

## Analyse des Energiebedarfs von Stadtquartieren für verschiedene Entwicklungsszenarien inklusive lokaler Stromerzeugung am Beispiel von Berlin Tegel



Masterarbeit an der Technischen Universität München,  
Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt, Lehrstuhl für Bauphysik  
Studiengang Bauingenieurwesen

Autorin: Simone Magdolen

Matrikelnummer: 3604104

Eingereicht am: 16.12.2014

1. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Klaus Peter Sedlbauer, Lehrstuhl für Bauphysik, TU München
2. Betreuer: Dr.-Ing. Roland Göttig, Lehrstuhl für Bauphysik, TU München
3. Betreuer: Dr. Eckhart Hertzsch, Fraunhofer IBP

## Zusammenfassung / Abstract

Nach der Schließung des Flughafen Tegel wird der Stadt Berlin eine 495 ha große, nur 15 min. vom Stadtzentrum entfernte, innerstädtische Fläche zur Verfügung stehen. Es fanden bereits Untersuchungen statt, wie dieses Areal in Zukunft genutzt werden könnte. Der aktuelle Masterplan propagiert einen Forschungs- und Industriestandort auf dem ehemaligen Flughafengelände Tegel.

Im Zuge dieser Masterarbeit wird für verschiedene Nutzungsszenarien der Energiebedarf sowie der potenzielle lokale Stromertrag im Jahreslastgang am Standort Berlin Tegel ermittelt und dargestellt. Auf dieser Basis werden verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten mit unterschiedlichen Vergleichsstandards untersucht und die Energieerträge am Standort werden mittels dezentraler Stromerzeugung, über Photovoltaik und Windkraft, berücksichtigt. Die Berechnung des Energiebedarfs und –ertrags des gesamten Quartiers erfolgt mit Hilfe der Software MATLAB und bietet sich auch für die Anwendung in weiteren Quartieren an.

---

After closing the airport Berlin Tegel, an inner-city area of 495 ha, only 15 minutes away from the city center, will be available for the city of Berlin for conversion. Initial investigations about how this area could be used in the future have already been made. The current master plan focuses on research and industrial use at the former airport site Tegel.

In this thesis the energy demand and possible locally produced electricity is calculated for different usage scenarios at the site of Berlin Tegel using annual load profiles for both, consumption and production. Several development options with different reference standards are examined and the power generation, through photovoltaics and wind, is considered. The calculations of the energy demand and power generation of the entire neighborhood are performed using the software MATLAB and allow to be applied to different neighborhoods as well.

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis .....	7
Formelverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
1. Einleitung.....	10
1.1. Motivation.....	10
1.2. Praxisrelevantes Ziel .....	11
1.3. Aufbau und Umfang der Arbeit .....	13
2. Randbedingungen und Methodik der Berechnung .....	15
2.1. Klima.....	15
2.1.1. Außentemperaturen .....	15
2.1.2. Solarstrahlung .....	17
2.1.3. Windstärken.....	19
2.2. Flächenparameter .....	20
2.3. Energiebedarf.....	23
2.3.1. Strom.....	24
2.3.2. Raumwärme (RW) .....	32
2.3.3. Warmwasser (WW).....	35
2.3.4. Prozesswärme (PW) .....	38
2.4. Stromertrag.....	40
2.4.1. Photovoltaik .....	40
2.4.2. Wind .....	41
2.5. Aufbau der Berechnung in MATLAB.....	43
3. Bisherige Planungen und Nutzungsszenarien für Berlin Tegel .....	48
3.1. Der Standort Berlin Tegel und Umgebung .....	48
3.2. Historischer Hintergrund .....	49
3.3. Planungsprozess und Leitbildentwicklung.....	50
3.4. Masterplan Berlin TXL .....	50
3.4.1. Freiraumplanung .....	51
3.4.2. Nutzungszuweisung Bauflächen .....	51
3.5. Weitere Überlegungen des Berliner Senats .....	52
3.6. Nutzungsszenarien für die Analyse.....	52
3.6.1. Szenario A („Urban Tech Republic“) .....	54

3.6.2.	Szenario B .....	55
3.6.3.	Szenario C .....	56
3.6.4.	Überblick der resultierenden Nettogrundflächen .....	58
4.	Ergebnisse, Analyse und Auswertung der Berechnung .....	59
4.1.	Jahressumme des Energiebedarfs .....	59
4.1.1.	Vergleich der Szenarien .....	59
4.1.2.	Vergleich der Aufteilung des Energiebedarfs .....	62
4.1.3.	Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien .....	64
4.2.	Verlauf des Energiebedarfs .....	66
4.2.1.	Vergleich der Standards .....	66
4.2.2.	Vergleich der Szenarien .....	67
4.2.3.	Vergleich der Jahreszeiten .....	69
4.2.4.	Vergleich der Wochentage .....	70
4.3.	Jahressumme des Stromertrags .....	71
4.4.	Verlauf des Stromertrags .....	73
4.5.	Überlagerung von Strombedarf und Stromertrag .....	74
4.6.	Exkurs (E-Mobilität) .....	76
5.	Fazit und Schlusswort .....	78
6.	Quellenverzeichnis .....	83
Anhang 1: Übersicht Planungsprozess .....		91
Anhang 2: Masterplan TXL .....		92
Anhang 3: Parameter für GFZ und GRZ .....		93
Anhang 4: Betriebszeiten Heizung nach Nutzungsprofilen DIN 18599 .....		94
Anhang 5: Jahresverlauf der Gradstundenzahlen .....		95
Anhang 6: Nutzungszeiten nach Nutzungsprofilen DIN 18599 .....		96
Anhang 7: Nutzungsspezifische Energiebedarfswerte (Endenergie) .....		97
Anhang 8: Eigenschaften MINI-E .....		101
Eidesstattliche Erklärung .....		102

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf der Außentemperaturen am Standort Berlin Tempelhof im Minimum, Maximum und Tagesdurchschnitt für das Testreferenzjahr .....	16
Abbildung 2: Monatsmittelwerte der solaren Einstrahlung am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr .....	17
Abbildung 3: stündliche Mittelwerte der horizontalen Globalstrahlung in den Sommermonaten am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr aufgeteilt in Direkt- und Diffusstrahlung .....	18
Abbildung 4: Stündliche Mittelwerte der horizontalen Globalstrahlung in den Wintermonaten am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr aufgeteilt in Direkt- und Diffusstrahlung .....	19
Abbildung 5: Windgeschwindigkeit in Monatswerten am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr .....	20
Abbildung 6: Windrose mit der Hauptwindrichtung aus Westen am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr .....	20
Abbildung 7: Zusammensetzung der Nutzungsprofile Kleingewerbe, Großgewerbe und soz. Einrichtungen.....	22
Abbildung 8: exemplarische Standardlastprofile im Tagesverlauf am 30.03.2011 bezogen auf die ermittelten Energiebedarfe nach „Vergleichsstandard 2007“ der angegebenen Nutzungen.....	30
Abbildung 9: Jahresverlauf Raumwärme exemplarisch dargestellt für Wohnen (W2, bezogen auf den nutzungsspezifischen Energiebedarf nach „Vergleichsstandard 2007“) .....	35
Abbildung 10: Tagesverlauf Warmwasser dargestellt für Mittwoch den 30.03.2011 für beispielhafte Nutzungen (bezogen auf die nutzungsspezifischen Energiebedarfe nach „Vergleichsstandard 2007“).....	38
Abbildung 11: Tagesverlauf Prozesswärme dargestellt für Mittwoch den 30.03.2011 für beispielhafte Nutzungen (bezogen auf die nutzungsspezifischen Energiebedarfe nach „Vergleichsstandard 2007“).....	40
Abbildung 12 Eingabeblatt für Nutzungsaufteilung in Excel .....	45
Abbildung 13: Funktionsschema des Berechnungstools in MATLAB .....	46
Abbildung 14: Ablaufschema der Berechnung für ein Szenario .....	47
Abbildung 15: Übersicht Standort TXL .....	49
Abbildung 16: Übersicht der Grünflächenstrukturen im Planungsgebiet TXL .....	51
Abbildung 17: Übersicht der untersuchten Szenarien mit zugrundeliegender Nutzungsaufteilung.....	53
Abbildung 18: Nutzungsaufteilung der „Urban Tech Republic“ nach Datengrundlage der Tegel Projekt GmbH .....	54
Abbildung 19: Nutzungsaufteilung Szenario A .....	55
Abbildung 20: Nutzungsaufteilung Szenario B.....	56
Abbildung 21: Nutzungsaufteilung Szenario C .....	57
Abbildung 22: Übersicht der angesetzten Flächen der Szenarien A, B und C mit Nettogrundfläche und Dachflächen für Photovoltaik.....	58
Abbildung 23: Übersicht des Jahresenergiebedarfs je Szenario, Vergleichsstandard und Art der Energieverwendung .....	61
Abbildung 24: Jahresenergiebedarf nach Energieverwendung pro m <sup>2</sup> NGF je Szenario („Vergleichsstandard 2009“).....	62
Abbildung 25: prozentuale Aufteilung des Strombedarfs von Szenario A, B und C nach Nutzung („Vergleichsstandard 2009“).....	63

Abbildung 26: prozentuale Aufteilung des Bedarfs Raumwärme von Szenario A, B und C nach Nutzung („Vergleichsstandard 2009“)	64
Abbildung 27: Tagesverlauf Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) für die unterschiedlichen Vergleichsstandards für das gesamte Quartier (Szenario C, Winter, Werktag)	66
Abbildung 28: Tagesverlauf Strom von Szenario A (links) und Szenario C (rechts) für die unterschiedlichen Vergleichsstandards für das gesamte Quartier (Winter, Werktag)	67
Abbildung 29: Tagesverlauf Strom der verschiedenen Szenarien für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2009“, Werktag, Frühling)	68
Abbildung 30: Tagesverlauf Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) der verschiedenen Szenarien für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2009“, Frühling, Werktag)	69
Abbildung 31: Tagesverlauf Prozesswärme der verschiedenen Szenarien für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2009“, Werktag, Frühling)	69
Abbildung 32: Tagesverlauf Strom von Szenario A (links) und Szenario B (rechts) für die unterschiedlichen Jahreszeiten für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2009“, Werktag)	70
Abbildung 33: Tagesverlauf Strom und Raumwärme (RW) von Szenario A für unterschiedliche Wochentage für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2020“, Winter)	71
Abbildung 34: Jahresstromertrag Photovoltaik (PV) und Wind der untersuchten Szenarien	72
Abbildung 35: Jahresstromertrag Photovoltaik (PV, 5° Süd) und Wind je m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> für die untersuchten Szenarien	73
Abbildung 36: Stromertrag Photovoltaik (PV, 5° Süd) und Wind im Jahresverlauf (links) und Stromertrag Photovoltaik (PV, 5° Süd) von Szenario A im Tagesverlauf für die unterschiedlichen Jahreszeiten (rechts)	74
Abbildung 37: Stromertrag Photovoltaik (PV, 30°, Süd.) und Wind im Jahresverlauf (links) und Stromertrag Photovoltaik (PV, 30°, Süd.) von Szenario A im Tagesverlauf für die unterschiedlichen Jahreszeiten (rechts)	74
Abbildung 38: Stromüberschuss im Tagesverlauf für Szenario A, B und C bei einer Neigung der PV-Module von 5° („Vergleichsstandard 2009“, Sommer, Werktag)	76
Abbildung 39: Jahresenergiebedarf je Energieverwendung für die unterschiedlichen Szenarien („Vergleichsstandard 2009“ und „Vergleichsstandard 2020“)	79
Abbildung 40: Jahresenergiebedarf nach Energieverwendung pro m <sup>2</sup> NGF je Szenario („Vergleichsstandard 2009“ und „Vergleichsstandard 2020“)	80
Abbildung 41: Jahresstrombedarf für die unterschiedlichen Szenarien mit Kennzeichnung des Bedarfs, der direkt mit dem lokal erzeugten Strom gedeckt werden kann, sowie Jahresstromertrag für die unterschiedlichen Szenarien (30° Neigung der PV Module)	81

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbau der Arbeit .....	13
Tabelle 2: Auswahl repräsentativer Tage in Abhängigkeit des Temperaturverlaufs .....	16
Tabelle 3: Auswahl repräsentativer Tage in Abhängigkeit der horizontalen Globalstrahlung ..	19
Tabelle 4: Flächenkategorien und Kennziffern in Berlin .....	21
Tabelle 5: Grundausstattung eines neu geplanten Wohngebiets mit Läden und Dienstleistungseinrichtungen je 5.000 Einwohner .....	23
Tabelle 6: Referenzstudien zur nutzungsspezifischen Strom- und Wärmebedarfsermittlung..	24
Tabelle 7: Ermittelte Strombedarfe (Endenergie) für verschiedene Nutzungen .....	26
Tabelle 8: Übersicht der Standardlastprofile und der Zuordnung der vorkommenden Nutzungen.....	29
Tabelle 9: Ermittelte Wärmebedarfe Raumwärme (Endenergie) für unterschiedliche Nutzungen .....	32
Tabelle 10: Getroffene Annahmen für Bezugsparameter zu Ermittlung des Wärmebedarfs für Trinkwarmwasser .....	36
Tabelle 11: Ermittelte Wärmebedarfe für Trinkwarmwasser (Endenergie) für unterschiedliche Nutzungen .....	37
Tabelle 12: Ermittelter Prozesswärmebedarf unterschiedlicher Nutzungen .....	39
Tabelle 13: In die Berechnung des Photovoltaik-Ertrags eingehende Parameter .....	41
Tabelle 14: Eigenschaften der Großwindkraftanlage .....	42
Tabelle 15: Aufteilung des Planungsgebiets Berlin Tegel in Baufläche, Verkehrsfläche und Grünfläche .....	53
Tabelle 16: Vergleich der Ergebnisse des Energiebedarfs („Vergleichsstandard 2007“) mit dem Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (ECA) .....	65
Tabelle 17: Deckungsanteil des Strombedarfs (PV & Wind).....	75
Tabelle 18: überschüssiger Jahresstromertrag in Abhängigkeit der Szenarien, Vergleichs- standards und Neigungswinkel der PV Module .....	77
Tabelle 19: Anzahl der E-Mobile am Standort Berlin Tegel resultierend aus lokalem Stromüberschuss.....	77
Tabelle 20: Anzahl der Einwohner für Szenario A, B und C .....	77

