwasserbereitung erfordert – also mit überwiegend geringen Systemtemperaturen auskommt.

Die Systeme 5 und 6 wurden auf Grund zu unsicherer Kostenansätze hier nicht quantitativ bewertet.

Der als Vergleichswert dargestellte mittlere Fernwärmepreis der Hamburger Fernwärme basiert auf den aktuellen offiziellen Arbeitspreis-Tarif von 9,50 Cent/ kWh netto. Dieser wurde mit einer mittleren Preissteigerung von 3,5%/a über den Betrachtungszeitraum prognostiziert und dargestellt.

8.4 Fazit – Wärmeversorgung

Die Wärmeerzeugungssysteme sind im direkten Zusammenhang mit den Infrastruktursystemen zu bewerten, da hier nur bestimmte Kombinationen sinnvoll bzw. technisch möglich sind. Die Tabelle 8-7 bewertet die Kombinationsvarianten primärer Wärmeerzeuger mit den jeweiligen Wärmeverteilungsvarianten. Daraus lässt sich ableiten, dass ein Heißwasserwärmenetz die wichtigsten Anforderungen insbesondere im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit, Flexibilität und CO₂-Emissionen erfüllen kann. Im Hinblick auf die Finanzierung der Wärmeinfrastruktur erfüllt es auch das Ziel die Investition und den Betrieb über einen privaten Energieversorger bzw. Netzbetreiber abzudecken, der seine Aufwendungen über marktgerechte Arbeits- und Leistungspreise refinanziert. Es lässt die Einbindung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme zu, so dass auch nach Fertigstellung neue Technologien wie Power-to-Heat, Wasserstoff-Brennstoffzellen etc. mit eingebunden werden können und somit dauerhaft eine stets effiziente und innovative Wärmeversorgung gewährleisten werden kann.

Im Hinblick auf Flexibilität und Innovationsfähigkeit schneidet nur das Vier-Leiter-Wärmenetz noch besser ab, da es sich mit zahlreichen Wärmeerzeugungsvarianten kombinieren lässt. Ebenfalls in den Kriterien, Energieeffizienz und soziokulturelle Qualität (Technikflächenminimierung auf dem Dach und im Gebäude) zeichnet sich dieses System aus. Allerdings ist es auch die investitionskostenintensivste Maßnahme für die Wärmeverteilung. Das Vier-Leiter-Wärmenetz als innovativste Lösung würde mit hoher Wahrscheinlichkeit ohne Subventionen bei den Investitionskosten nicht wirtschaftlich sein können. Das LowEx-Netz zusätzlich zum Heißwasser-Netz könnte somit eine förderwürdige Leuchtturmaßnahme ggf. für Teilbereiche der OlympiaCity sein.

Die Wirtschaftlichkeit des reinen LowEx-Leiters lässt sich derzeit auf Grund hoher zusätzlicher Investitionskosten und genehmigungsrechtlicher Fragen im Zusammenhang mit der Fluss- und Brunnenwassernutzung nicht nachweisen, bewegt sich jedoch in einem Bereich, dass eine weiterführende Betrachtung zumindest für einzelne Quartiere durchaus sinnvoll erscheint. Gegen den LowEx-Leiter als durchgängiges Wärmenetz spricht, dass es einige Gebäude wie Hotels, Schwimmbad, größere Retailbereiche, geben wird, die mit dem System Wärmepumpe und LowEx-leiter keine effiziente Wärmeversorgung erreichen.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Ein Gasnetz für Methan aus Windenergie wäre eine technisch funktionierende Alternative, schränkt allerdings die Möglichkeiten der Wärmeversorgung deutlich ein. Für welchen Preis Biogas den Abnehmern zur Verfügung gestellt werden kann ist heute noch nicht absehbar.

Ein vollständiger Verzicht auf ein Wärmenetz ist auf Grund der aufgeführten überwiegenden Nachteile insbesondere im Hinblick auf Flexibilität, Emissionen, Investitionen auf Bauherrenseite und dauerhaften Beeinflussbarkeit nicht zu empfehlen.

Tabelle 8-7: Kombinationsmöglichkeiten Wärmeerzeuger und Wärmeverteilungsinfrastruktur

Wärme- verteilung	Zwei-Leiter Wärmenetz Hoch- temperatur	Zwei-Leiter Wärmenetz LowEx	Vier-Leiter Wärmenetz Hoch- temperatur/ LowEx	Gasnetz	Elektronetz
Wärmeerzeuger					
Industrie- abwärme	gut geeignet	nicht geeignet	gut geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Heizkraftwerk	gut geeignet	als Besicherung	gut geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Dezentrale Gas-KWK	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	gut geeignet	nicht geeignet
Elektrische Wärmepumpen	nicht geeignet	gut geeignet	gut geeignet	nicht geeignet	gut geeignet
Zentrales H ₂ -KWK	gut geeignet	bedingt geeignet	gut geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet

Bei den Wärmeerzeugern stellt sich die Nutzung der industriellen Abwärme als attraktiv dar. Die Lösung ist CO₂-frei, voraussichtlich wirtschaftlich nutzbar, modular erweiterbar, technisch machbar und trotzdem innovativ, ökologisch sinnvoll und förderlich für Wärmenetzausbau sowie Abwärmennutzung auch für andere Stadtteile.

Ein Biomasseheizwerk, was aus wirtschaftlichen Gründen sicher in Kombination mit Kraft-Wärmekopplungsanlagen geplant werden würde, könnte theoretisch die Anforderungen an Wärme aus erneuerbaren Energien erfüllen. Allerdings wäre eine Anlage die zu 100 % auf erneuerbare Energien setzt, also Grundlast und Spitzenlast, sehr teuer und vermutlich nicht durch einen Contractor finanzierbar. Außerdem sind der Brennstoff Holz und dessen teilweise überregionale Beschaffung ebenfalls nicht unumstritten.

Der Einsatz von dezentralen Wärmepumpen ohne LowEx-Netz als primärer Wärmeerzeuger erscheint auf Grund des breiten Nutzungsmixes mit den entsprechenden Systemtemperaturanforderungen und Abnahmestrukturen nicht durchgängig sinnvoll. Da die Umweltenergiequellen Außenluft zu sehr ungünstigen Arbeitszahlen, die Geothermienutzung zu hohen Investitionen auf Bauherrenseite, Bauzeitverlängerungen

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

und zusätzliche Technikflächen führen würde, wäre die Wärmepumpentechnologie nur in Kombination mit dem LowEx-Wärmenetz sinnvoll anwendbar.

Die Wasserstoff-KWK Lösungen als primäre Wärmeerzeuger sind derzeit noch nicht sicher kalkulierbar und bedürfen, ersten Kostenschätzungen zu Folge, vergleichsweise sehr hohe Investitionskosten. Zusätzlich zur ohnehin teuren Wasserstoff-Brennstoffzellen Technologie werden große Speicher und Spitzenlasterzeuger erforderlich. Die Technologie scheint konzeptionell sinnvoller einsetzbar als modularer Baustein zur Unterstützung der zentralen Wärmeversorgungssysteme. Somit wäre ausreichend Zeit für eine Entscheidung, ob die Technologie entweder wirtschaftlich einsetzbar ist oder aber sicher ausreichend finanzielle Mittel zur Verfügung stehen. In diesem Fall könnte die Wasserstoff-KWK-Nutzung optional in alle Systeme mit Heißwasser-Wärmenetz eingebunden werden.

8.5 Kälteversorgung

Prinzipiell sollen Gebäude in dieser Region so geplant und gebaut werden, dass Kühllasten in Folge äußerer Einflüsse minimiert werden oder aber durch rein natürliche oder passive Maßnahmen gering gehalten werden. Dafür werden von Seiten des Gesetzgebers mit der EnEV und den darin enthaltenen Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz Grenzen gesetzt. Demnach sollten Wohngebäude keine aktive Kühlung benötigen. Bei anderen Nutzungsarten wie Büro, Retail, Gastronomie etc. kann auf Grund hoher interner Kühllasten aktive Kühlung erforderlich werden.

Während der olympischen Spiele wird es einige Bereiche geben, die einen sehr hohen Kältebedarf haben. Da es sich hierbei anteilig um temporäre Verbraucher, wie Übertragungstechnik und zusätzliche Beleuchtung, etc. handelt, die nur für einen Zeitraum von ca. 8 Wochen gebraucht werden (Ausnahme ist das Broadcast und Media Center, das bis zu 8 Monaten genutzt wird), sollten diese Verbraucher auch mit temporären Kälteerzeugungssystemen dezentral am Ort des Verbrauchers versorgt werden. Eine Versorgung über ein Kältenetz erscheint derzeit nicht wirtschaftlich abbildbar.

Konzeptionell könnte das Kälteversorgungskonzept eine zentrale Erzeugung mit Nahkältenetz, klassischer dezentraler Kälteerzeugung ohne Nahkältenetz oder eine Mischung aus beidem sein.