## Formelverzeichnis

Formel 1 Gradtagszahl .....	33
Formel 2: elektrische Windleistung .....	42

## Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitsplätze
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BGF	Brutto-Grundfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DOSB	Deutscher Olympischer Sportbund
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
EW	Einwohner
FNP	Flächennutzungsplan
GFZ	Geschossflächenzahl
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GRZ	Grundflächenzahl
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IWU	Institut Wohnen und Umwelt (IWU)
gmp	ehemals Gerkan, Marg und Nickels, heute Gerkan, Marg und Partner
MFH	Mehrfamilienhaus
NGF	nutzbare Netto-Grundfläche
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PV	Photovoltaik
PW	Prozesswärme
RH	Reihenhaus
RW	Raumwärme
SLP	Standardlastprofil
TRY	Testreferenzjahr
TXL	Flughafencode des Flughafen Tegel, Synonym für das Gebiet Berlin Tegel
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WW	Warmwasser
WE	Wohneinheit

## 1. Einleitung

### 1.1. Motivation

Der Anteil der Bevölkerung die in Städten lebt, nimmt immer weiter zu. Schon heute sind es weltweit bereits über 50 %, in Deutschland bereits über 70 % der Bevölkerung, die sich für ein städtisches Leben entschieden haben (Statista 2014a). Neben den damit verbundenen Wohnflächen befindet sich auch der überwiegende Anteil an Gewerbe- und Industrieflächen in städtischen Gebieten. Dies führt dazu, dass Städte in Deutschland für etwa 80 % des Endenergieverbrauchs verantwortlich sind (Erhorn-Kluttig et al. 2011). Vor dem Hintergrund einer fortschreitenden Verstädterung und angesichts von Herausforderungen wie der zunehmenden Ressourcenknappheit, des Temperaturanstiegs und der Zunahme von Extremwetterereignissen im Zuge des Klimawandels sowie des bevorstehenden demografischen Wandels gilt es, aktiv zu werden und den Energieverbrauch in Städten zu verringern.

Dem Gebäudesektor kommt hierbei eine besondere Rolle zu, denn der zugehörige Beitrag zum gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland beträgt rund 45 %. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor und der Einsatz innovativer Technologien sind daher dringend notwendig, um die von der Bundesregierung Deutschland gesetzten Ziele, insbesondere die Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 20 % (gegenüber 2008) und den Ausbau des Anteils an erneuerbaren Energien zu einem Anteil von 18 % am Bruttoendenergieverbrauch bis 2020 (Bundesregierung Deutschland 2014), zu erreichen. Ein Weg, die Energiewende in größerem Rahmen umzusetzen, ist die Optimierung von typischen Stadtteilen und Siedlungsgebieten, also auf Quartiersebene. Hierbei können zusammenhängende dynamische Prozesse im urbanen Kontext, über Gebäudeebene hinaus, aufgegriffen werden. Ein Beispiel hierfür ist die Nutzung der Abwärme eines Industriegebiets in der umgebenden Nachbarschaft. Der Quartierskontext gewinnt aufgrund solcher Überlegungen, wie Synergien in der direkten Nachbarschaft zu schaffen sind, zunehmend an Bedeutung, um großflächig die gesetzten Ziele zu erreichen. Gerade mit dem steigenden Anteil an erneuerbarer Energien an der Stromversorgung und daraus resultierendem fluktuierendem Energieangebot wird es immer wichtiger, bereits auf Quartiersebene Schwankungen auszugleichen.

Auch EU und Bund haben bereits vermehrt Fördermaßnahmen auf Quartiersebene ausgeschrieben. Ein Beispiel ist die Auflage des KfW-Förderprogramms Energetische

Stadtsanierung (KfW 2014), welche integrierte Quartierskonzepte auf Basis der Energiebilanz des Quartiers fördert. Genaue Kenntnisse über den Energiebedarf des Quartiers sind dafür ebenso notwendig wie beispielsweise Informationen zu den größten Energieverbrauchern. Auf Grundlage dieser Kenntnisse können in der Folge gesamtheitliche Maßnahmen entwickelt werden, um den Energiebedarf in Quartieren zu senken. Weitere Beispiele sind die Studie „Sustainable Urban Infrastructure“ (Siemens AG et al. 2011) und die „Insel-Stromstudie Hamburg-Wilhelmsburg“ (IBA Hamburg 2013), bei denen insbesondere Optimierungspotentiale für Stromnetz, Speicherung und Lastmanagement betrachtet wurden.

Mit Hilfe von Softwareprogrammen wie dem Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere des Fraunhofer IBP (Fraunhofer IBP 2012) oder dem Arealbewertungstool für die 2000-Watt Gesellschaft aus der Schweiz (Kellenberger et al. 2012) können auf Grundlage der Abbildung von Gebäudetypen und –eigenschaften im Quartier Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen ermittelt und Energiekonzepte verglichen werden.

Befindet man sich am Startpunkt der Planung, bedarf es bei den genannten Tools bereits konkreter Detailinformationen auf Gebäudeebene. Da diese Informationen in der frühen Planungsphase in der Regel noch nicht vorliegen, befasst sich diese Arbeit damit, ein Tool zu entwickeln, mit dem auf Basis geeigneter Parameter bereits in der frühen Planungsphase der Energiebedarf abgeschätzt und insbesondere der Jahresverlauf dargestellt werden kann.

Mit Hilfe des erarbeiteten Tools sind folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Wie sieht die Dynamik der Energienachfrage und Stromerzeugung für ein urbanes Quartier aus?
- Wie wirken sich bestimmte Nutzungen auf den Energiebedarf aus?
- Welche Stromerträge stehen diesem durch Erzeugung erneuerbarer Energien am Standort entgegen?

## 1.2. Praxisrelevantes Ziel

Um Berechnungen und Ergebnisse einordnen zu können, werden diese anhand von Projekten aus der Praxis validiert. Aktuell gibt es in Deutschland eine Reihe von Großprojekten auf Quartiersebene, die sich mit effizienter Energieversorgung befassen, wie beispielsweise Berlin Adlerhof, Bottrop Welheimer Mark und die IBA Hamburg.

Ein weiteres Großprojekt ist die Konversion des Flughafengeländes Berlin Tegel, die als Fallstudie dieser Arbeit dient. Vor dem Hintergrund, dass auf dem Gelände aktuell

Flughafenbetrieb herrscht, dieser jedoch zukünftig eingestellt werden soll und damit eine große Nutzfläche in guter Lage frei werden wird, bieten sich verschiedene Szenarien hinsichtlich der nachfolgenden Nutzung an. In der vorliegenden Arbeit werden folgende drei Szenarien untersucht:

- Szenario A: Urban Tech Republic
- Szenario B: Überwiegend Wohnquartier
- Szenario C: Gemischtes Quartier

Szenario A berücksichtigt die Nutzungsaufteilung für einen Forschungs- und Industriepark unter der Leitidee „Urban Tech Republic“, was aktuell einen konkreten Bestandteil der Planungen des Berliner Senats darstellt.

Szenario B bedient die für Berlin prognostizierte anhaltend steigende Nachfrage nach Wohnraum (Statista 2014b), der die Stadt gerecht werden muss, und besteht überwiegend aus Wohnflächen. Nachdem die Pläne für bezahlbaren Wohnraum auf der Fläche des ehemaligen Flughafengeländes Tempelhof von den Hauptstadtbewohnern mit einem Volksentscheid abgelehnt wurden (Tempelhof Projekt 2014), steht nun zur Diskussion, ein größeres Siedlungsgebiet in Berlin Tegel zu realisieren (Strehler 2014). Teile dieses Wohnquartiers könnten bei einer möglichen Austragung der Olympischen Spiele in Berlin – wie es aktuell Bestandteil von Überlegungen des Berliner Senats ist - als Olympisches Dorf dienen.

Als Szenario C wird ein gemischtes Quartier als drittes Szenario untersucht, adressiert an die zunehmend vertretene Meinung unter Fachleuten, dass zukunftsfähige Stadtquartiere vielseitig nutzbar sein müssen (Sabow et al. 2013; Sluitner 2013).

Ziel der Arbeit ist es, der Tegel Projekt GmbH bereits in der frühen Planungsphase der Nachnutzung des Gebiets einen ersten Eindruck vermitteln zu können, mit welchem Bedarfsaufkommen bei den betrachteten Szenarien zu rechnen ist. Als Entscheidungshilfe für die weitere Planung stellen die Ergebnisse sowohl den Jahresbedarf verschiedener Nutzungsszenarien als auch deren Verlauf dar. Die Kenntnis der zu erwartenden Energienachfrage bildet eine wichtige Grundlage für die Planung des Energiekonzepts für das Quartier.

### 1.3. Aufbau und Umfang der Arbeit

Nachdem in der Einleitung die Ziele, der Aufbau und der Umfang der Arbeit beschrieben werden, befasst sich Kapitel 2 mit der Datengrundlage und Methodik der Berechnung. Es werden unterschiedliche Vergleichsstandards betrachtet, die den Bedarf zu heutigem Stand sowie für zukünftig geltende Anforderungen und Verbrauchsprognosen abbilden. Der Fokus liegt hierbei auf Neubauten bzw. der Modernisierung auf Neubaustandard.

In Kapitel 3 wird die stadtplanerische Ausgangslage am Standort Tegel vorgestellt und die gewählten Nutzungsszenarien, die in der Berechnung untersucht werden, beschrieben.

Auf Grundlage von Kapitel 2 und 3 werden im darauffolgenden Kapitel 4 die Ergebnisse der Berechnung ausführlich dargestellt und beschrieben. Bestandteil dieses Kapitels ist außerdem ein Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Szenarien untereinander sowie eine Validierung der Berechnungsergebnisse. Darüber hinaus wurde untersucht, wie hoch der Anteil des lokal erzeugten Stroms ist, der nicht direkt am Standort genutzt werden kann, und welche Konsequenzen dies für eine mögliche E-Mobilitätsflotte am Standort hätte.

Den Schluss der Arbeit bildet Kapitel 5, in welchem die Erfahrungen der Arbeit beschrieben und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt wird.

Einen Überblick zum Aufbau der Arbeit bildet Tabelle 1.

**Tabelle 1: Aufbau der Arbeit**

Kapitel	Inhalt
1. Einleitung	Ziel, Arbeit und Umfang der Arbeit
2. Randbedingungen und Methodik der Berechnung	Datengrundlage, Berechnungsvorgehen und verwendete Software
3. Bisherige Planungen und Nutzungsszenarien für Berlin Tegel	Ausgangslage der Planungen am Standort und untersuchte Nutzungsszenarien
4. Ergebnisse, Analyse und Auswertung der Berechnung	Vorstellen und Analyse der Ergebnisse, Vergleich und Validierung
5. Fazit und Schlusswort	Zusammenfassung und weiterführender Forschungsbedarf

Bei der Ermittlung des Energiebedarfs sind Strom, Wärmebedarf für Raumwärme (RW), Warmwasser (WW) und Prozesswärme (PW) sowie Kälte (im Strombedarf enthalten) berücksichtigt. Der Fokus wird auf Neubauquartiere gelegt. Speziell benötigte mechanische Energie (Kraft) wird in der vorliegenden Studie nicht betrachtet, da sie für die untersuchten

Nutzungen auf Grundlage der recherchierten Daten kaum benötigt wird (Fraunhofer ISI et al. 2009).

Weiter wird der Ertrag dezentraler, erneuerbarer Stromerzeugung am Standort berechnet. Um etwaige Energieüberschüsse im Gebiet einordnen zu können, wird näherungsweise dargestellt, in welchem Maße diese mit E-Mobilität genutzt werden könnten. Darüber hinaus ist der quartiersbezogene Energiebedarf für Mobilität in der Studie nicht weiter betrachtet, da dieser stark abhängig vom zukünftigen Mobilitätskonzept und den Nutzern in Tegel ist. Im Zuge der Flächenkonversion sind hier sicherlich Änderungen zu erwarten.

Die untersuchte Kerngröße dieser Studie ist der Energiebedarf in der Einheit kWh, eine Umrechnung in Treibhausgasemissionen in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ist nicht das Ziel der Untersuchung. Der Fokus liegt auf dem Energiebedarf des Quartiers im Betrieb, graue Energie findet keine Betrachtung. Ebenso sind konkrete wirtschaftliche Aspekte, mögliche Auswirkungen auf Verteil- und Übertragungsnetzte sowie ein potentiell notwendiger Netzausbau nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

## 2. Randbedingungen und Methodik der Berechnung

In diesem Kapitel ist die verwendete Datengrundlage und Vorgehensweise der Berechnung vorgestellt und erläutert. Durchgeführt wird die Berechnung anhand des Beispielquartiers Berlin Tegel. Demnach werden hier die Wetterdaten und Flächenparameter von Berlin verwendet, bei Anwendung auf andere Quartiere sind diese entsprechend zu ändern.