In den bisherigen Untersuchungen wurde eine zentrale Kälteerzeugung mit Nahkältenetz von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen, da, anders als beim Wärmenetz, der tatsächliche Bedarf und die zukünftige Abnahmestruktur nur sehr schwer vorhersagbar sind und sich häufig erst im Rahmen der konkreten Planung der einzelnen Gebäude entschieden wird, sofern die konkreten Nutzer feststehen. Somit ist ein solches Netz mit großen Planungsunsicherheiten behaftet und stellt ein großes wirtschaftliches Risiko für jeden Investor, sowohl hinsichtlich Über- als auch Unterversorgung, dar. Außerdem wird davon ausgegangen, dass ein solches Netz in einem Quartier mit überwiegender Wohnnutzung nicht wirtschaftlich abbildbar ist. Ein weiteres Argument gegen eine zentrale Kälteversorgung ist der Standort für eine geeignete Fläche. Aus

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Energieeffizienzgründen sollte eine solche Kältezentrale nah bei den Großverbrauchern stehen. Auf dem Kleinen Grasbrook ist jedoch ein dafür geeignetes Grundstück, vom dem auch entsprechende Emissionen (in Abhängigkeit von der Rückkühlung) ausgehen, nur schwer zu finden.

8.5.1 Dezentrale Kältemaschinen

Diese Variante stellt die klassische Kälteerzeugung in Stadtquartieren dar. Der Kältebedarf wird über dezentrale Kältemaschinen erzeugt und über Rückkühlwerke i.d.R. auf dem Dach rückgekühlt.

Folgende Nachteile sind damit verbunden:

- Rückkühlwerke mit entsprechenden Schallemissionen auf den Dächern ggf. sogar die Kältemaschinen selbst,
- Strombetriebene konventionelle Kompressionskältemaschinen sind primärenergetisch ungünstig.

Eine Option könnte sein, die zukünftigen Bauherren zu beauftragen, die Kälte anteilig z. B. 50 % über regenerative Quellen zu versorgen und die Anlagen so in die Dächer zu integrieren, dass ausreichend Dachfläche für andere Zwecke zur Verfügung steht. Dies stellt jedoch einen Kostenfaktor für die Investoren dar, der sich wiederum auf den Grundstückswert auswirken kann.

8.5.2 Dezentral mit zentralem Rückkühlnetz

Eine deutliche Weiterentwicklung der zuvor beschriebenen Variante mit dem Kältenetz wäre eine weiterhin dezentrale Kälteerzeugung direkt am Ort der Verbraucher, die auch durch die jeweiligen Investor geplant, gebaut und finanziert werden muss. Die Kälteerzeugung muss dabei nicht zwingend mit strombetriebenen Kompressionskältemaschinen erfolgen, sondern kann auch über Fernwärme versorgte Absorptionskältemaschinen erfolgen.

Dieses Kältekonzept sieht jedoch einen wesentlichen innovativen Baustein vor, der gleich mehrere positive Effekte mit sich bringt. Die Kältemaschinen werden auf dem Kleinen Grasbrook nicht, wie heute üblich, mittels Rückkühlwerke auf dem Dach der jeweiligen Gebäude betrieben. Für die Rückkühlung wird ein sogenanntes „Freikühlungsnetz“ (Arbeitstitel) installiert. Das „Freikühlungsnetz“ wird durch Elbewasser gespeist und durch Grundwasserbrunnen abgesichert. Damit sind gleitende Systemtemperaturen bis max. 26 °C möglich.

Das hat zur Folge, dass die Nutzungsgrade der Kältemaschinen deutlich steigen und somit entsprechend energieeffizienter arbeiten können. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist, dass wertvolle Dachfläche nicht mehr mit Rückkühlanlagen belegt werden muss und diese somit alternativen Nutzungen wie der Dachbegrünung etc. zur Verfügung steht.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

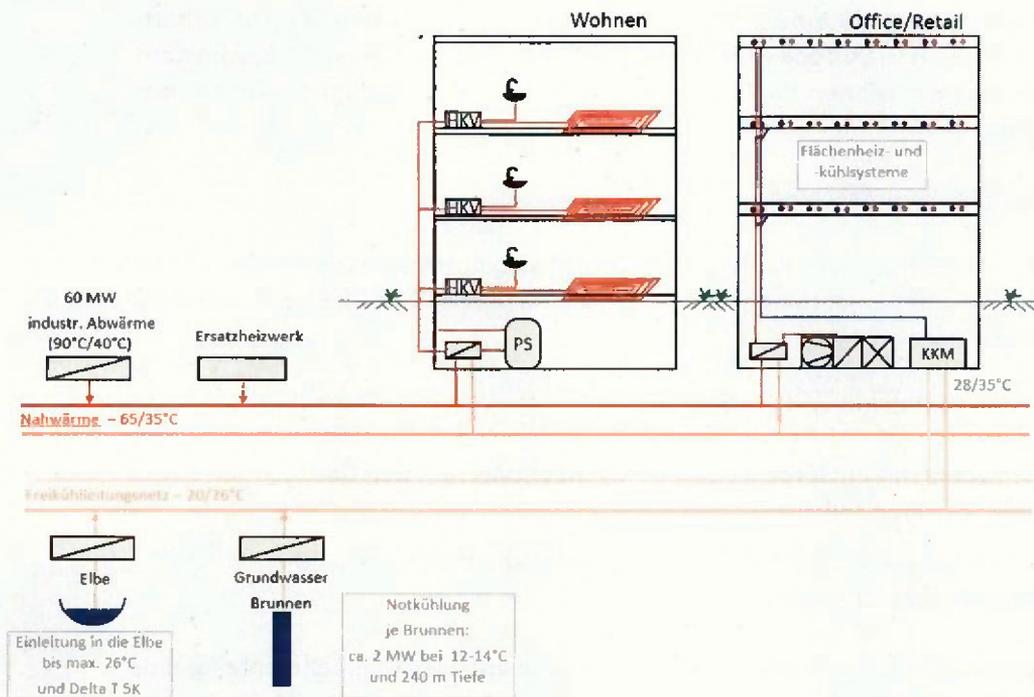


Abbildung 8-13: Kältekonzept mit Freikühlungsnetz

Das Konzept ist gleichzeitig so flexibel, dass auch kleine „Nahkältenetze“, wie zuvor beschrieben, darin möglich sind.

Die im Schema dargestellte Kompressionskältemaschine (KKM) könnte auch als umschaltbare Wärmepumpe ausgeführt werden und im Winter das Gebäude beheizen.

Als Energiequelle für die Kälteerzeugung könnten u. a. die Elbe und das Grundwasser dienen. In der Elbe fließen ca. 6.000 m³ pro Sekunde. Daher ist es naheliegend, diese unerschöpfliche – somit regenerative – Quelle für die Energieversorgung für die OlympiaCity zu nutzen. Aufgrund der Hauptnutzung der Elbe als Bundeswasserstraße ist sie zur Gewinnung von elektrischer Energie über z. B. ein Strömungskraftwerk ausgeschlossen. Jedoch eine Nutzung der mitgeführten Wärmeenergie ist augenscheinlich sinnvoll. Die Elbe ist aufgrund ihres Temperaturniveaus gegenüber der Lufttemperatur als Wärme- und Kältequelle für die normalen haustechnischen Anwendungen wie Raumheizung und -kühlung nutzbar. Sie kann als Quelle z. B. für Wärmepumpen und Kältemaschinen dienen. Teils kann die Quelle aufgrund der verfügbaren Temperaturen in der Elbe auch ohne Umwandlung direkt genutzt werden.

Die Wassertemperaturen sind durch die Jahreszeiten stark beeinflusst. Sie liegen im Winter bei minimal 0°C und im Hochsommer bei max. 28 °C. Im Mittel hat die Elbe eine Temperatur von 13 °C.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Um Umweltauswirkungen auf die Elbflora und -fauna ausschließen zu können, darf die Elbe mit max. 28 °C warmen Wasser aus einer Nutzung belastet werden. Somit steht die Elbe nicht jederzeit als Energiequelle zur Verfügung. Um eine wirtschaftliche Nutzung der Elbe sicherstellen zu können, muss die Entnahmetemperatur unterhalb von 24 °C liegen. Oberhalb dieser Elbwassertemperatur ist auf eine andere Energiequelle zurückzugreifen.

Um weiter mit einem wasserbasiertem und somit gleichartigen System die Ausfallzeit der Elbe zu überbrücken, bietet sich hier die Nutzung einer Geothermiequelle an. Brunnen als Energiequellen sind leistungsfähiger und bei der nötigen hohen Entnahmeleistung auch wirtschaftlicher zu betreiben als die üblichen Geothermiesonden. Nach dem derzeitigen Stand ist eine Nutzung des 1. Grundwasserleiters aufgrund von seinem hohen Salzgehalt ausgeschlossen. Tiefere Bohrungen in den 2. Grundwasserleiter sind daher notwendig. Der 2. Grundwasserleiter liegt in ca. 110 m bis 180 m Tiefe. Eine reine Entnahme ist aufgrund der prognostizierten Anschlussleistung nicht möglich. Ein sogenannter Schluckbrunnen zur Rückführung des erwärmten Wassers ist nötig. Bei der Projektierung sind weitergehende geologische Betrachtungen notwendig, z. B. um die Auswirkungen auf die in der Nähe liegenden Wasserentnahmen ausschließen und die Durchörterung von Schichten ohne Schäden sicherstellen zu können.

So stehen über das ganze Jahr regenerative Energiequellen aus der unmittelbaren Umgebung für diverse haustechnische Nutzungen in Verbindung mit dem LowEx-Wärmenetz zur Verfügung.

8.6 Stromversorgung

Die Stromversorgung erhält zukünftig eine weiter zunehmende Bedeutung, da Strom ein zentraler Energieträger der Zukunft ist. Er soll in Zukunft zu 100 % regenerativ sowohl zentral als auch dezentral erzeugt werden. Darüber hinaus bleibt der Strom wichtigste Energie für Beleuchtung, Lüftungsanlagen, Wärmepumpen, Kältemaschinen, Nutzergeräte, etc. und wird immer wichtiger auch im Bereich Mobilität z. B. Autos, Bikes, etc.

Unter diesen Aspekten, aber auch mit der Prämisse, dass Strom jederzeit von überall ins Netz eingespeist und auch ggf. zwischengespeichert werden muss (Smart Grid), wird das neue Arealnetz sukzessive ausbaubar und in das öffentliche Netz integriert.

8.6.1 Temporäre Stromversorgung

Der Großteil der erforderlichen primären elektrischen Anschlussleistung für das IBC und MPC sowie für die Eröffnungs- und Abschlussfeier wird voraussichtlich über temporäre Erzeuger abgedeckt, da nach den olympischen Spielen an diesen Orten nur noch ein Bruchteil der elektrischen Leistung erforderlich wird.

Darüber hinaus erfordern alle für die Durchführung der olympischen Spiele wichtigen Einrichtungen zusätzliche Sicherheitsstromversorgungen. Dazu gehören neben dem IBC und dem MPC auch alle Venues, Unterkunftsgebäude, Kantine, Checkpoints, etc.

Idealerweise können die Großverbraucher den Strombedarf aus einem abgesicherten Stromnetz (Ringeinspeisung) beziehen und nur die zusätzliche Absicherung (Back-up) erfolgt über temporäre Stromerzeuger. Ob die primäre Leistung über das Stromnetz bereitgestellt werden kann, ist derzeit nicht abschließend zu klären.

Sollte keine vollständige Netzversorgung möglich sein, muss sowohl die fehlende primäre Leistung als auch das Back-up in diesem Bereich über temporäre Stromversorgungen abgedeckt werden. Auf Grund der Flexibilität und Kosten sind Dieselgeneratoren, aber in Teilen auch Gasmotoren, derzeit der Stand der Technik.

Tabelle 8-8: Übersicht grob geschätzter Elektroanschlussleistungen auf Basis vergangener Olympischen Spiele

Nutzung	Fläche BGF	Anschlussleistung	Back-up
Unterkunft	308.000 m ²	8 MW	1 MW
MPC/IBC	114.000 m ²	35 MW	25 MW
Sportstätten inkl. Broadcast und Back of House & sonstige Nutzungen	282.000 m ²	34 MW	20 MW
Eröffnungs- und Abschlusszeremonie	-	10 MW	6 MW
Summe	704.000 m²	87 MW	52 MW

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.6.2 Übergeordnete Spannungsversorgung

Die übergeordnete Spannungsversorgung des Areals erfolgt aus dem Mittelspannungsnetz des EVU. Im Vorfeld ist mit dem Netzbetreiber zu klären, ob die für den jeweiligen Mode ermittelte Leistung sicher zur Verfügung gestellt werden kann. Sollte die Leistung aus dem bestehenden Netz nicht zur Verfügung gestellt werden können, ist ein neues Umspannwerk erforderlich.

8.6.3 Redundanzkonzept

Das Redundanzkonzept sieht mehrere Stufen zur Erlangung einer angemessen sicheren Spannungsversorgung vor. Ausgehend vom Umspannwerk sind drei separate Mittelspannungsringe vorgesehen, welche die Lastschwerpunkte des Areals möglichst zu gleichen Teilen versorgen. Über entsprechende Umschalteneinrichtung können die Ringe im Falle eines Fehlers auf einem Ring (Beschädigung durch Tiefbauarbeiten, Schalter defekt, etc.) umgeschaltet werden, das heißt, die beiden verbleibenden Ringe müssen die Leistung des Gesamtareals übertragen können.

Innerhalb der Trafostationen in den Hauptbereichen des Areals (Olympiahalle, Stadion, Schwimmhalle, Sendestudios, etc.) wird zusätzlich eine n+1 Redundanz umgesetzt. In jeder Station wird ein zusätzlicher Trafo vorgesehen, welcher z. B. im Fehler- oder Wartungsfall einen anderen Trafo der Station ersetzen kann. Darüber hinaus kann dieser Trafo im Falle eines Spitzenlastbedarfs auch als zusätzliche Spannungsversorgung zugeschaltet werden.

Bereiche, welche über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung verfügen müssen, werden mit dieseldynamischen USV-Systemen versehen. Diese USV-Systeme verfügen über einen rotierenden kinetischen Speicher, welcher bei Spannungsfall die Leistung aufrechterhält, bis ein angeschlossenes Dieselaggregat die Leistung übernehmen kann. Die USV-Anlagen werden als Containersysteme jeweils am entsprechenden Lastschwerpunkt angeordnet. Für die Hauptnutzung können die USV-Systeme demontiert werden.

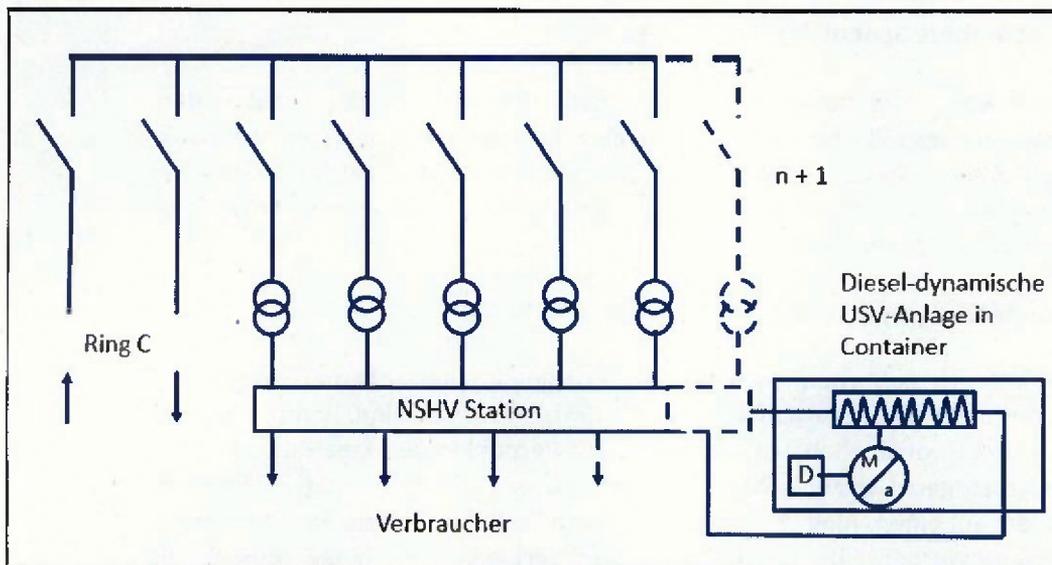


Abbildung 8-14: Stromnetz – „Olympia Modus“ – Variante: Beispiel Stadion

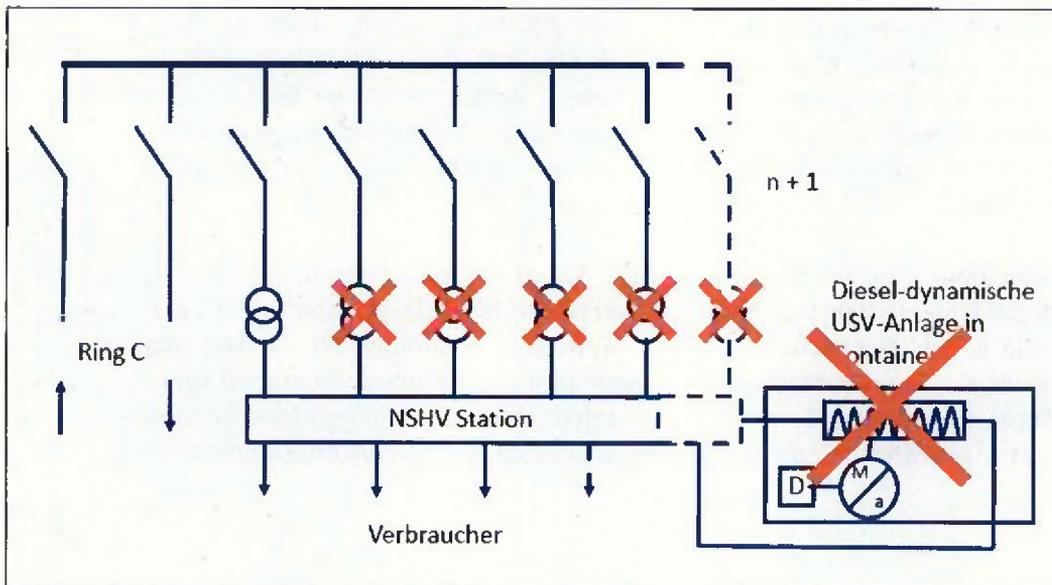


Abbildung 8-15: Stromnetz – „Hauptnutzung“ – Variante: Beispiel Stadion

8.6.4 Stromnetz OlympiaCity

Das Stromnetz wird über den Aufbau einer neuen 10/0,4-kV-Stromversorgung realisiert. Das Gebiet wird mit Trafostationen/Ortsnetzstationen für die 0,4-kV-Versorgung erschlossen. Kunden mit hohem Leistungsbedarf werden an das Mittelspannungsnetz angeschlossen. Die Netzstationen sollen u. a. im Bereich der Verkehrsknotenpunkte (Mobility Hubs) verortet sein, an denen sich auch die Ladestationen für Elektrofahrzeuge befinden.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
 Stand: 21.09.2015

Die Eigenerzeugung zur Eigennutzung soll maximiert werden. Es bieten sich dazu insbesondere PV-Anlagen und ggf. Kleinwindkraftanlagen an, wobei auch neue Methoden erprobt werden sollen – etwa die Nutzung von überdachten Parkflächen oder die Überdachung von Straßen mit leichten Konstruktionen.