Ziel ist die möglichst realistische Darstellung der Energiesituation eines Stadtquartiers am Beispiel Berlin Tegel zu heutigem Stand sowie in der Zukunft. Der Bedarf an Strom und Heizenergie für Raumheizung, Warmwasser- und Prozesswärme sowie Kälte (im Strombedarf berücksichtigt) ist ebenso Bestandteil der Analyse wie eine mögliche regenerative Stromerzeugung vor Ort. In stündlichen Zeitschritten ist ein Kalenderjahr bezüglich der jeweiligen Nutzung (je nach Szenario) simuliert.

### 2.1. Klima

Berlin liegt im Nordosten Deutschlands (Breite: 52°31'12" N, Länge: 13° 24' 36") und ist dem kontinentalen Klima zuzuordnen (Senatsverwaltung Berlin 2014).

Die Klimadaten für diese Studie entstammen dem Klimadatensatz von Meteonorm (TMY2 Climate Data / TM2) für das Testreferenzjahr (TRY) für die Klimastation Berlin Tempelhof. Zwar liegt Tempelhof 12 km süd-östlich von Berlin Tegel südlich der Berliner Innenstadt, jedoch ist anzunehmen, dass sich die klimatischen Parameter nur geringfügig unterscheiden. Da Tempelhof wie auch Tegel eine ehemals als Flughafen genutzte Fläche darstellt, ist davon auszugehen, dass aufgrund der großen Freifläche die klimatischen Bedingungen mit dem Standort Tegel zu vergleichen sind.

Für eine genauere Studie im Zuge der weiteren Planungen für den Standort Tegel sollten Wetterdaten am Standort direkt erhoben und ausgewertet werden, wobei auch die Einflüsse der geplanten Bebauung zu berücksichtigen sind (beispielsweise bei Windsimulationen).

#### 2.1.1. Außentemperaturen

Die Außentemperaturen weisen für das Testreferenzjahr im Durchschnitt Temperaturen von ca. – 10 °C bis 25 °C auf. Von März bis November liegen die Temperaturen über dem Gefrierpunkt. Die kälteste stündliche Mitteltemperatur beträgt - 17,3 °C am 12.01. um

8.00 Uhr morgens, die wärmste Temperatur 31,7 °C am 21.07. um 12.00 Uhr mittags. Der Verlauf der Minimal, Mittel- und Maximaltemperaturen ist in Abbildung 1 dargestellt.

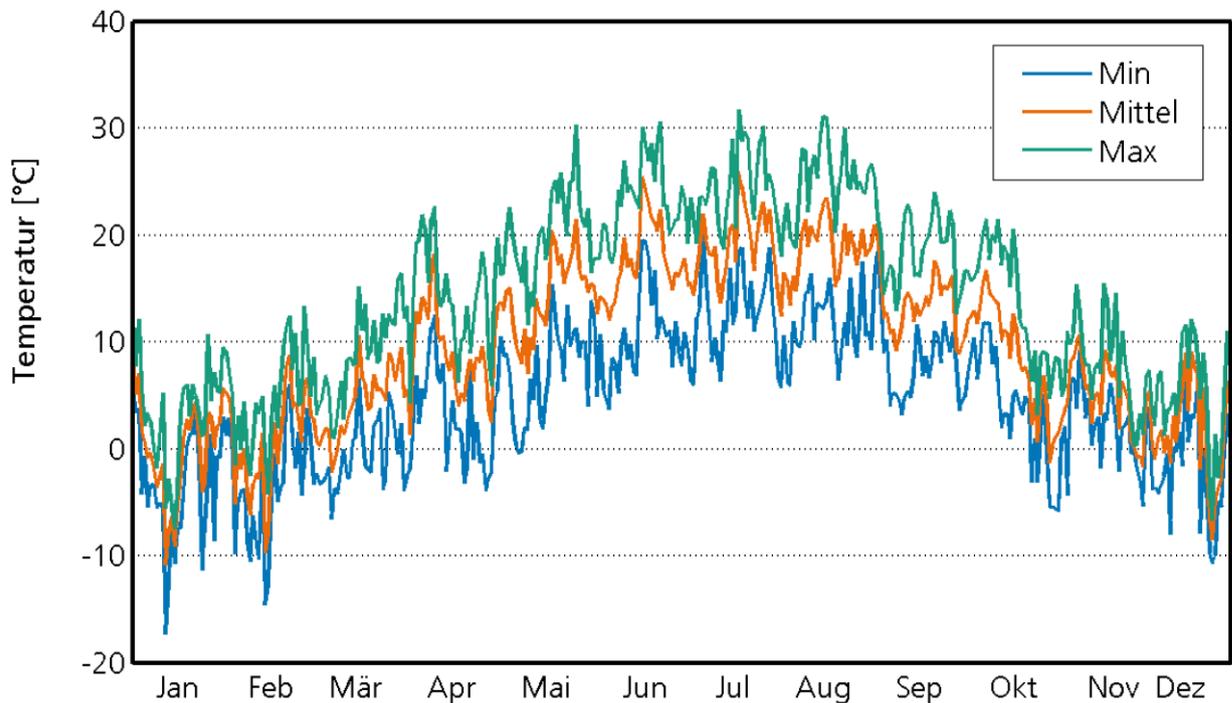


Abbildung 1: Verlauf der Außentemperaturen am Standort Berlin Tempelhof im Minimum, Maximum und Tagesdurchschnitt für das Testreferenzjahr (Meteonorm 2014)

Bei der Darstellung der Ergebnisse der Arbeit (Kapitel 4) ist berücksichtigt, dass die ausgewählten Tagesverläufe maßgeblich für die Jahreszeit sind. Dabei beträgt die Durchschnittstemperatur auf Grundlage der Wetterdaten Berlin im Sommer 18,91 °C (monatliches Mittel Juli, Jahresmaximum) sowie im Winter - 0,15 °C (monatliches Mittel Januar, Jahresminimum). Die Durchschnittstemperatur im Frühling sowie Herbst beträgt 9,34 °C. Die im Folgenden dargestellten, als repräsentativ zu betrachtenden Tage, sind nach dem Kriterium einer möglichst geringen Abweichung der Tagesdurchschnittstemperatur von der Durchschnittstemperatur der jeweiligen Jahreszeit ausgewählt. In Tabelle 2 sind die repräsentativen Werktage, Samstag sowie Sonn- und Feiertage mit den dazugehörigen Tagesdurchschnittstemperaturen ersichtlich.

Tabelle 2: Auswahl repräsentativer Tage in Abhängigkeit des Temperaturverlaufs

Jahreszeit	Werktag	Samstag	Sonn-/Feiertag
Winter	07.01. (Ø -0,38 °C)	08.01. (Ø -1,76 °C)	23.01. (Ø 1,18 °C)

Jahreszeit	Werktag	Samstag	Sonn-/Feiertag
Frühling	27.04. (Ø 9,62 °C, Schulferien)	23.04. (Ø 8,36 °C)	17.04. (Ø 9,09 °C)
Sommer	11.07 (Ø 18,30 °C, Schulferien)	13.08. (Ø 18,98 °C)	10.07. (Ø 19,60 °C)
Herbst	19.10. (Ø 8,52 °C)	01.10. (Ø 9,33 °C)	02.10. (Ø 8,92 °C)

### 2.1.2. Solarstrahlung

Die solare Einstrahlung wird in der vorliegenden Analyse im Zuge der Planung von Photovoltaikanlagen zur Produktion von Strom verwendet. Die solare Energieeinstrahlung ist abhängig von der Himmelsrichtung sowie dem Neigungswinkel der Kollektoren. Parameter, auf denen die Simulation basiert, sind Kapitel 2.4.1 zu entnehmen. Abbildung 2 zeigt die solare, globale Energieeinstrahlung auf die Horizontale. Die Jahressumme beträgt 1001 kWh / m<sup>2</sup> (Meteonorm 2014).

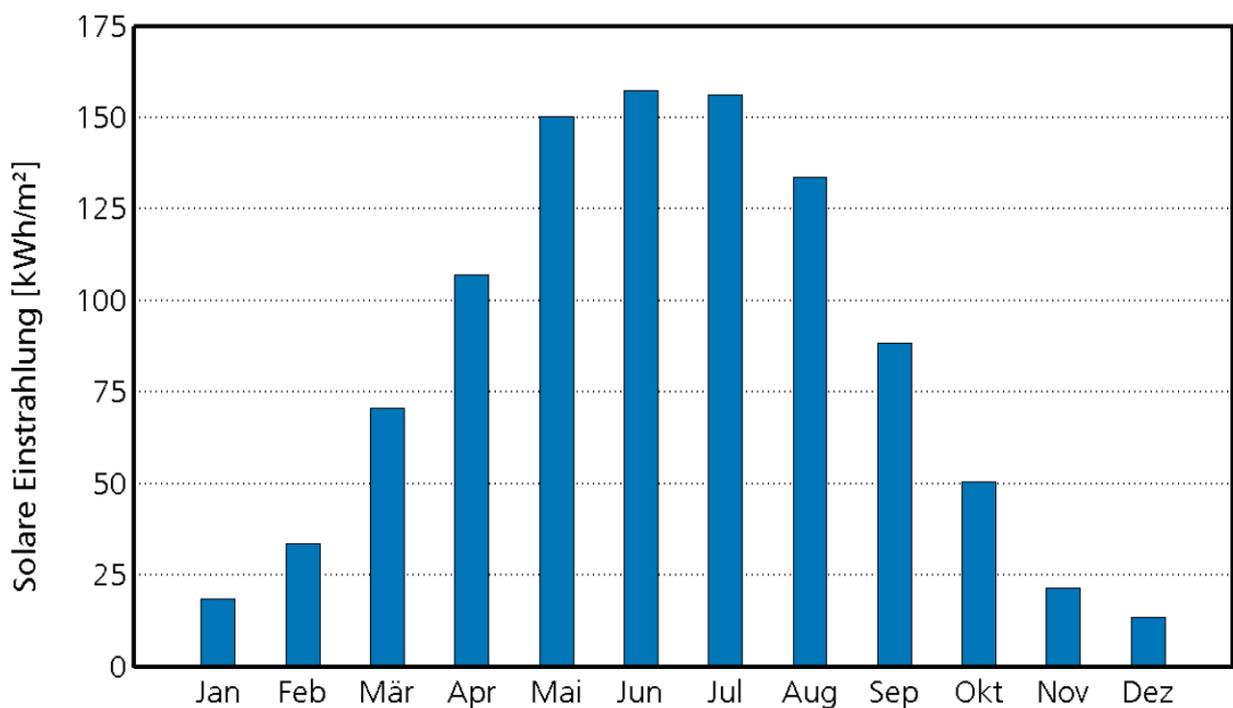


Abbildung 2: Monatsmittelwerte der solaren Einstrahlung am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr (Meteonorm 2014)

In den Wintermonaten ist die Energieeinstrahlung in Berlin sehr gering. In der monatlichen Summe beläuft sich diese etwa auf ein Achtel der Energieeinstrahlung in den Sommermonaten.

Im Jahresverlauf zeigen sich die höchsten Einstrahlungswerte in den Monaten von Mai bis einschließlich August. Die jeweiligen stündlichen Mittelwerte sind in Abbildung 3 in den Sommermonaten und in Abbildung 4 in den Wintermonaten dargestellt.

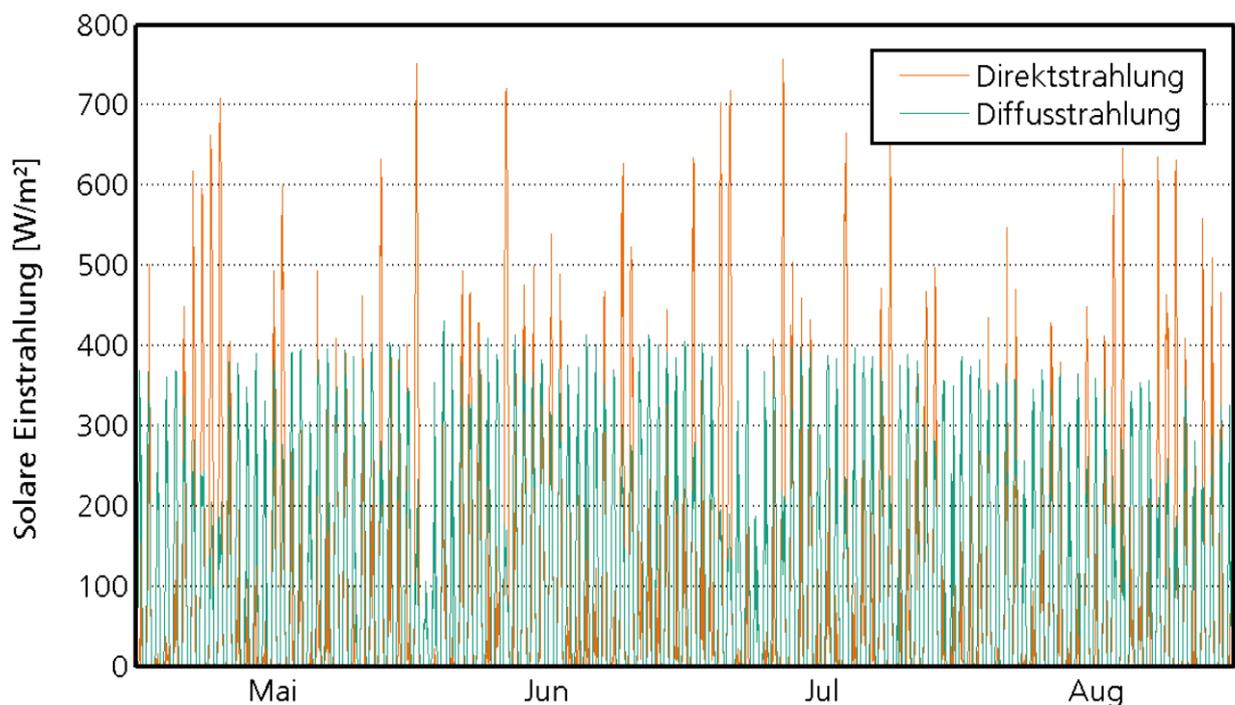


Abbildung 3: stündliche Mittelwerte der horizontalen Globalstrahlung in den Sommermonaten am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr aufgeteilt in Direkt- und Diffusstrahlung (Meteonorm 2014)

In den Wintermonaten, in denen der Anteil der diffusen Strahlung zumeist den der Direktstrahlung übersteigt, ist die solare Einstrahlung in Berlin gering. Es sind nur vereinzelt stündliche Werte über  $200 \text{ W/m}^2$  zu verzeichnen (siehe Abbildung 4). Diffuse Strahlung bezeichnet im Gegensatz zur direkten Sonnenstrahlung den Anteil der auf der Erdoberfläche eintreffenden Sonnenstrahlung, der mit der Erdatmosphäre wechselwirkt.

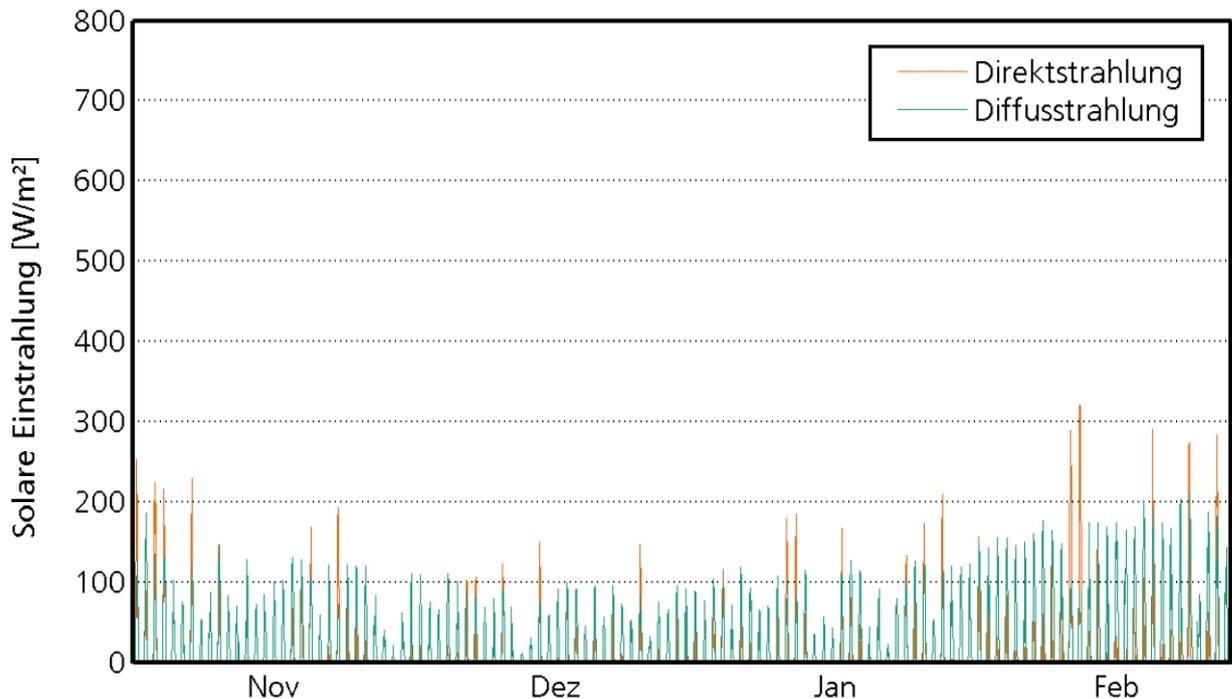


Abbildung 4: Stündliche Mittelwerte der horizontalen Globalstrahlung in den Wintermonaten am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr aufgeteilt in Direkt- und Diffusstrahlung (Meteonorm 2014)

Auch zur Abbildung des Solarertrags im Tagesverlauf sind repräsentative Tage ausgewählt, die auf Grundlage der Tagessumme der horizontalen Globalstrahlung ermittelt wurden.

Tabelle 3: Auswahl repräsentativer Tage in Abhängigkeit der horizontalen Globalstrahlung

Jahreszeit	Tag	Tagessumme
Winter	31.12.	$\Sigma$ 435 Wh / m <sup>2</sup>
Frühling	13.05.	$\Sigma$ 2775 Wh / m <sup>2</sup>
Sommer	03.07.	$\Sigma$ 5258 Wh / m <sup>2</sup>
Herbst	30.09.	$\Sigma$ 2714 Wh / m <sup>2</sup>

### 2.1.3. Windstärken

Über Windkraftanlagen ist die Nutzung von Windenergie möglich. Die Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Monatswerte in Berlin Tempelhof in einer Höhe von zehn Metern über dem Erdboden schwanken zwischen 3,6 m / s im Februar im Minimum und 6,2 m / s im März im Maximum. Die Jahresdurchschnittsgeschwindigkeit beträgt 4,5 m / s in einer Höhe von 10 m über dem Erdboden.

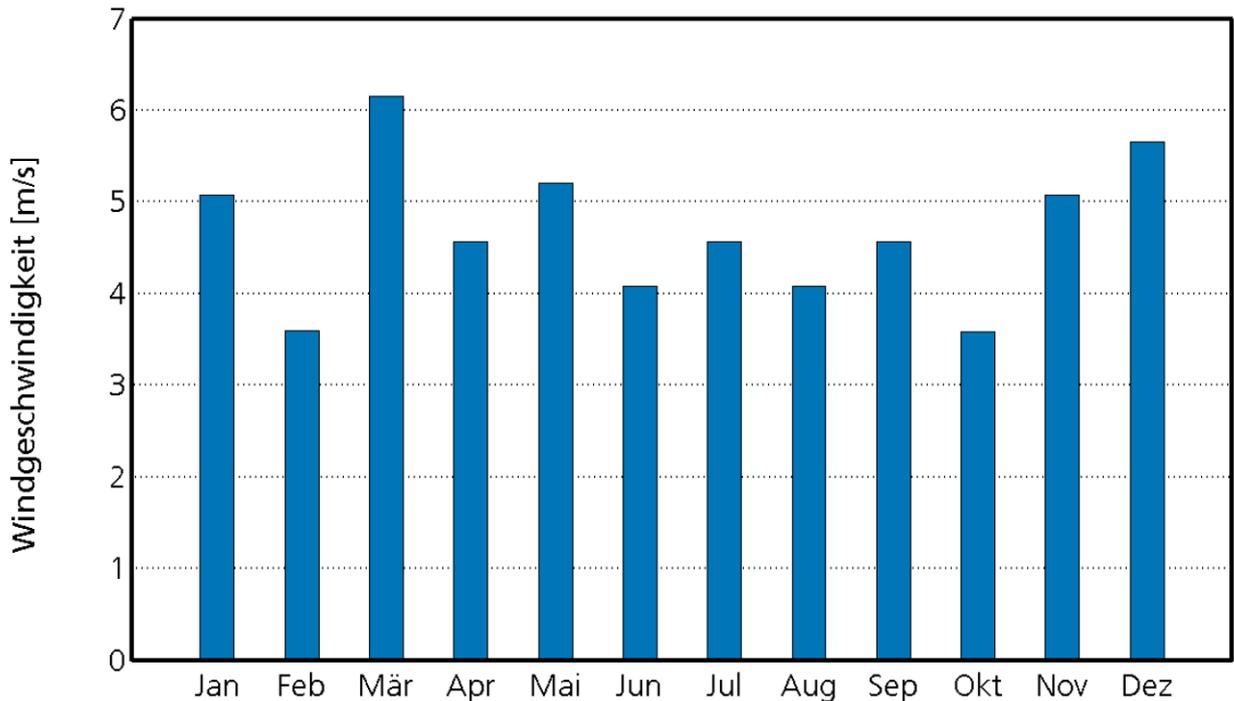


Abbildung 5: Windgeschwindigkeit in Monatswerten am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr (Meteonorm 2014)

Die Windrose in Abbildung 6 zeigt, dass die Hauptwindrichtung aus Westen erfolgt. In der Windrose ist dargestellt, in wie vielen Stunden im Jahr die Windrichtung am Standort Berlin Tegel aus der jeweiligen Himmelsrichtung erfolgt.

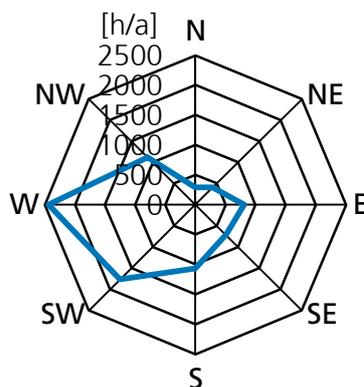


Abbildung 6: Windrose mit der Hauptwindrichtung aus Westen am Standort Berlin Tempelhof für das Testreferenzjahr (Meteonorm 2014)

## 2.2. Flächenparameter

Weitere Eingangsparameter für die Simulation sind die Größe des Baulands und die prozentuale Nutzungsaufteilung. Daraus werden auf Grundlage von Grund- und Geschossflächenzahl (GFZ und GRZ) die Nettogrundfläche je Nutzung sowie Dachfläche für

jedes Szenario berechnet. Wie sich die Nutzungsszenarien zusammensetzen, ist in Kapitel 0 beschrieben.

Parameter wie Geschoss- und Grundflächenzahl beruhen zum einen auf den Dokumenten der Tegel Projekt GmbH. Aus diesen sind im speziellen für Industrie, Büro, Großgewerbe und Kleingewerbe sowie Forschung entsprechende Mittelwerte gebildet und für die Simulation angewendet. Zum anderen beruhen für die Wohnnutzung die Werte für GFZ und GRZ sowie Einwohneranzahl auf dem Dokument „Flächennutzungsplan Berlin – Erläuterung der Darstellung“. In diesem Dokument sind Kennziffern der Flächennutzung für Berlin beschrieben und anhand von ausgewählten Beispielen genannt. Für Wohnbauflächen sind für Berlin die Kategorien W1 bis W4 in Tabelle 4 zu unterscheiden und jeweils an Beispielen verdeutlicht. Die charakteristischen Merkmale wie GFZ und GRZ sowie Anzahl der Wohneinheiten (WE) und Einwohner (EW) pro Hektar sind in genannter Tabelle entsprechend angegeben.

**Tabelle 4: Flächenkategorien und Kennziffern in Berlin (Senatsverwaltung Berlin 2005)**

Wohnbaufläche und Beispielquartier	Eigenschaften	GFZ	GRZ	WE / ha	EW / ha
W1 (GFZ > 1,5) Rummelsburger Bucht	Mehrfamilienhäuser (MFH), Blockstruktur	2,5	0,4	210	400
W2 (GFZ ≤ 1,5) Hellersdorf	MFH, Zeilen und Blöcke	1,1	0,2	120	240
W3 (GFZ ≤ 0,8) Stralau	Stadtvillen, Reihenhäuser (RH)	0,8	0,3	70	160
W4 (GFZ ≤ 0,4) Kaulsdorf	Einfamilienhäuser (EFH)	0,25	0,15	15	40

Gemeindebedarfsflächen (z.B. für Schulen und Kindertagesstätten) kleiner als 3 ha sind im Flächennutzungsplan für Berlin (Senatsverwaltung Berlin 2005) nicht extra ausgewiesen, sondern finden innerhalb der Bauflächen Platz. Um die Nettogrundfläche für soziale Einrichtungen dennoch für die spätere Simulation angeben zu können, sind Geschoss- und Grundflächenzahl für soziale Einrichtungen auf Grundlage des oben genannten Dokuments geschätzt. Alle eingehenden Größen zu GFZ und GRZ sind in Anhang 3 ersichtlich.

Um die jeweilige Nettogrundfläche, auf welche in der späteren Simulation zurückgegriffen wird, zu erhalten, ist die entsprechende Grundfläche mit dem Faktor 0,87 multipliziert, gemäß einer vereinfachten Annahme für alle Nutzungen in Anlehnung an (VDI 2013).

Des Weiteren sind in dieser Studie zur besseren Übersichtlichkeit kleinteilige Nutzungen zusammengefasst zu Klein- und Großgewerbe und soziale Einrichtungen. Wie sich diese zusammensetzen, ist in Abbildung 7 dargestellt.