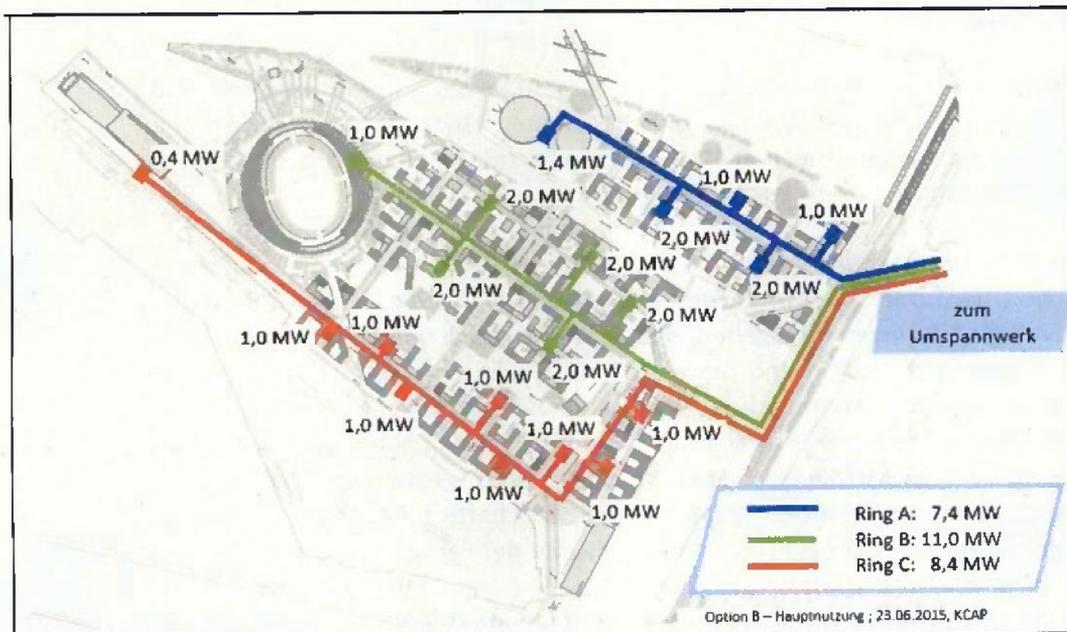


Abbildung 8-16: Stromnetz – Trassen – „Hauptnutzung“

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

8.6.6 Smart Grid

Der Begriff „Smart Grid“ (Green Ressource Infrastructure Distribution) umfasst die kommunikative Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern, elektrischen Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen der Elektrizitätsversorgung.

Optimaler Weise werden neben den klassischen Medien Strom und Informations- und Kommunikationstechnik auch die Wärme, Kälte, Regen- und Abwasser sowie Verkehr mit in das Smart Grid einbezogen - also alle Medien, die sich im gegenseitigen Austausch positiv beeinflussen können.

Im Stromnetz in Deutschland entstehen heutzutage immer wieder Situationen in denen eine erhebliche Überproduktion von Strom vorhanden ist. Dank günstiger werdender Speichertechnologie ist davon auszugehen, dass es zukünftig dynamische Energiepreise auch für die Nutzer gibt. Bisher sind die erforderlichen Speichertechnologien – z. B. Lastverschiebung durch thermische Lasten, Power-to-Heat (Verfahren zur Energieumwandlung in Wärme), Power-to-Gas (Verfahren zur Energieumwandlung in Gas), Vehicle-to-Grid (E-Mobile als Stromspeicher) und gesteuerte Ladung von Elektrofahrzeugen in definierten Zeiträumen – nicht wirtschaftlich darstellbar. Es jedoch davon auszugehen, dass dies bis zur Umsetzung teilweise der Fall sein wird.

Für die zukünftige OlympiaCity bieten sich hervorragende Voraussetzungen für die Vernetzung aller Medien, die sich im gegenseitigen Austausch positiv beeinflussen können. Für das Smart Grid soll ein flächendeckendes Energiemess- und Lastmanagement-System aufgebaut werden, das eine transparente Analyse und effiziente Steuerung der Energieströme zulässt.

Gebäude sollen Speicherbatterien in Kombination mit PV-Anlagen oder anderen Stromerzeugern erhalten, um eine maximale Eigenerzeugung in Kombination mit Energiespeicherung vorzusehen.

Für eine Netzregelung und Optimierung könnten Speicherbatterien mit 10 % der Verbraucherleistung im Areal vorgesehen werden.

Die Elektrofahrzeugladestationen auf dem Areal sollten in die Smart Grid Steuerung eingebunden werden. Fahrzeugfahrer sollten wählen können, bei welchem Stromtarif sie aufladen wollen. Ein fallender Tarif z. B. zur Mittagszeit bei hoher solarer Einstrahlung würde automatisiert die Fahrzeugladung starten. Die Ladeleistung der Fahrzeuge wird dynamisch den Energieüberschüssen nachgeregelt.

Als positive Wirkungen sind hierbei neben den ökologischen auch explizit wirtschaftliche Faktoren möglich, so dass daraus sogar neue Geschäftsmodelle bei der Anwendung entstehen können.

9 Nachhaltigkeitsstandards

Die Gebäude in der OlympiaCity sollen eine erweiterte Sichtweise des Nachhaltigkeitsbegriffs sowie den Wertewandel in der Gesellschaft widerspiegeln.

Der Fokus liegt nicht mehr nur auf Energieeffizienz und Dämmstandard, sondern auch auf dem Ziel, Gebäude nicht nur weniger schlecht, sondern nützlich zu machen. Ziel ist es, Gebäude zu schaffen, welche einen positiven Fußabdruck für Mensch und Natur erzeugen können, beispielsweise indem mehr Biodiversität geschaffen wird, als die unbebaute Brachfläche zu bieten hat, Regenwasser aktiv reinigt, die Luftqualität verbessert und energiepositiv ist.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Flexibilität von Gebäuden. In einer schnelllebigen Zeit, insbesondere was Veränderungen an Arbeitsgewohnheiten und Wohnmodelle betrifft, erfahren flexible Gebäude, die sich an verändernde Umstände anpassen können, einen immer höheren Stellenwert. Bei den Bauten für die OlympiaCity spielt dies nicht nur aufgrund der vorgesehenen Nachnutzung eine prägende Rolle.

Dafür müssen Gebäude zukünftig in vielen Bereichen rezyklierbar sein, d. h. dass eine Demontage in sortenreine Bestandteile möglich ist. Um hohe Recyclingquoten zu erreichen, ist es entscheidend, bereits in frühen Planungsphasen eine recyclinggerechte Konstruktionsweise vorzusehen. Um hochwertiges Recycling zu ermöglichen, sind die Prinzipien recyclinggerechten Konstruierens ein entscheidender Baustein.

- Die Wahl von kreislauffähigen Materialien ist der Grundstein jedes Recyclingkonzepts. Dafür ist die Kenntnis bestehender Verwertungsmethoden erforderlich. Eine Reduktion der Materialvielfalt erhöht die Wahrscheinlichkeit einer sortenreinen Trennung.
- Eine reversible Verbindungstechnik schafft die Voraussetzung, um Einzelteile demontieren und inhomogene Bauteile in die materiellen Bestandteile zerlegen zu können.
- Nicht jedes Bauteil muss auf der Baustelle in alle stofflichen Bestandteile zerlegt werden können. Durch die Kombination von verwertungsverträglichen Materialien zu Verwertungseinheiten kann der Recyclingprozess teilweise automatisiert und die Recyclingquote erhöht werden.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