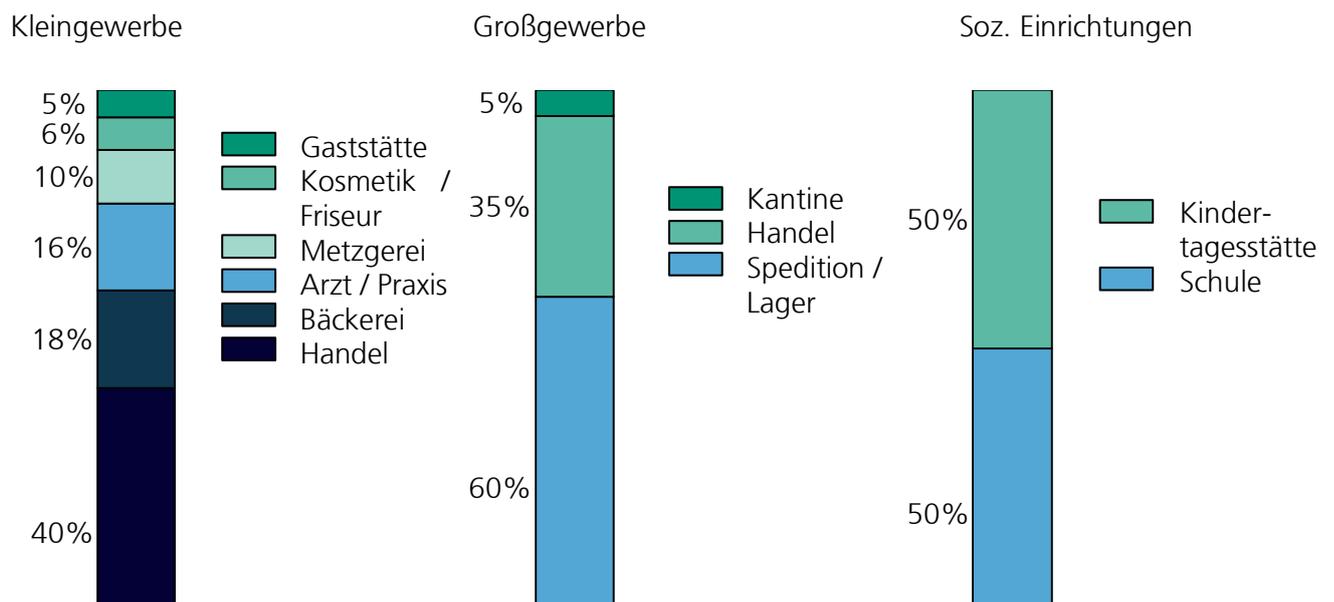


Abbildung 7: Zusammensetzung der Nutzungsprofile Kleingewerbe, Großgewerbe und soz. Einrichtungen

Die Aufteilung für Kleingewerbe leitet sich aus beispielhaften Kennzahlen für die Grundausstattung eines neu geplanten Wohngebiets mit Läden und Dienstleistungseinrichtungen ab (siehe Tabelle 5). Diese Werte beziehen sich auf Wohngebiete Mitte der 1970er Jahre, sind jedoch der Ausprägung in heutigen in Städten vergleichbar (BMVBS 2011; BMVBS und BBSR 2009a).

Tabelle 5: Grundausrüstung eines neu geplanten Wohngebiets mit Läden und Dienstleistungseinrichtungen je 5.000 Einwohner (Borchert 1974)

Einrichtung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anteil [%]
Arzt	500	0,16
Bäckerei	563	0,18
Reinigung	150	0,05
Friseur	200	0,06
Lebensmittel	700	0,22
Fleischerei	300	0,10
Gastwirtschaft	167	0,05
Apotheke, Drogerie, Zeitung, Bank	545	0,17
<b>Gesamt Fläche Grundversorgung</b>	<b>3.125</b>	<b>100</b>

### 2.3. Energiebedarf

In den Gesamtenergiebedarf des Quartiers „im Betrieb“ gehen die Bedarfe für Strom (inkl. Kälte) und der Wärmebedarf für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme ein. „Im Betrieb“ bedeutet hier, dass nur die Lebenszyklusphase Betrieb und der Energieverbrauch dabei (Modul B6 nach DIN EN 15978) Gegenstand der Analyse ist, während graue Energie sowie Errichtung, Transport, Rückbau etc. in dieser Studie vernachlässigt werden (DIN 2012). Des Weiteren ist der Bedarf für Mobilität im Gesamtenergiebedarf des Quartiers nicht berücksichtigt. Es wird lediglich betrachtet, welche Anzahl an Elektrofahrzeugen mit lokalen Stromüberschüssen versorgt werden könnte (siehe Kapitel 4.6).

Das Vorgehen zur Ermittlung des Gesamtenergiebedarfs erfolgt wie nachstehend beschrieben. Es sind verschiedene Vergleichsstandards berücksichtigt, wobei der Fokus auf Neubauten liegt. Da ein Großteil der recherchierten Daten in Endenergie vorliegt, sind die Ergebnisse in dieser Studie einheitlich in Endenergie abgebildet. Gerade bei Energienutzungsplänen hat sich vermehrt die Darstellung der Nutzenergie durchgesetzt (Hausladen et al. 2011). Bei Kenntnis der Anlagentechnik können diese unter Zuhilfenahme passender Wirkungsgradfaktoren umgerechnet werden. Für Wohngebäude sind dafür beispielsweise in (Ornth 2007) Referenzwerte, je nach Anlagenart und -alter, dargestellt.

Es ist zu beachten, dass der tatsächliche Energiebedarf von zahlreichen weiteren Faktoren abhängt, die im Umfang dieser Arbeit nicht vollständig abgebildet und berücksichtigt werden können. Darüber hinaus sind die Bedarfe für Strom, Wärme und Kälte stark nutzerabhängig und können daher variieren.

Folgende Studien (Tabelle 6) wurden für die Analyse recherchiert und die Kennwerte verglichen:

**Tabelle 6: Referenzstudien zur nutzungsspezifischen Strom- und Wärmebedarfsermittlung**

Studie / Richtlinie
VDI 3807 (VDI 2012)
BMVBS Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand (Ornth 2007)
BMVBS Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Wohngebäudebestand (BMVBS 2009a)
Verbrauchskennwerte 2005, ages GmbH (ages 2007)
Studie Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006 (Fraunhofer ISI et al. 2009)
Leitfaden Energienutzungsplanung (Hausladen et al. 2011)
Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden (BMVBS und BBSR 2009a)
Insel-Stromstudie Hamburg-Wilhelmsburg (IBA Hamburg 2013)

### 2.3.1. Strom

Zur Darstellung des Strombedarfs wurden in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung Bedarfswerte ermittelt und mit Hilfe von Standardlastprofilen über den Jahresverlauf bilanziert. Folgendes Kapitel beschreibt das genaue Vorgehen.

#### Jahresbedarf Strom

Die Ermittlung des Strombedarfs erfolgt über Multiplikation der Nettogrundflächen (NGF) mit nutzungsspezifischen Energiebedarfswerten. Zur Festlegung dieser sind neben den gängigen Richtlinien (DIN 2011b; DIN 2011a; DIN 2010; Bundesregierung Deutschland 2009; Bundesregierung Deutschland 2013) verschiedene Studien, welche statistische Bedarfswerte für spezifische Verbraucherklassen behandeln, betrachtet worden (siehe Tabelle 6).

Für Wohnnutzung basieren die Strombedarfe für den „Vergleichsstandard 2007“ auf dem Leitfaden Energienutzungsplan (Hausladen et al. 2011). Ein Großteil der nutzungsspezifischen Strombedarfswerte für Nichtwohngebäude sind der Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Nichtwohngebäudebestand entnommen (BMVBS 2009b), welche auf Verbrauchsdaten von bis zu 5052 Gebäuden basieren. Die darin enthaltenen Vergleichswerte für das Jahr 2007 wurden überwiegend der Auswertung von Verbrauchsdaten öffentlicher Gebäude entnommen, wobei für die Kennwerte für das Jahr 2009 die Auswahl auch auf private Gebäude erweitert und damit die Anzahl der Datensätze vergrößert wurde.

Für die spezifischen Nutzungen des GHD-Sektors Industrie, Handel, Metzgerei und Bäckerei sind Kennwerte aus der Studie „Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ des Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) den Kennwerten der Bekanntmachung der Bundesregierung vorgezogen, da diese auch die für Prozesse benötigte Prozesswärme ausweisen. Der Stromverbrauch von „elektrisch angetriebenen Kältekompressoren in Kühlhäusern, Gefrier- und Kühlräumen, von Kühltheken, Gefrier- und Kühlschränken“ ist in den ausgewiesenen Kennwerten für Strom berücksichtigt (Fraunhofer ISI et al. 2009).

Das Industrieprofil stellt einen Mittelwert für Herstellungsbetriebe für Metall-, Kfz- Holz-, Papier- und Druckgewerbe dar. Dabei sind Betriebe wie Schlossereien und Schweißereien, Maschinenbau und Elektrotechnik, Autowerkstätten, Möbelhersteller und Sägewerke sowie Druckereien, Buchbinder, Licht- und Fotopausereien erfasst (Fraunhofer ISI et al. 2009). Der Industriesektor birgt bei unterschiedlichen Industriesparten sehr heterogene Energieverbräuche, da teilweise Prozesswärme auf sehr hohem Energieniveau genutzt wird, was entsprechend energieintensiv ist. Die Auswahl der Herstellungsbetriebe, welche in der vorliegenden Studie für das Industrieprofil verwendet werden, weist einen durchschnittlichen Energiebedarf auf. Um mit dem Tool auch andere Industriearten abzubilden, müssten im jeweiligen Einzelfall vergleichbare Verbrauchsdaten erhoben werden.

Die ermittelten Strombedarfe für die betrachteten Nutzungen sind in Tabelle 7 aufgelistet und beziehen sich auf Endenergie (Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011; BMVBS 2009a; BMVBS 2009b). Eine detailliertere Darstellung der ermittelten Bedarfswerte einzelner Nutzungen ist Anhang 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Ermittelte Strombedarfe (Endenergie) für verschiedene Nutzungen (nach Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011; BMVBS 2009a; BMVBS 2009b)

Nutzungsprofil	„Vergleichs- standard 2007“	„Vergleichs- standard 2009“	„Vergleichs- standard 2020“	„Vergleichs- standard 2020 (WP)“
	[kWh / m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a]			
Industrie	226	158	119	198
Büro	120	85	64	106
Kleingewerbe	112	78	59	98
Großgewerbe	55	39	29	49
Forschung - Lehre	95	65	49	81
Forschung - Labor	90	65	49	81
Wohnen W1	50	35	18	44
Wohnen W2	50	35	18	44
Wohnen W3	50	35	18	44
Wohnen W4	50	35	18	44
soziale Einrichtungen	20	15	11	19

Für die Simulationen wurden vier unterschiedliche Vergleichsvarianten festgesetzt. Die Ausgangsvariante „Vergleichsstandard 2007“ basiert auf Vergleichswerten für das Jahr 2007, „Vergleichsstandard 2009“ auf Kennwerten aus dem Jahr 2009. Sind für einen der beiden Jahrgänge keine konkreten Kenndaten der Literatur zu entnehmen, wurden diese mit einer Effizienzsteigerung von 2007 zu 2009 um 30 % angenähert (in Anlehnung an BMVBS 2009b). Die Variante „Vergleich 2020“ setzt voraus, dass zukünftig technische Geräte effizienter werden. Für die Wohnnutzung reduziert sich hier der Strombedarfswert um 50 %. Bei den weiteren Nutzungen wird zwar eine Effizienzsteigerung angenommen, jedoch ist zu erwarten, dass eine zunehmende Technologisierung in diesen Nutzungsbereichen Teile der Effizienzsteigerung wieder ausgleicht. Somit ist für die restlichen Nutzungen für die Variante „Vergleichsstandard 2020“ nur eine Reduzierung um 25 % vorgenommen.

Das Szenario „Vergleichsstandard 2020 (WP)“ bildet eine besondere Annahme ab. Gerade in Bezug auf die bevorstehende Energiewende in Deutschland und den damit verbundenen Ausbau erneuerbarer Energien, wird zukünftig der Stromsektor eine Schlüsselposition einnehmen. Strom macht Energie aus erneuerbaren Quellen leicht verfügbar und kann sektorübergreifend eingesetzt werden. Die Rolle von Strom als „Leitenergie“ (Lüking 2012)

wird in zahlreichen Studien prognostiziert. Auf Grund der möglichen klimaneutralen Erzeugung des Energieträgers – regenerativ und CO<sub>2</sub>-frei –, hat Strom einen großen Vorteil gegenüber anderen Energieträgern (Bundesnetzagentur 2011). So bildet der „Vergleich 2020 (WP)“ eine Steigerung des Strombedarfs zum Stand von 2009 um 25 % ab. Berücksichtigt wird sowohl die zunehmende Bedeutung des Energieträgers Strom als auch eine Reihe damit verbundener neuer Geschäftsfelder wie beispielsweise elektrisch betriebene Wärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden (Siemens AG et al. 2011). Deshalb steht der Zusatz (WP) für Wärmepumpe.

Für einige Nutzungen, wie beispielsweise Bürogebäude, ist darüber hinaus anzunehmen, dass trotz des gemäßigten Klimas in Berlin im Zuge steigender Anforderungen an den Nutzerkomfort eine Klimatisierung der Räume verlangt wird. Im Einzelnen sind gemäß der Arbeitsstättenrichtlinie bereits ab Temperaturen über 26 °C am Arbeitsplatz Maßnahmen zu ergreifen. Für Bürogebäude ist bei dem Strombedarf ein Kennwert berücksichtigt, der den Verbrauch für Bürogebäude „temperiert und belüftet“ abbildet (BMVBS 2009b). Für weitere simulierte Nutzungen wie beispielsweise Handelsflächen und Metzgereien sowie Bäckereien ist die benötigte Prozesskälte für Klimaanlage sowie der Bedarf an Klimakälte ebenso im Strombedarf enthalten (siehe Kapitel 2.3.1 und Fraunhofer ISI et al. 2009). Einzig die Nutzung Handel weist nach genannter Quelle einen geringfügigen Energiebedarf über den Strom hinaus für den Gaseinsatz von Absorptionskältemaschinen (Fraunhofer ISI et al. 2009) auf. Da der Anteil mit 0,4 kWh / m<sup>2</sup>a jedoch gering ist und es sich um einen Mittelwert basierend auf Verbrauchsdaten handelt, wird er in dieser Studie vernachlässigt.

Im Allgemeinen kann der Kältebedarf über Maßnahmen wie dem Verzicht auf großflächige Verglasung, Anbringung eines außenliegenden Sonnenschutzes oder einer intensiven Nachtlüftung zur Nachtauskühlung und einer guten Wärmespeicherfähigkeit der Wände und Decken gering gehalten werden. Mit den angesetzten Standards wird eine gute Qualität der Gebäudehülle angenommen. Darüber hinaus hat sich anhand zahlreicher Beispiele gezeigt, inwiefern durch sinnvolle Kühlkonzepte, die die Nutzung von Erdkälte oder solarer Kühlung beinhalten, der Energiebedarf für das Kühlen von Gebäuden reduziert werden kann. Beispielsweise konnte der Energiebedarf zum Kühlen des ZUB Kassels mit Hilfe einer Sohlplattenrückkühlung in Kombination mit thermisch aktivierten Decken im Vergleich zu einem Konzept mit konventionellen Klimaanlage um zwei Drittel vermindert werden (Nothvogel 2002). Vor diesem Hintergrund wird in der Studie darauf verzichtet, den

Kühlbedarf gezielt zu simulieren, da davon ausgegangen ist, dass sich zukünftig energieeffiziente Kühlkonzepte durchsetzen und damit der Energiebedarf für die Kühlung unabhängig von der Lüftung gering ist.

### **Jahresverlauf Strom**

Der Jahresverlauf von Strom wurde auf Grundlage standardisierter Profile, sogenannter Standardlastprofile (SLP), simuliert. Dabei handelt es sich um synthetische Profile, die aus gemessenen Lastgängen gewonnen wurden (Lübke et al. 2007; BDEW 2014) und die das kollektive Verhalten für unterschiedliche Verbrauchergruppen beschreiben (IBA Hamburg 2013). Verbrauchergruppen, bei denen ein ähnliches Abnahmeverhalten zu erwarten ist, sind zu einem Profil zusammengefasst. Mit der Hilfe von Standardlastprofilen prognostizieren Energieversorger den zukünftigen Energieverbrauch in dem jeweiligen Gebiet. Im Allgemeinen sind die Profile auf einen jährlichen Verbrauch von 1000 kWh normiert und auf den tatsächlichen Energieverbrauch zu beziehen. Die Profile liegen im Viertelstundentakt vor (BDEW 2014). Da die vorliegenden Wetterdaten für den Standort jedoch nur als Stundenmittelwerte vorliegen, sind die Lastverläufe für Strom analog zu stündlichen Werten aufsummiert. Dabei bezieht sich der stündliche Wert jeweils auf die vorherige Stunde, beispielsweise berücksichtigt der Strombedarfswert um 13:00 Uhr den Bedarf von 12:00 Uhr bis 13:00 Uhr.

Für die vorliegende Studie werden die Profile H0 und G0, G1, G2 und G4 und G5 des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) aus dem Jahre 2011 für Deutschland verwendet. Dabei berücksichtigt die Festlegung auf das Jahr lediglich die Unterscheidung in Wochentage und Wochenende sowie Feiertage. Die für Berlin vom Netzbetreiber Stromnetz Berlin veröffentlichten Profile BH0 und BG0 wurden verglichen und weisen bei entsprechender Skalierung und Berücksichtigung der Feiertage denselben Verlauf auf (Stromnetz Berlin 2014). In Tabelle 8 sind die verwendeten Profile aufgelistet. Die in grau gelisteten Gewerbepprofile G3 und G6 finden in vorliegender Studie keine Verwendung. Die Typen der Standardlastprofile sind den vorkommenden Nutzungen zugeordnet.

**Tabelle 8: Übersicht der Standardlastprofile (BDEW 2014) und der Zuordnung der vorkommenden Nutzungen**

Profiltyp	Beschreibung	Erläuterung	Zugeordnete Nutzung
G0	Gewerbe allgemein	Gewogener Mittelwert der Profile G1-G6	Großgewerbe (Lagerhäuser und Speditionen)
G1	Gewerbe werktags 8-18 Uhr	z.B. Büros, Arztpraxen, Werkstätten, Verwaltungseinrichtungen	Büro, Industrie, Forschung – Lehre, Forschung – Labor, soziale Einrichtungen (Schule und Kita), Arzt, Kantine
G2	Gewerbe mit starkem bis überwiegendem Verbrauch in den Abendstunden	z.B. Sportvereine, Fitnessstudios, Abendgaststätten	Gaststätte
G3	Gewerbe durchlaufend	z.B. Kühlhäuser, Pumpen, Kläranlagen	
G4	Laden / Friseur	Läden aller Art (Friseur, usw.)	Wäscherei, Kosmetik / Friseur, Metzgerei, Handel allgemein
G5	Bäckerei mit Backstube		Bäckerei
G6	Wochenendbetrieb	z.B. Kinos	
H0	Haushalt		Wohnen W1, Wohnen W2, Wohnen W3, Wohnen W4

Die in verwendeten Standardlastprofile sind in Abbildung 8 beispielhaft für Mittwoch, den 30.03.2011 abgebildet. Die Kurven geben für einen Tag (24 Stunden) den Stromlastverlauf für die jeweilige Nutzungen wieder. Die nutzungsspezifischen Stromkennwerte sind hier für den „Vergleichsstandard 2007“ gewählt.

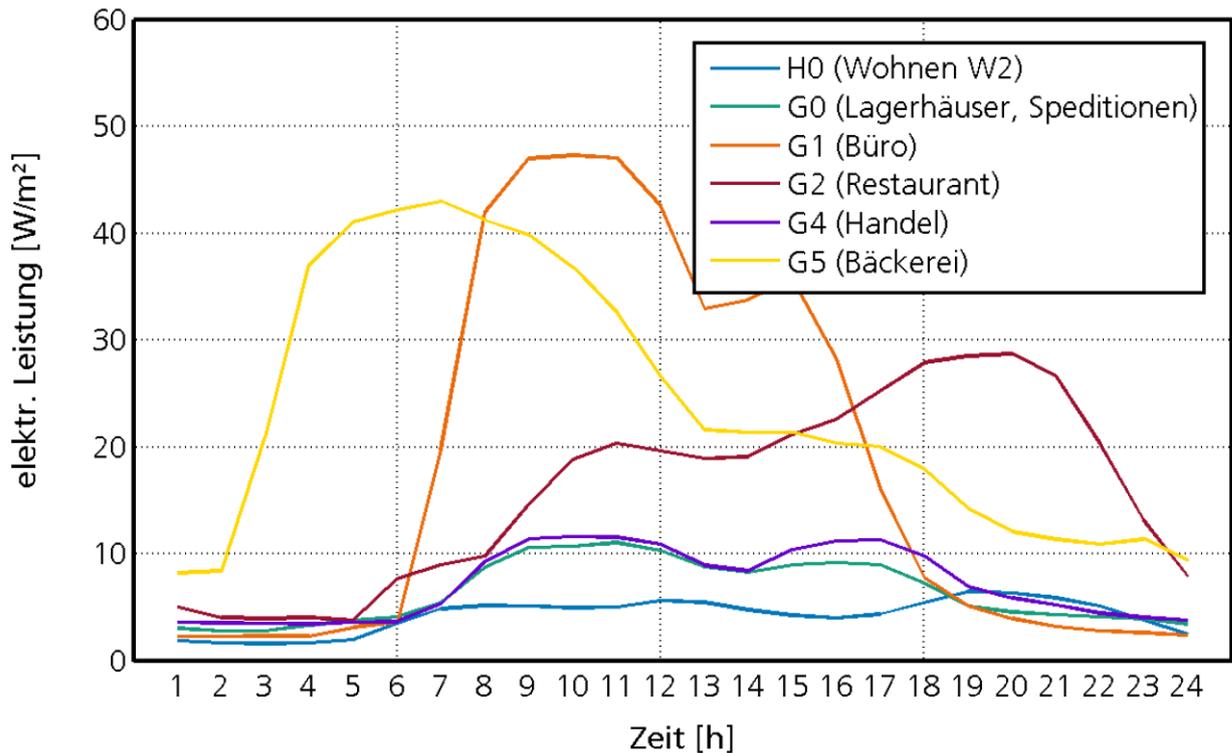


Abbildung 8: exemplarische Standardlastprofile im Tagesverlauf am 30.03.2011 bezogen auf die ermittelten Energiebedarfe nach „Vergleichsstandard 2007“ der angegebenen Nutzungen

Bei dem Haushaltsprofil (H0) sind drei lokale Lastspitzen morgens, mittags und abends zu erkennen. Vor allem in den Abendstunden steigt der Strombedarf der Haushalte stark an. Das Profil G0 stellt den Mittelwert der Gewerbepprofile G1 bis G6 dar. Wenn keine eindeutige Nutzungszuordnung möglich ist, wird dieses Profil verwendet. Vor allem tagsüber, insbesondere vormittags, ist der Strombedarf bei diesem Profil sehr hoch. Das Profil G1 beschreibt Gewerbe, welches tagsüber von 08.00 bis 18.00 Uhr aktiv ist. Darin zeichnet sich ein deutliches Hochplateau zwischen 08.00 und 12.00 Uhr ab, bei noch relativ hohem Verbrauch nachmittags fällt die Kennlinie bis 18.00 ab. Diesem Profil sind neben der klassischen Büronutzung auch Nutzungen wie Schulen zugordnet (siehe Tabelle 8).

Das Profil G2 dagegen bildet Nutzungen ab, welche den größten Verbrauch in den Abendstunden aufweisen. Dementsprechend ist ein eindeutiges Maximum des Verbrauchs in den Abendstunden ersichtlich. Dennoch ist auch in den Mittagsstunden ein lokales Maximum zu verzeichnen. Bei dem Profil G4 lassen sich zwei ähnliche Lastspitzen vormittags und nachmittags erkennen. Zur Mittagszeit gibt es einen deutlichen Einbruch im Stromverbrauch. Das Profil G5 bildet speziell die Nutzung als Bäckerei mit Backstube ab. Charakteristisch ist ein

breites Hoch in den Morgenstunden von 4.00 Uhr bis ca. 11.00 Uhr, welches auf die Backaktivitäten in der Backstube zurückzuführen ist.

Die aufgeführten Profile bilden statistische, standardisierte Nutzungsprofile, geografische Ungleichheiten wie Temperaturunterschiede sowie unterschiedliche Sonnenauf- und Untergangszeiten sowie regionale Gegebenheiten können zu vertikalen und horizontalen Abweichungen führen. Ein weiterer Faktor ergibt sich aus der unterschiedlichen Alters- und sozialen Struktur der Bevölkerung in der Region (Lübke et al. 2007). Es ist somit anzunehmen, dass die realen Verbrauchskurven in Großstädten wie Berlin geringfügige Abweichungen aufweisen. Beispielsweise wurde in einer Untersuchung der Universität Rostock und des Stromversorgers Greifswald GmbH für die Stadt Greifswald das Standardlastprofil H0 des BDEW mit einem lokalen synthetischen Profil auf Basis gemessener Lastgangverläufe verglichen und eine mittlere Abweichung von 15 % festgestellt (Lübke et al. 2007). Eine Studie der Universität Stuttgart beschreibt, wie mit Hilfe der Aufzeichnungen von Smart-Metern, welche zukünftig immer breiter Anwendung finden werden, regionspezifische Lastprofile auf Grundlage der Messdaten erstellt werden können (Baranek et al. 2013).

Darüber hinaus bleibt zu erwähnen, dass sich der Strommarkt zukünftig verändern wird. Heute bestimmt der Strombedarf die Stromproduktion, das Angebot wird also der Nachfrage nachgeführt. Werden in Zukunft vermehrt regenerative Energiequellen zur Produktion von Strom eingesetzt, wodurch der Strompreis variiert, wird sich diese Situation verändern. Vor allem für sehr energieintensive Betriebe aber auch für herkömmliche Haushalte ist davon auszugehen, dass dann der Bedarf verstärkt dem Angebot folgen wird (Siemens AG et al. 2011). Aufwändige Produktionstechniken und energieintensive Anwendungen werden beispielsweise in die Mittagsstunden verlegt werden, um den dann günstigen Photovoltaik-Strom nutzen zu können. So kann eine Betrachtung der Stromnachfrage in der Zukunft, beispielsweise im Jahr 2020, mit Standardlastprofilen aus 2011 also nur eine Annäherung darstellen. Insbesondere wenn in Zukunft der Wärmebedarf vermehrt über Strom gedeckt wird, werden sich die Lastprofile verändern.

### 2.3.2. Raumwärme (RW)

Auch zur Darstellung des Bedarfs Raumwärme wurden auf Grundlage der recherchierten Studien (Tabelle 6) in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung Bedarfswerte herangezogen und mit Hilfe der Gradstundenzahlen und Nutzungszeiten über den Jahresverlauf bilanziert. Im Folgenden wird das Vorgehen näher erläutert.