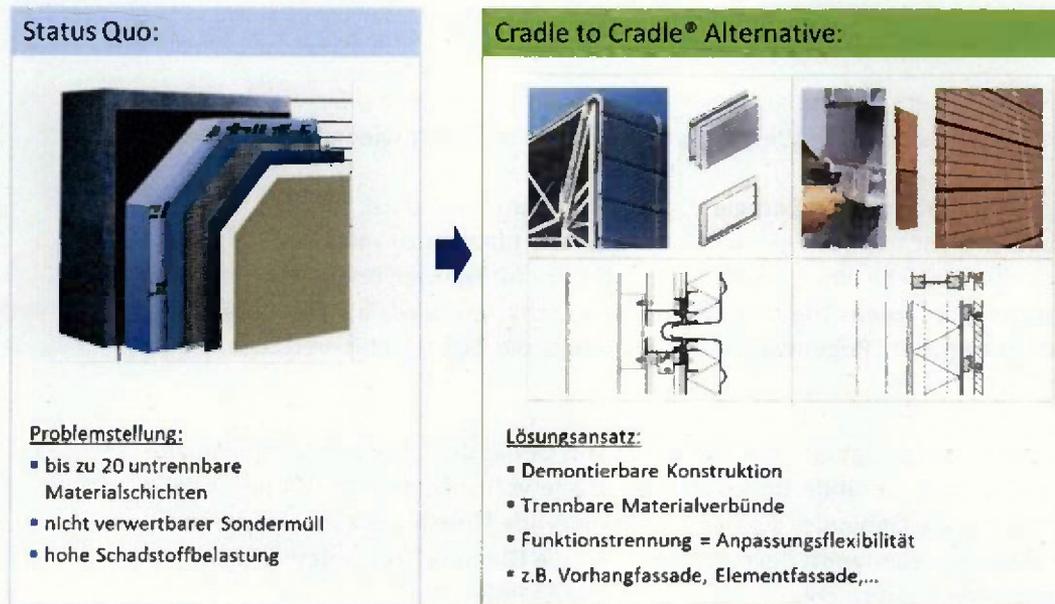


Abbildung 9-1: Recyclinggerechtes Konstruieren am Beispiel Außenwand

Von den Gebäuden der Zukunft wird außerdem erwartet, dass sie eine positive Rolle für die Stadt und die Gemeinschaft übernehmen. Sie sollen eine aktive Komponente für Mensch und Natur im Stadtgefüge darstellen.

Beispielsweise könnten Dachflächen verstärkt für multifunktionale, hochwertige Nutzungen verwendet werden, ohne dazu weitere Bauflächen zu erfordern. Die Kombination von kommunikativen Aufenthaltsflächen mit Dachbegrünung, Regenwassermanagement, urban farming und regenerativer Energiegewinnung schafft einen Ort mit Alleinstellungsmerkmal, ohne dazu wertvolle unbebaute Flächen zu verwenden. In vielen Fällen wird durch derartige Installationen sogar mehr biologische Vielfalt geschaffen als auf der zuvor unbebauten Brachfläche vorhanden war. Somit trägt das Gebäude positiv zur Schaffung von Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Menschen bei.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015



Abbildung 9-2: Dachnutzung gestern, heute und morgen



Abbildung 9-3: Mögliche Bestandteile einer multifunktionalen Dachlandschaft: Solar Pergola zur Verschattung und lokalen Stromproduktion, Terrasse; Begrünung

Weitere wichtige Komponenten der Gebäude in der OlympiaCity, insbesondere wegen der Nähe zum Hafen und Industriegebiet, können aktive Maßnahmen zur Reduktion und Bindung des Feinstaubs sein. Dazu gehören beispielsweise die Installation von feinstaubbindende Oberflächen und Fassaden. Dabei sind technisch folgende Ansätze möglich:



Dachbegrünung,
Fassadenbepflanzung



Elektrostatistische
Abscheidung



Photokatalytische
Oberflächen

Abbildung 9-4: Mögliche Methoden zur Feinstaubbindung

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Um diese und weitere Komponenten zu fördern und die Nachhaltigkeit der entstehenden Gebäude objektiv messen zu können, sollen alle Gebäude einzeln als auch das gesamte Areal als Ganzes mit Hilfe von international anerkannten Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen bewertet werden. Dabei muss der Anspruch sein, hohe bis höchste Auszeichnungsgrade zu erreichen.

9.1 Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme im Vergleich

Das nachhaltige Bauen ist im engen Zusammenhang mit dem energieeffizienten Bauen zu betrachten und steht somit im direkten Kontext zur EnEV, zu den Lebenszykluskosten und der Ökobilanzierung.

Um die Nachhaltigkeit von Gebäuden und Quartieren transparent auswerten zu können, sind zwischenzeitlich diverse Bewertungssysteme entwickelt worden. Neben dem US-amerikanischen LEED und dem britischen BREEAM hat in Deutschland vor allem DGNB (Deutsches Gütesiegel für nachhaltiges Bauen) und BNB (Bewertungssystem nachhaltiges Bauen für Bundesbauten) den höchsten Stellenwert und Marktanteil.

Speziell in der Hamburger HafenCity gibt es darüber hinaus noch das Umweltzeichen HafenCity. Das Green Building Rating System definiert einen Standard zur Klassifizierung von umweltfreundlichen, ressourcenschonenden und nachhaltigen Gebäuden, welcher von der Gesellschaft für ökologische Bautechnik Berlin mbH (GfÖB) im Auftrag der HafenCity Hamburg GmbH im Jahr 2005 entwickelt wurde und somit der Vorgänger des DGNB und BNB Systems war. Allerdings ist das HafenCity Umweltzeichen nur regional begrenzt und über die Stadtgrenzen hinaus kaum mehr bekannt.

Als national und zunehmend auch international anerkanntes Zertifizierungssystem und somit geeignetes System für die Zertifizierung der OlympiaCity bietet sich das DGNB-System an. Beispielweise im Vergleich zum amerikanischen Zertifizierungssystem LEED® handelt es sich bei DGNB um ein Zertifizierungssystem der 2. Generation. Hier werden zusätzlich zu ökologischen und soziokulturellen Aspekten auch ökonomische Gesichtspunkte bewertet.

Die Abbildung 9-5 zeigt eine Übersicht über die Themen, die im Rahmen einer DGNB-Zertifizierung abgefragt und bei höchster Auszeichnungsstufe nahezu umfänglich erfüllt werden müssen.

Ökologische Qualität

- ENV1.1 Ökobilanz - emissionsbedingte Umweltwirkungen
- ENV1.2 Risiken für die lokale Umwelt
- ENV1.3 Umweltverträgliche Materialgewinnung
- ENV2.1 Ökobilanz - Ressourcenverbrauch
- ENV2.2 Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen
- ENV2.3 Flächeninanspruchnahme

Ökonomische Qualität

- ECO1.1 Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus
- ECO2.1 Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit
- ECO2.2 Marktfähigkeit

Soziokulturelle Qualität

- SOC1.1 Thermischer Komfort
- SOC1.2 Innenraumluftqualität
- SOC1.3 Akustischer Komfort
- SOC1.4 Visueller Komfort
- SOC1.5 Einflussnahme des Nutzers
- SOC1.6 Aufenthaltsqualitäten Innen/Außen
- SOC1.7 Sicherheit
- SOC2.1 Barrierefreiheit
- SOC2.2 Nutzungsangebote an die Öffentlichkeit

Technische Qualität

- TEC1.2 Schallschutz
- TEC1.3 Tauwasserschutz der Gebäudehülle
- TEC1.4 Anpassungsfähigkeit der technischen Systeme
- TEC1.5 Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit des Baukörpers
- TEC1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit
- TEC3.1 Mobilitätsinfrastruktur

Prozessqualität

- PRO1.1 Projektvorbereitung und Planung
- PRO1.3 Konzeptionierung und Optimierung in der Planung
- PRO1.4 Sicherung der Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe
- PRO1.5 Voraussetzungen für eine optimale Nutzung und Bewirtschaftung
- PRO1.6 Verfahren zur städtebaulichen und gestalterischen Konzeption
- PRO2.1 Baustelle / Bauprozess
- PRO2.2 Qualitätssicherung der Bauausführung
- PRO2.3 Geordnete Inbetriebnahme

Abbildung 9-5: Übersicht der Anforderungskriterien im DGNB-Zertifizierungssystem für Neubauten

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Für die OlympiaCity wird allerdings nicht nur die Frage nach Zertifizierungen für die einzelnen Gebäude gelten, sondern auch die Zertifizierung des ganzen Stadtteils, denn die Quartiersbewertung nimmt eine zunehmend größere Bedeutung ein. Bei solchen Zertifizierungen werden beispielsweise auch stadtklimatische Auswirkungen, die Qualität des öffentlich zugänglichen Raumes (Straßen, Wege, Plätze, Grün- und Freiflächen) sowie die infrastrukturelle Umgebung des Quartiers mit berücksichtigt.

Diese zunehmende Konzentration auf Quartiersebene spiegelt die Erkenntnis, dass viele Themen der baulichen Nachhaltigkeit nicht allein in Details der Einzelgebäude, sondern übergeordnet in Infrastrukturen und Systemzusammenhängen beantwortet werden müssen.

Beim Vergleich der vorhandenen Quartierszertifizierungen zeigt sich, dass bei „BREEAM Communities“ ökologische Aspekte überwiegen, gefolgt von sozialen Themen, während LEED-ND den Schwerpunkt deutlich im Bereich sozialer Qualität setzt und technische sowie ökologische Qualitäten in etwa gleich stark gewichtet werden. Die Themen Ökonomie und Prozesse sind bei LEED hingegen deutlich stärker untergeordnet als bei BREEAM oder DGNB.