#### Jahresbedarf Raumwärme

Für die Analyse sind vier verschiedene Vergleichsstandards bezüglich des Wärmebedarfs für Raumwärme berücksichtigt und damit steigende Energieeffizienz und Gebäudequalität aufgrund von strengeren Richtlinien kalkuliert. Es wurde angenommen, dass alle Gebäude in dem Planungsgebiet je nach gewähltem Vergleichsstandard entsprechend ausgeführt sind. Neubauten sind entsprechend des Standards zu planen, Bestandsgebäude angemessen zu sanieren. Die gewählten Standards für die bereits in Kapitel 2.3.1 vorgestellten Nutzungsprofile weisen die in Tabelle 9 dargestellten Bedarfswerte auf und beziehen sich auf Endenergie (Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011; BMVBS 2009a; BMVBS 2009b):

**Tabelle 9: Ermittelte Wärmebedarfe Raumwärme (Endenergie) für unterschiedliche Nutzungen (nach Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011; BMVBS 2009a; BMVBS 2009b)**

Nutzungsprofil	„Vergleichs- standard 2007“	„Vergleichs- standard 2009“	„Vergleichs- standard 2016“	„Vergleichs- standard 2020“
	[kWh / m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a]			
Industrie	56	39	29	20
Büro	151	104	78	52
Kleingewerbe	127	89	67	45
Großgewerbe	58	40	30	20
Forschung - Lehre	150	105	79	53
Forschung - Labor	182	130	98	65
Wohnen W1	73	51	38	26
Wohnen W2	73	51	38	26
Wohnen W3	80	56	42	28
Wohnen W4	80	56	42	28
soziale Einrichtungen	151	105	79	52

Ein Großteil der Bedarfswerte Raumwärme für den „Vergleichsstandard 2007“ basiert auf

Mittelwerten nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 (nach BMVBS 2009b und BMVBS und BBSR 2009a), analog die Bedarfswerte für den „Vergleichsstandard 2009“ (Vergleichswerte nach EnEV 2009). Für die Wohnnutzung sind die Werte entsprechend der Vergleichsskala nach EnEV 2014 abgeschätzt (Bundesregierung Deutschland 2013). Für die Nutzung Industrie, Handel, Back- und Metzgereigewerbe basieren die Werte auf der in Kapitel 2.3.1 genannten Studie des Fraunhofer Instituts (Fraunhofer ISI et al. 2009). Energie für Kraft und Prozesswärme sind vom Bedarf Raumwärme ausgenommen und in Kapitel 2.3.4 behandelt. Wie bei Strom beträgt auch hier der Unterschied von 2007 zu 2009, soweit keine Kenndaten zu beiden Jahren verfügbar waren, -30 %.

Für den „Vergleichsstandard 2016“ ist, wie in der EnEV 2014 für die primärenergetischen Anforderungen an Wohn- und Nichtwohngebäude festgehalten, eine Unterschreitung des Energiebedarfs nach EnEV 2009 um 25 % angesetzt (Dena 2013). Für das Jahr 2020 setzt die EU für alle Mitgliederstaaten für Neubauten nahezu Null-Energie-Gebäude entsprechend den Primärenergieverbrauch für Heizen, Lüften, Kühlen und Warmwasser voraus (European Parliament 2010). Weiter wird in der Richtlinie der Europäischen Union beschrieben, dass die Gebäude zu einem signifikanten Anteil von erneuerbaren Energien, produziert am Gebäude selbst oder in der näheren Umgebung, zu versorgen sind. Dementsprechend setzt der „Vergleichsstandard 2020“ eine Reduzierung des Energiebedarfs um 50 % zu dem „Vergleichsstandard 2009“ an. Mit der ebenfalls in dieser Studie simulierten Energie aus Photovoltaik (PV) und Wind ist anzunehmen, dass ein großer Anteil des Bedarfs mit dieser gedeckt werden kann (siehe Ergebnisse Kapitel 4.5).

Des Weiteren sind die Bedarfswerte teilweise entsprechend der Aufteilung nach (Hausladen et al. 2011) und eigenen Annahmen angepasst und demnach der Wärmebedarf für Raumwärme, Warmwasser sowie Prozesswärme entsprechend aufgeteilt. Ein Vergleich mit den Anwendungsbilanzen nach (Fraunhofer ISI et al. 2009) bestätigt dieses Vorgehen. Eine Rückrechnung etwaiger Klimabereinigung der Verbrauchsdaten ist nicht vorgenommen.

### **Jahresverlauf Raumwärme**

Der Verlauf des Wärmebedarfs zur Raumheizung wird in dieser Studie über Gradstundenzahlen angenähert. Gradstundenzahlen sind eine Abwandlung von Gradtagszahlen, die den Heizungsverbrauch im jeweiligen Kalenderjahr widerspiegeln, indem der Zusammenhang zwischen Innen- und Außentemperaturen für Heiztage dargestellt

wird. Die Gradtagszahl nach VDI 3807-1 (VDI 2013) in der Einheit [Kd] wird über die Innentemperatur von 20°C minus dem Tagesmittel der Außentemperatur, wenn diese kleiner als 15°C ist, berechnet (siehe Formel 1).

#### Formel 1: Gradtagszahl (nach VDI 2013)

$$G_{20/15} = (20\text{ °C} - t_m) \cdot 1\text{ d für } t_m < 15\text{ °C}$$

Bei Gradtagszahlen ist dieser Zusammenhang auf die Tagesdurchschnittstemperatur der Außenluft bezogen, bei Gradstundenzahlen jeweils auf das stündliche Mittel der Außenlufttemperatur. Für den Standort Berlin Tegel sind im Zuge dieser Arbeit die Gradstundenzahlen über das Jahr auf Grundlage der Wetterdaten für Berlin Tegel in Anlehnung an die Berechnung der Gradtagszahlen nach Formel 1, VDI 3807-1, berechnet (VDI 2013). Die Heizgradtemperatur wurde mit 12 °C berücksichtigt, was eine sinnvolle Annahme für Neubauten und sanierte Altbauten ist. Für die Innentemperatur wurden einheitlich 20 °C angenommen (IWU 2014). Als Heizperiode sind die Monate Oktober bis Mai angesehen. In den Monaten Juni bis einschließlich September ist kein Heizwärmebedarf angesetzt. Die Monate April, Mai und Oktober stellen Übergangsmonate mit mäßigem Heizwärmebedarf dar, während die Monate November und Dezember sowie Januar bis März nahezu durchgängig Heizwärmebedarf aufweisen.

Um einen schlüssigen Verlauf des Bedarfs Raumwärme zu erhalten, sind darüber hinaus für unterschiedliche Nutzungen die spezifischen Nutzungszeiten (Betriebszeit der Heizung) nach DIN 18599 (siehe Anhang 4) sowie die Ferien- und Feiertage im Bundesland Berlin mit den Gradstundenzahlen verknüpft. Während der Heizperiode ist außerhalb der Betriebszeit der Heizung eine entsprechende reduzierte Heizleistung berücksichtigt, indem in diesen Zeitabschnitten die angesetzte Solltemperatur im Innenraum auf 16° C reduziert ist (entsprechend berechnet sich in dieser Zeit die Gradstundenzahl). Mit Ausnahme der Nutzung Wohnen wird diese für die sonstigen Nutzungen auch an Sonn- und Feiertagen sowie bei Schulen und Kindertagesstätten zu Ferienzeiten angesetzt. An Samstagen ist nur für die Nutzungen Gaststätte und Handel ein Betrieb mit einer Solltemperatur von 20 °C angesetzt.

Abbildung 9 zeigt beispielhaft den Jahresverlauf Raumwärme für Wohnen. Die reinen Jahresverläufe für die Gradstundenzahlen  $G_{20/12}$  und  $G_{16/12}$  sind in Anhang 5 ersichtlich.

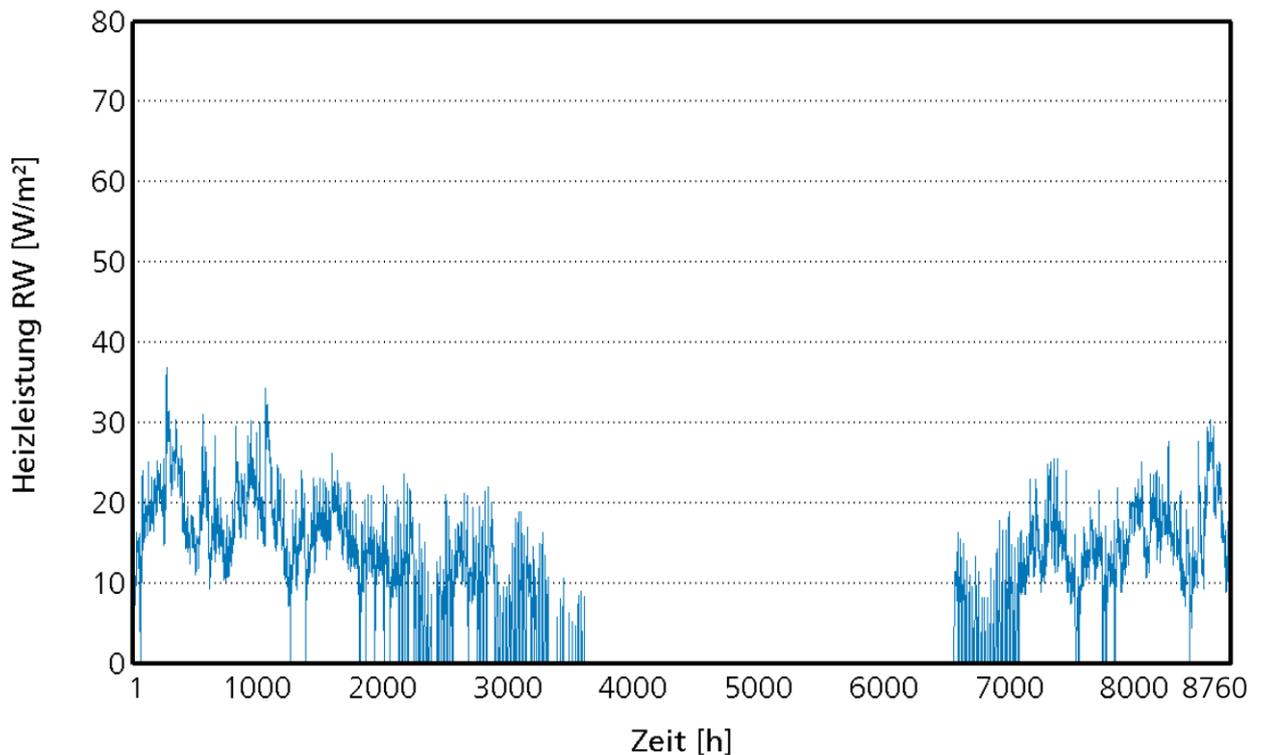


Abbildung 9: Jahresverlauf Raumwärme exemplarisch dargestellt für Wohnen (W2, bezogen auf den nutzungsspezifischen Energiebedarf nach „Vergleichsstandard 2007“)

Weiterhin ist anzumerken, dass die hier gewählte Variante zur Ermittlung des Verlaufs des Bedarfs Raumwärme eine Näherung darstellt. In der Praxis ist zu erwarten, dass der Bedarf nicht direkt dem stündlich veränderten Temperaturverlauf folgt, sondern vielmehr Nutzerverhalten und Gebäudecharakteristika weitere wichtige Rollen einnehmen. Faktoren wie die thermische Speicherkapazität der Gebäude, die Belegung und damit verbundene interne Lasten, Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sowie insbesondere solare Gewinne beeinflussen den Raumwärmebedarf zusätzlich. In der Berechnung können diese Faktoren jedoch nicht berücksichtigt werden, da die hierfür notwendigen konkreteren Gebäudeangaben zum Zeitpunkt der frühen Planungsphase noch nicht vorliegen.

### 2.3.3. Warmwasser (WW)

Der Wärmebedarf für Warmwasser ist getrennt von dem Wärmebedarf für Raumwärme betrachtet, da dieser im Jahresverlauf unabhängig von der Außentemperatur ist.

#### Jahreswärmebedarf für Warmwasser

Für Wohngebäude ist der Bedarf für Warmwasser entsprechend der Nutzungsrandprofile nach DIN 18599 angesetzt. Dieser beträgt für Mehrfamilienhäuser  $15 \text{ kWh} / \text{m}^2\text{a}$  und für

Einfamilienhäuser 11 kWh / m<sup>2</sup>a (DIN 2011a) und ist als Nutzwärmebedarf ausgewiesen. Für Nichtwohngebäude wie Büro, Forschung Labor und Friseur / Kosmetik ist der Bedarf nach Richtwerten der DIN V 18599 (DIN 2011a) ermittelt. Auch dieser ist als Nutzenergiebedarf ausgewiesen und die Ermittlung basiert auf weiteren Abschätzungen (siehe Tabelle 10):

**Tabelle 10: Getroffene Annahmen für Bezugsparameter zu Ermittlung des Wärmebedarfs für Trinkwarmwasser**

Nutzung	Getroffene Annahme
Büro	65 % der Nutzfläche entspricht Bürofläche (Erfahrungswert aus vergangenen Projekten, Sonstiges: Verkehrsfläche, Technikfläche, Besprechungs- und Konferenzräume etc.)
Forschung Labor	50 % der Fläche „Institutsgebäude für Forschung und Untersuchung“ entspricht Laborräumen (Sonstiges: Verkehrsfläche, Lehrräume, Büros Technik und Lagerräume, Umkleiden etc.)
Friseur / Kosmetik	Bezugsgröße nach DIN18599 nicht anwendbar, Annahme: 50% des Wärmebedarfswerts für Heizung und Warmwasser bezieht sich nach (BMVBS 2009a) auf Warmwasser

Für die Nutzungen Gaststätte, Kantine, Backgewerbe, Metzgerei, Wäscherei und Schule ist die Aufteilung des Bedarfs in Raumheizung, Warmwasser und Prozesswärme nach (Hausladen et al. 2011) angewendet. Um Mischergebnisse aus Nutz- und Endenergie zu vermeiden, sind die als Nutzenergie ausgewiesenen Werte in Endenergie umgerechnet. Als pauschaler Faktor wird überschlägig mit einem Umrechnungsfaktor von 0,8 gerechnet (Hausladen et al. 2011). Die ermittelten Bedarfe sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Ermittelte Wärmebedarfe für Trinkwarmwasser (Endenergie) für unterschiedliche Nutzungen (nach DIN 2011a; Fraunhofer ISI et al. 2009; BMVBS 2009a; Hausladen et al. 2011)

Nutzungsprofil	„Vergleichs- standard 2007“	„Vergleichs- standard 2009“	„Vergleichs- standard 2016“	„Vergleichs- standard 2020“
	[kWh / m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]			
Industrie	0	0	0	0
Büro	9	6	5	3
Kleingewerbe	38	26	20	13
Großgewerbe	1	1	1	0
Forschung - Lehre	0	0	0	0
Forschung - Labor	8	5	4	2
Wohnen W1	27	19	14	9
Wohnen W2	27	19	14	9
Wohnen W3	20	14	10	7
Wohnen W4	20	14	10	7
soziale Einrichtungen	4	3	2	1

### Jahresverlauf Warmwasser

Der Wärmebedarf für Warmwasser ist im Jahresverlauf nahezu unabhängig von den Außentemperaturen und somit von dem Verlauf der Raumheizung zu trennen. Eine Studie der Universität Marburg hat sich damit beschäftigt, mit statischen Mitteln Verbrauchsprofile für Trinkwarmwasser für Wohngebäude zu generieren (Jordan et al. 2001). Es zeigt sich ein Zapfprofil für Einfamilienhäuser sowie Mehrfamilienhäuser mit erhöhtem Verbrauch an Wochenenden und in den Wintermonaten.