Das DGNB-NSQ-System zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass Ökologie, Ökonomie, soziale und technische Qualität gleich stark gewichtet werden und ist damit das ausgewogenste System. Auffällig ist die deutlich höhere Gewichtung von wirtschaftlichen Kriterien im Vergleich zu den anderen Themen - die DGNB-Systeme sind aktuell die einzigen, die nicht nur eine Ökobilanz, sondern auch eine Lebenszykluskostenbetrachtung beinhalten. Auch das Thema Prozessqualität wird vergleichsweise groß geschrieben.

Die Themen „Innovation“ und „Prozesse“ fließen in den verglichenen Systemen jeweils in unterschiedliche Kriteriengruppen ein.

LEED hat zwei Sonderkriterien, die zusammen knapp 10 % der Gesamtwertung ausmachen: Innovation and Design Process (IDP) und Regional Priority Credit (RPC). Diese werden thematisch nicht gewichtet und nicht zugeordnet. Die BREEAM-Sonderkategorie „Innovation“ belohnt Innovationen aus jedem Bereich und verbindet damit keine unterschiedliche Gewichtung. Jedoch werden die Punkte in der Auswertung einer Hauptkriteriengruppe zugeordnet. Beim DGNB-System hingegen taucht das Thema Innovation in den Kriteriengruppen „Technische Qualität“ und „Prozessqualität“ explizit als Unterpunkt auf.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Im detaillierten Vergleich der Kriterien der drei betrachteten Labels wird deutlich, welche Aspekte der Nachhaltigkeit jeweils besonders thematisiert werden.

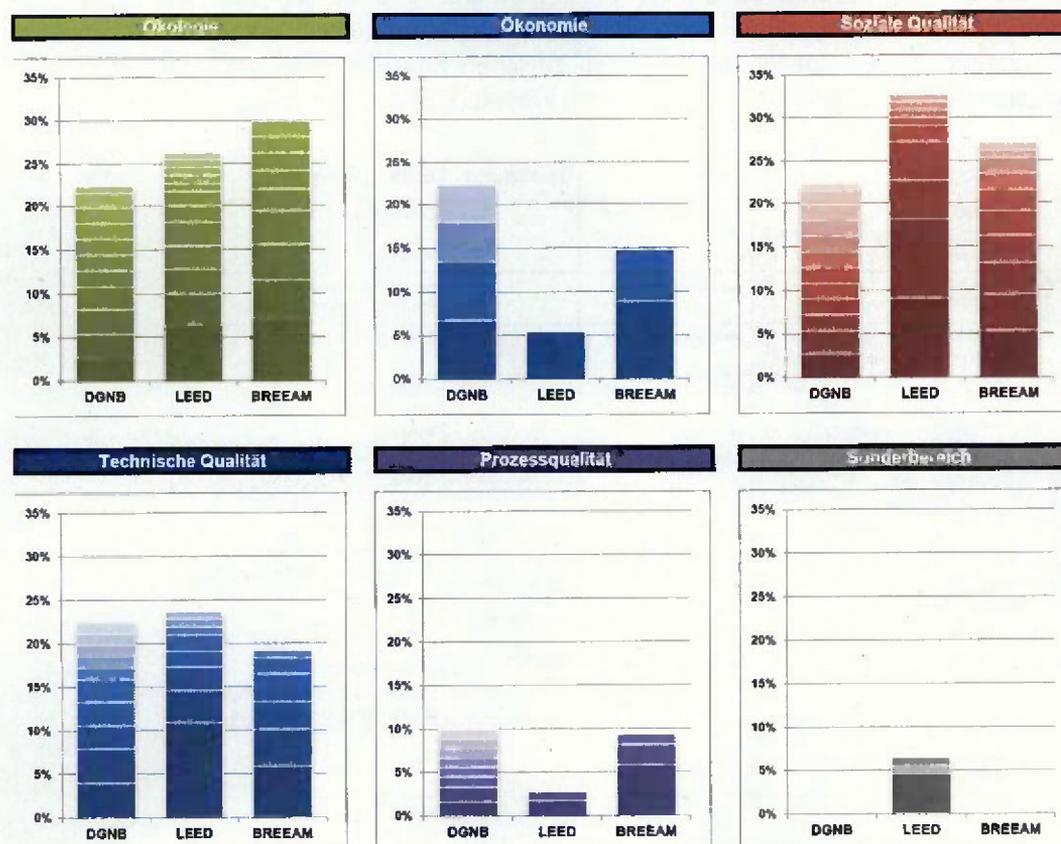


Abbildung 9-6: Vergleich der thematischen Gewichtung der Quartierszertifizierungssysteme, Quelle: Drees & Sommer

9.2 Bewertung von Sportstätten bis dato

Für die Bewertung der baulichen Qualität der Olympischen Spiele wurden seit 2000 verschiedene Ansätze auf Grundlage der oben genannten Zertifizierungssysteme gewählt (siehe Abbildung 9-7).

Auffällig ist, dass die Quartierszertifikate bisher nur für die Olympischen Dörfer, d. h. für die Wohnprojekte im Rahmen von Olympia angewendet wurden. Wettkampfstätten wurden bisher stets auf der Ebene der Gebäudezertifikate betrachtet. Eine integrierte Betrachtung verschiedener Gebäudetypen und -funktionen in einem Quartierszertifikat ist bisher noch nicht geschehen.

Im Rahmen der Gebäudezertifizierung ist zu beachten, dass weder die räumlichen und funktionalen Zusammenhänge mehrerer Sportstätten, noch die spätere Drittverwendung Betrachtung finden.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Benchmarks, auf denen sich die Bewertung z. B. hinsichtlich der energetischen Qualität stützt, sind nicht von anderen Gebäudetypen auf Sportstätten übertragbar. Da es kein speziell für Sportstätten entwickeltes Gebäudezertifikat gibt, wurde für die Olympischen Spiele in London 2012 eine maßgeschneiderte BREEAM-Variante entwickelt, die jedoch den britischen regulatorischen sowie den projektspezifischen Kontext einbezieht und nicht als Marktvariante für die Verwendung in anderen Projekten angeboten wird.

	Methoden	Gebäude	Bewertung	Entwicklung
Sydney 2000	ESD (Environmental Sustainable Development)	Olympisches Dorf und Wettkampfstätten	*	Green Star NABERS
Salt Lake City 2002	LEED U.S. LEED New Construction	Wettkampfstätten		bereits existierendes Bewertungssystem
Turin 2006	GBTTool (Green Building Tool)	Mediendorf	*	Protocollo Itaca
Beijing 2008	GOBAS (Green Olympic Building Assessment System)	Olympisches Dorf und Wettkampfstätten	*	GBAS/ 3 Star (Green Building Assessment System)
	LEED for Neighboring Development	Olympisches Dorf	Gold	Neueinführung von LEED nach China
Vancouver 2010	LEED Canada	Olympisches Dorf	Silber bis Platin	bereits existierendes Bewertungssystem
	LEED for Neighboring Development LEED New Construction	Wettkampfstätten		Pilotversion LEED for Neighbouring Development
London 2012	BREEAM	Olympisches Dorf	Code Level 4	bereits existierendes Bewertungssystem
	EcoHomes BREEAM Communities BREEAM Bespoke	Wettkampfstätten	Excellent	Pilotversion BREEAM Communities Entwicklung der Variante BREEAM Sport Facilities
Sochi 2014	EIA (Environmental Impact Assessment)	*	*	*

* keine Angaben

Quelle: Eßig, N.: Nachhaltigkeit von Olympischen Bauten; Stuttgart; 2010

Abbildung 9-7: Bewertungssysteme Olympischer Spiele (Quelle: Eßig 2010)

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

9.3 Fazit – Nachhaltigkeitsstandards

Um einen durchgängig hohen und vor allem messbaren Nachhaltigkeitsstandard in der OlympiaCity zu gewährleisten, empfiehlt es sich, sowohl die Gebäude einzeln als auch den gesamten Stadtteil als Ganzes zu zertifizieren, bei dem sowohl das funktionale und gestalterische Zusammenspiel sowie der öffentliche Raum, der sie verbindet, bewertet wird.

Für die Zertifizierung der Venues gibt es bis dato kein passgenaues System, eine Entwicklung geeigneter Systeme bis zum konkreten Planungsbeginn der Venues erscheint möglich. Derzeit prüft beispielsweise die DGNB die Entwicklung eines Nutzungsprofils „Sport-Campus“. Aber auch mit BREEAM „Bespoke“ lässt sich ein geeignetes Zertifizierungssystem abbilden.

Die Philosophie, den gesamten Lebenszyklus zu betrachten, bietet ausschließlich das DGNB-System (z. B. über die Ökobilanzierung/LCA). Das DGNB-System ist außerdem weltweit das einzige Nachhaltigkeitssystem mit individuellen Varianten im Quartiersbereich vom Stadtquartier bis zum Industriestandort und somit auch für die Anpassung auf eine OlympiaCity im Ganzen am besten unter den weltweit bekannten Labels geeignet. Insbesondere das Thema *Flexibilität/Nachnutzung* ist für die OlympiaCity relevant und ist im DGNB-System bereits fest integriert.

Zusätzlich zur Quartierszertifizierung nach DGNB wird für einzelne Gebäude auch eine Zertifizierung nach geeignetem System empfohlen. Dies kann sowohl nach dem Umweltzeichen HafenCity, als auch durch spezielle DGNB-, LEED- oder BREEAM-Zertifikate erfolgen.

Erste Cradle-to-Cradle®-Zertifizierungen für ausgewählte Gebäude oder Teile von Gebäuden wären besonders ökologisch und innovativ.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

10 Leuchttürme

Die Gebäude werden erstmals ganzheitlich inkl. Grauer Energie und Nutzerstrom und der damit verbundenen Kosten über ihren Lebenszyklus bewertet. Damit wird umfassend aufgezeigt, welchen ökonomischen und ökologischen Auswirkungen durch die Gebäude und deren Nutzung entstehen.

Ziel bleibt bestehen, einen positiven ökologischen Fußabdruck für die OlympiaCity zu erreichen.

Die vorliegende Untersuchung hilft dabei, hierfür die wirtschaftlich und soziokulturell (insbesondere städtebaulich) beste Strategie zu finden. Im Ergebnis wurde deutlich, dass bei Berücksichtigung aller entstehenden Primärenergien durch die einzelnen Gebäude, die Umsetzung echter Plus-Energiehäuser im Sinne einer On-site-Bilanzierung für mehrgeschossige kompakte Wohngebäude praktisch, wirtschaftlich nicht abbildbar ist. Obwohl die Gebäude hohe Energieeffizienzstandards aufweisen, über Photovoltaik und Solarthermie Teile ihres Energiebedarfs decken und die Wärmeversorgung bereits weitestgehend primärenergetisch neutral ist, bleibt eine Differenz bestehen, die nicht sinnvoll am Gebäude gedeckt werden sollte.

Für die positive Bilanz empfiehlt es sich, den Fokus auf das Quartier zu richten und den externen Energiebedarf des Quartiers beispielsweise über eine direkt zugeordnete Windparkanlage in der Region zu decken.

Neben diesen und weiteren, in diesem Bericht ausführlich untersuchten, Konzepten, wurden darüber hinaus während der Projektbearbeitung zahlreiche weitere wichtige Ideen, Anregungen und Innovationen gesammelt. Dies geschah in Besprechungsrunden und Interviews mit direkt und indirekt beteiligten Personen und Organisationen zum Thema Energieversorgung und nachhaltiges Bauen in der OlympiaCity. Eine zentrale Rolle spielte hierbei ein Stakeholder-Workshop, der speziell für Diskussionen, Ideen, Kritiken und Anforderungen zu diesem Thema am 10.07.2015 stattfand. Initiiert wurde dieser Workshop gemeinsam von der Behörde für Umwelt und Energie zusammen mit Drees & Sommer. Das Protokoll dazu sowie die Teilnehmerliste befinden sich in der Anlage 02.

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Tabelle 10-1: Leuchtturmprojekte

A	Gebäudestandards	
A1	Plusenergiewohnquartiere mit Berücksichtigung Grauer Energie und Nutzerstrom	■
A2	Schadstofffreie Gebäude	■
A3	Einsatz rezyklierbarer Bauweisen	■
A4	Multifunktionale Dachflächen	■
A5	Holzbauweise und Hybrid-Holzbauweise (einzelne Wohngebäude)	■
B	Energie-Infrastruktur	
B1	LowEx-Wärmenetz und virtuelles Kraftwerk	■
B2	Smart Grid und Smart Metering	■
C	Energieerzeugung	
C1	Weitestgehend CO ₂ -freie Wärmeversorgung	■
C2	Einsatz von Wasserstoff-KWK	■
C3	Abwasserwärmenutzung	■
C4	Absorptionskältemaschinen (bei Abwärmenutzung)	■
C5	Regenerative Stromnutzung aus verbundenem Windpark	■
D	Nachhaltigkeitszertifizierung	
D1	Quartiers-Zertifizierung nach DGNB in Gold (bzw. in Platin sofern verfügbar)	■
D2	Einzelzertifizierung für alle Gebäude mit hohem Auszeichnungsgrad	■
E	Sonstiges	
E1	Solaraktive Straßen und Radwege	■

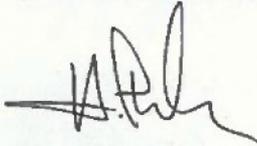
- Empfohlen zur Umsetzung als Standard Olympia 2024
- Empfohlen zur Umsetzung als Leuchtturm

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Dieser Bericht umfasst 131 Seiten (inkl. Deckblatt ohne Anlagen).

Hamburg, 09.10.2015

Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH



Dr. Helge Plath



Dr. Peter Mösle

Anlagen

- ANLAGE 1 – Ökobilanzieller Vergleich Tragwerke
- ANLAGE 2 – Protokoll Workshop Stakeholder

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Beispielhafte Darstellung der Anteile nicht erneuerbarer Energie an einem Referenzwohngebäude (mehrgeschossig, konventionelle Bauweise); Quelle: Eigene Berechnung.....6

Abbildung 5-1: Verbraucher auf dem Kleinen Grasbrook – Olympia-Modus 17

Abbildung 5-2: Verbraucher auf dem Kleinen Grasbrook – Hauptnutzungs-Modus..... 17

Abbildung 7-1: Darstellung des Berechnungsmodells 25

Abbildung 7-2: Vergleich der Endenergiebilanz für die Typgebäude..... 31

Abbildung 7-3: Übersicht über die Primärenergiebilanz der Typgebäude 31

Abbildung 7-4: Vergleich von GWP Gesamt in der Herstellungsphase..... 35

Abbildung 7-5: Vergleich von Primärenergiebedarf Gesamt in der Herstellungsphase 35

Abbildung 7-6: Vergleich von GWP-Gesamt in der Herstellungsphase + Nutzungsphase 36

Abbildung 7-7: Vergleich von Primärenergiebedarf Gesamt in der Herstellungsphase + Nutzungsphase..... 37

Abbildung 7-8: Außenwandaufbau des Woodcube Hamburg (Quelle: White Paper Wood Cube - IBA Hamburg) 38

Abbildung 7-9: Außenwandaufbau des Typgebäudes „Basic“ in Stahlbeton-Bauweise..... 39

Abbildung 7-10: Vergleich der emissionsbedingten Umweltwirkungen Typgebäude „Basic“ in StB- und Holzbauweise..... 40

Abbildung 7-11: Vergleich Primärenergieeinsatz (gesamt/erneuerbar/nicht erneuerbar) für das Typgebäude „Basic“ in StB- und Holzbauweise 40

Abbildung 7-12: Holz-Beton-Verbund-Rippendecken..... 42

Abbildung 7-13: Bereich der Wärmeleitfähigkeiten von dämmenden Baustoffen (Quelle: FIW München – Bericht FO-12/12)..... 43

Abbildung 7-14: Zusammensetzung der LCC-Kosten am Beispiel des „Referenz“-Gebäudes..... 47

Abbildung 7-15: Vergleich der Kapitalbarwerte LCC 50a der drei Typgebäude.....	48
Abbildung 7-16: Holzbau der Stadtwerke Lübeck (Quelle: In-online.de), LCT One (Quelle: cree).....	49
Abbildung 7-17: Darstellung der Anteile an den Lebenszykluskosten (Quelle: Berechnung Drees & Sommer).....	50
Abbildung 8-1: Darstellung Entfernung Kleiner Grasbrook und Aurubis.....	67
Abbildung 8-2: Nahwärmenetz (HT 2-LeiterSystem).....	67
Abbildung 8-3: Prinzipschema Wärmeversorgung für System 1.....	68
Abbildung 8-4: Prinzipschema Wärmeversorgung für System 2.....	70
Abbildung 8-5: Temperaturprofil im ungestörten Erdreich für unterschiedliche Zeitpunkte des Jahres bezogen auf Tage nach dem Hochsommer. (Quelle: Eigene Messungen).....	73
Abbildung 8-6: Prinzipschema Wärmeversorgung System 3.....	74
Abbildung 8-7: Prinzipschema Wärmeversorgung System 4.....	77
Abbildung 8-8: Prinzipschema Wärmeversorgung für System 5.....	82
Abbildung 8-9: Auszug aus der Fernwärmenetzkarte (Quelle: Vattenfall).....	83
Abbildung 8-10: Prinzipschema Wärmeversorgung System 6.....	84
Abbildung 8-11: Beispiele für Fassadenkollektoren (Quelle: "CPC Office/System WICONA und Ritter XL Solar).....	87
Abbildung 8-12: Vergleich der Wärmegestehungskosten.....	99
Abbildung 8-13: Kältekonzept mit Freikühlungsnetz.....	104
Abbildung 8-14: Stromnetz – „Olympia Modus“ – Variante: Beispiel Stadion.....	108
Abbildung 8-15: Stromnetz – „Hauptnutzung“ – Variante: Beispiel Stadion.....	108
Abbildung 8-16: Stromnetz – Trassen – „Hauptnutzung“.....	109
Abbildung 9-1: Recyclinggerechtes Konstruieren am Beispiel Außenwand.....	112
Abbildung 9-2: Dachnutzung gestern, heute und morgen.....	113

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

Abbildung 9-3: Mögliche Bestandteile einer multifunktionalen Dachlandschaft: Solar Pergola zur Verschattung und lokalen Stromproduktion, Terrasse; Begrünung.....	113
Abbildung 9-4: Mögliche Methoden zur Feinstaubbindung	113
Abbildung 9-5: Übersicht der Anforderungskriterien im DGNB-Zertifizierungssystem für Neubauten.....	115
Abbildung 9-6: Vergleich der thematischen Gewichtung der Quartierszertifizierungssysteme, Quelle: Drees & Sommer.....	117
Abbildung 9-7: Bewertungssysteme Olympischer Spiele (Quelle: Eßig 2010).....	118
Abbildung 10-1: Ausschnitt aus Ideensammlung für nachhaltige und energieeffiziente OlympiaCity im Rahmen des Workshops.	121
Abbildung 14-1: Vergleich Tragwerkskonstruktionen konventioneller Stahlbau versus Holz-Stb-Hybridbauweise.....	130

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1:	Übersicht förderfähiger KfW-Standards.....	12
Tabelle 5-2:	Energiebezugsflächen (BGF) für den Olympia-Modus und den Hauptnutzungs-Modus (Stand 29.07.2015).....	16
Tabelle 6-1:	Übersicht Wärmeenergiebedarf – Hauptnutzungs-Modus.....	20
Tabelle 7-1:	Kennzahlen des Berechnungsmodells	26
Tabelle 7-2:	Übersicht über die Energieeffizienzstandards der Typegebäude	29
Tabelle 7-3:	Energiebedarf der Typegebäude	30
Tabelle 7-4:	Abgrenzung Nutzungskosten gemäß DGNB-Steckbrief ECO1.1 NWOv12 Upgrade 31.07.2014.....	45
Tabelle 7-5:	Geschätzte zusätzliche Investitionskosten für die erforderlichen Energieeffizienzstandards	46
Tabelle 7-6:	Vergleich der Herstell- und Nutzungskosten.....	47
Tabelle 8-1:	Investitionskosten Abwärmenutzung Aurubis	91
Tabelle 8-2:	Investitionskosten Biomasseheizwerk.....	92
Tabelle 8-3:	Investitionskosten für dezentrale Wärmepumpen mit Geothermie.....	93
Tabelle 8-4:	Investitionskosten für dezentrale Wärmepumpen mit LowEx-Nutzung	94
Tabelle 8-5:	Kostenansätze der durchschnittlichen jährlichen Kosten	97
Tabelle 8-6:	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Wärmeerzeugung	98
Tabelle 8-7:	Kombinationsmöglichkeiten Wärmeerzeuger und Wärmeverteilungsinfrastruktur.....	101
Tabelle 8-8:	Übersicht grob geschätzter Elektroanschlussleistungen auf Basis vergangener Olympischen Spiele	106
Tabelle 10-1:	Leuchtturmprojekte.....	122

Energie- und Nachhaltigkeitskonzept
Stand: 21.09.2015

13 Abkürzungsverzeichnis

BGF	Bruttogrundfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method
BUE	Behörde für Umwelt und Energie
DGNB	Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen
DOSB	Deutscher Olympischer Sportbund
EnEV	Energieeinsparverordnung
EMS	Energiemanagementsystem
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GWP	Global Warming Potential
IBC	International Broadcast Centre
IDP	Innovation and Design Process
IFB	Investitions- und Förderbank Hamburg
IOC	International Olympic Committee
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KKM	Kompressionskältemaschine
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWL	Kontrollierte Wohnraumlüftung
LCC	Life Cycle Costing
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MPC	Media Press Centre
NGF	Nettogrundfläche
ODP	Ozonabbaupotential
P2G	Power-to-Gas
PEF	Primärenergiefaktor
PE	Primärenergie
PV	Photovoltaik
RPC	Regional Priority Credit
SNG	Synthetic Natural Gas
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
WRG	Wärmerückgewinnung

14 ANLAGE 1 – Ökobilanzieller Vergleich Tragwerke

In einer ökobilanziellen Vergleichsbetrachtung einer konventionellen Stahlbetondecke mit mehreren Hybrid-Deckentypen, die Drees & Sommer für einen projektbezogenen Anwendungsfall im Jahr 2013 in Zusammenarbeit mit dem Architekturbüro Ingenhoven durchführte, hat gezeigt, dass ein Vergleich auch aus umweltbezogener Sicht sinnvoll ist. Nachstehende Tabelle zeigt die Systeme im prinzipiellen Aufbau und dessen ökologische Bewertung (Hinweis: Die absoluten Werte wurden für 1 m² Bauteilfläche ermittelt und wurden konstruktions- und projektbezogen ermittelt).

Variantenvergleich Tragwerk
Konventionelle Stahlbetonskelettbauweise vs. Holz- / Stbb - Hybridbauweise

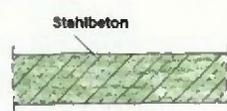
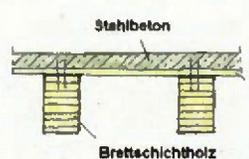
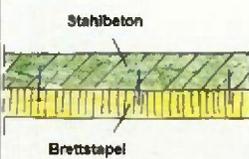
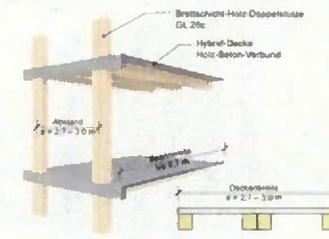
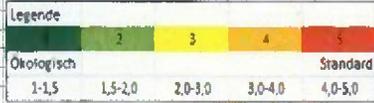
Nr.	Beurteilungsparameter	Variante 1 Stahlbetonskelett	Variante 2a Hybridbauweise - Holz-Beton-Verbund-Rippendecke	Variante 2b Hybridbauweise - Holz-Beton-Verbund-Plattendecke	Variante 2c Hybridbauweise - Holz-Beton-Verbund-Rippendecke als teilweise vorgefertigte Bauweise, z.B. System "CREE"	
						
	(alle Zeichnungen: Büro Ingenhoven)					
1	Kurzbeschreibung System					
	Decke	zweischsig gespannte Flachdecke	einschsig gespannte Holz-Beton-Verbund-Rippendecke (Rippenverlauf siehe Anlage)	einschsig gespannte Holz-Beton-Verbund-Plattendecke	einschsig gespannte Holz-Beton-Verbund-Rippendecke in vorgefertigter Bauweise (Rippenverlauf siehe Anlage)	
	Material	Stahlbeton	Stahlbeton / Brettschichtholz	Stahlbeton / Brettschichtholz	Stahlbeton / Brettschichtholz	
	Statische Dimension (d=)	Deckenstärke 32 cm	Gesamtstärke Platte + Balken 42 cm	Gesamtstärke Platte + Brettschichtholzplatte 38 cm	Gesamtstärke Platte + Balken 38 cm	
	Material	Stahlbeton oder Geleigerstütze	Stahlbeton oder Geleigerstütze	Stahlbeton oder Geleigerstütze	Stahlbeton oder Geleigerstütze	
	Statische Dimension (d=)	Beton: Durchmesser 35cm Geleigerstütze: Durchmesser 27,3cm	Beton: Durchmesser 30cm Geleigerstütze: Durchmesser 24,5cm	Beton: Durchmesser 30cm Geleigerstütze: Durchmesser 24,5cm	Beton: Durchmesser 30cm Geleigerstütze: Durchmesser 24,5cm	
	Randstützen (Fassadenbereich) OG - 5.OG	Rundstütze (auch Rechteckstütze möglich)	Quadratstütze (Holz) oder Rundstütze (Beton)	Quadratstütze (Holz) oder Rundstütze (Beton)	Rechteckdoppelstützen	
	Material	Stahlbeton oder Geleigerstütze	Holz oder Stahlbeton	Holz oder Stahlbeton	Holz	
	Statische Dimension (d=)	Beton: Durchmesser 30cm Geleigerstütze: Durchmesser 21,9cm	Holz: 30cm x 30cm Beton: Durchmesser 25cm	Holz: 30cm x 30cm Beton: Durchmesser 25cm	2 x 26cm x 26cm	
10	Umwelt	Die Umweltindikatoren wurden auf Basis der Ökobau.dat 2012 (nur Herstellung) über die Bauteilmassen nur relativ zu 1 m³ bewertet				
	Treibhauspotential (GWP 100) [kg CO2-Äqv.]	244,77	63,26	93,55	62,03	
	Ozonabbaupotential (ODP) [kg R11-Äqv.]	4,42E-06	1,66E-06	2,77E-06	1,66E-06	
	Photochem. Oxidantienbildungspot. (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	0,07	0,04	0,07	0,04	
	Eutrophierungspotential (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	0,07	0,06	0,09	0,06	
	Versauerungspotential (AP) [kg SO2-Äqv.]	0,62	0,36	0,69	0,36	
	Primärenergie nicht regenerierbar [MJ]	2365,06	936,10	1632,11	963,99	
	Primärenergie regenerierbar [MJ]	103,21	2667,21	4322,06	2170,84	
	Ökologische Bewertung (Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung)	54	25	51	29	
		Mittel (2,2)	Sehr gut (1,0)	Mittel (2,0)	Sehr gut (1,2)	
	Legende					
	Ökologisch	Standard				
		1-1,5	1,5-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0

Abbildung 14-1: Vergleich Tragwerkskonstruktionen konventioneller Stahlbau versus Holz-Stb-Hybridbauweise

15 ANLAGE 2 – Protokoll Workshop Stakeholder