Über die Studie der Universität Marburg und Tageszapfprofile für Trinkwarmwasser für Wohngebäude sowie Studentenwohnheime, Seniorenheime, Krankenhäuser, Hallenbäder und Campingplätze nach VDI 6002 (VDI 2014a; VDI 2014b, greift auf Jordan et al. 2001 zurück) haben sich keine jährlichen Profile für unterschiedliche Nutzungen in der Breite durchgesetzt. Der Wärmebedarf für Warmwasser über die genannten Nutzungen hinaus ist somit nur über ganzjährige Messwerte abzubilden. Die Aufstellung repräsentativer Lastprofile auf der Grundlage von Messwerten stellt ein weiteres interessantes Forschungsthema dar.

Um den Bedarf für Warmwasser im Jahresverlauf für diese Studie dennoch abschätzend für alle Nutzungen abzubilden, ist dieser als linearer Verlauf an den Nutzungszeiten nach DIN

18599 orientiert. Für Wohnen ist ein im Jahresverlauf konstanter Warmwasserbedarf angerechnet. Für die sonstigen Nutzungen ist an Sonn- und Feiertagen sowie bei Schulen und Kitas auch zu Ferienzeiten kein Bedarf für Warmwasser angesetzt. An Samstagen ist nur für Gaststätten Warmwasserbedarf berücksichtigt.

Ähnlich dem Jahresverlauf für Raumwärme ergibt sich somit ein Lastprofil mit jeweils einem Faktor, der den entsprechend stündlichen Anteil (in %) in Bezug auf den Jahresbedarf angibt. Die Nutzungszeiten sind in Anhang 6 ersichtlich.

Der Tagesverlauf für unterschiedliche Nutzungen ist exemplarisch für einen Wochentag in folgender Abbildung dargestellt.

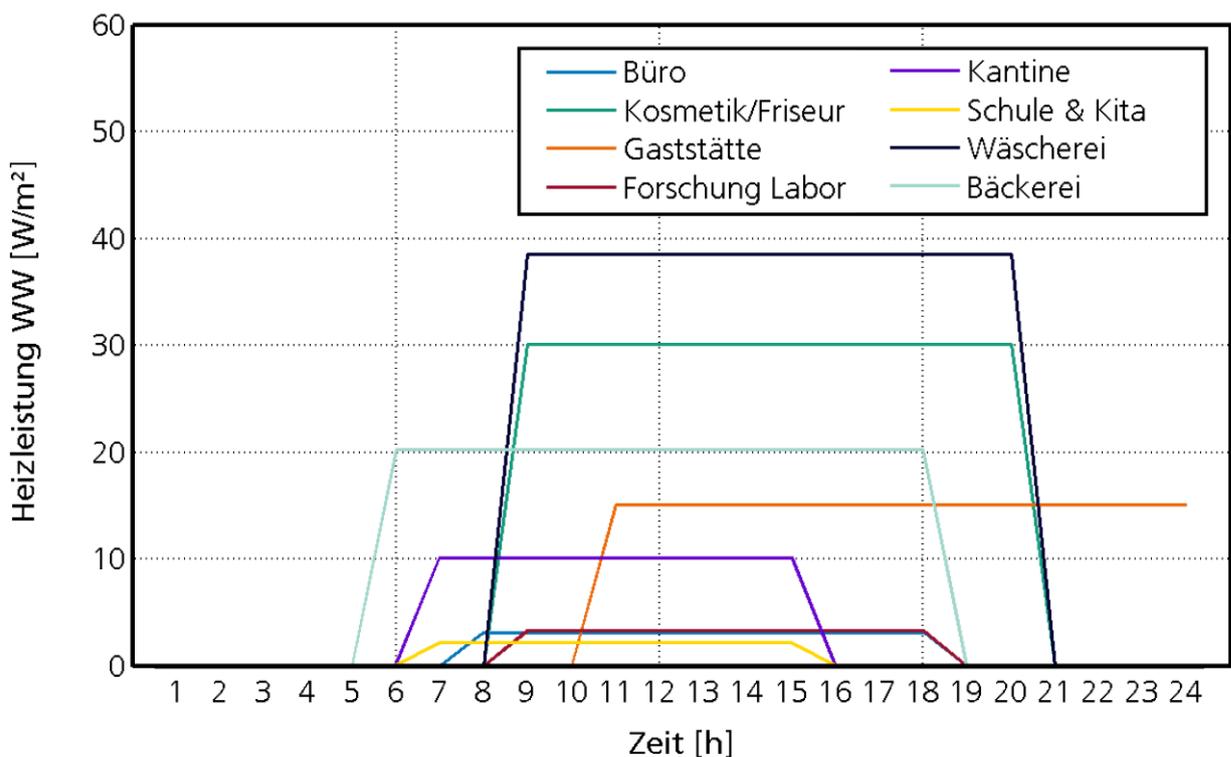


Abbildung 10: Tagesverlauf Warmwasser dargestellt für Mittwoch den 30.03.2011 für beispielhafte Nutzungen (bezogen auf die nutzungsspezifischen Energiebedarfe nach „Vergleichsstandard 2007“)

### 2.3.4. Prozesswärme (PW)

Einige Nutzungen wie Bäckereien und Wäschereien sowie weitere Handels- und Herstellungsbetriebe weisen einen Prozesswärmebedarf auf. Dieser wird getrennt vom Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser behandelt und verteilt sich im Jahresverlauf

unabhängig von den Außentemperaturen. Im Folgenden ist das Vorgehen zur Abbildung des Bedarfs an Prozesswärme beschrieben.

### Jahresbedarf Prozesswärme

Folgende Nutzungen weisen den angegebenen Bedarf an Prozesswärme bezogen auf ein Jahr auf:

**Tabelle 12: Ermittelter Prozesswärmebedarf unterschiedlicher Nutzungen (nach Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011)**

Nutzungsprofil	„Vergleichs- standard 2007“	„Vergleichs- standard 2009“	„Vergleichs- standard 2016“	„Vergleichs- standard 2020“
	[kWh / m <sup>2</sup> <sub>NGfA</sub> ]			
Industrie	17	12	9	6
Kleingewerbe	47	33	24	16
Großgewerbe	2	1	1	1

Die angegebenen Prozesswärmebedarfe beinhalten teilweise den Energieeinsatz für die Deckung von prozesstechnischen Vorgängen wie beispielsweise Wasch- und Reinigungsverfahren, Kochen und Garen, Sterilisieren, Brennen und Schweißen etc. (Fraunhofer ISI et al. 2009) und basieren auf der Aufteilung des Wärmebedarfs in Raumheizung, Warmwasser und Prozesswärme nach (Hausladen et al. 2011). Die Vergleichsvarianten basieren auf denselben Annahmen wie bereits für Strom, Raumwärme und Warmwasser beschrieben.

### Jahresverlauf Prozesswärme

Für die Prozesswärme ist ähnlich dem Bedarf für Warmwasser anzunehmen, dass der Bezug während der Nutzungszeiten stattfindet. Vergleichbar mit der Ermittlung des Verlaufs für Trinkwarmwasser ist daher in dieser Studie der Verlauf der Prozesswärme auf Grundlage der Nutzungszeiten nach DIN 18599 dargestellt (siehe Anhang 6). Basierend auf den Nutzungszeiten wurde wie bei dem Verlauf für Trinkwarmwasser jeweils ein Faktor gebildet, der den entsprechenden stündlichen Anteil in Bezug auf den Jahresbedarf angibt.

Der Verlauf ist für einen Wochentag für die Nutzungen Handel, Wäscherei, Industrie und Bäckerei in Abbildung 11 dargestellt. Für Handel, Wäscherei und Bäckerei ist jeweils zu den

Nutzungszeiten von Montag bis Samstag ein Bedarf kalkuliert, für Industrie Montag bis Freitag.

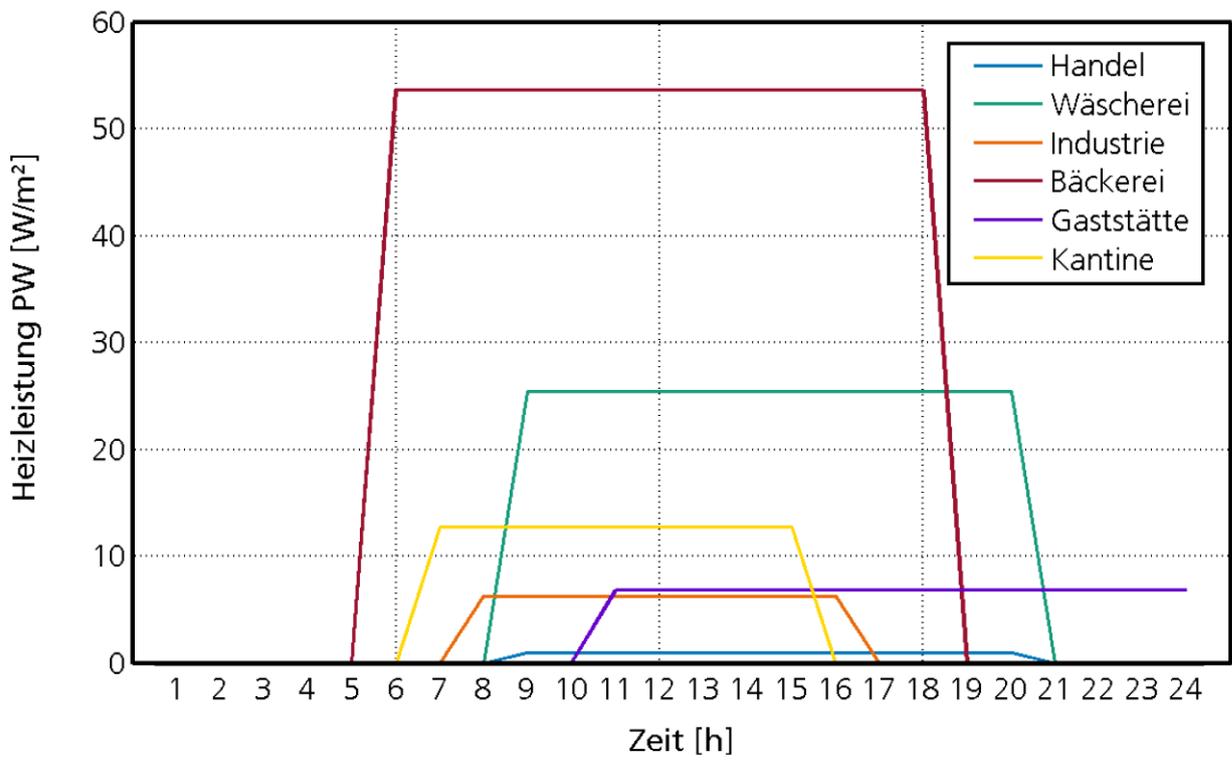


Abbildung 11: Tagesverlauf Prozesswärme dargestellt für Mittwoch den 30.03.2011 für beispielhafte Nutzungen (bezogen auf die nutzungsspezifischen Energiebedarfe nach „Vergleichsstandard 2007“)

## 2.4. Stromertrag

Weiterer Bestandteil dieser Studie ist die Abschätzung des Ertrags für erneuerbare Energien am Standort. Das Spektrum der Erzeuger von Energie aus erneuerbaren Energien ist groß. Im Rahmen dieser Arbeit wird nur auf die dezentrale Stromerzeugung eingegangen. Die Wärmeerzeugung wie beispielsweise über das Erdreich, Grundwasser oder die Sonne ist abgesehen vom „Vergleichsstandard 2020 (WP)“ für Strom nicht betrachtet.

### 2.4.1. Photovoltaik

Die Nutzung von Solarenergie über Photovoltaikanlagen ist eine weit verbreitete Art der erneuerbaren Energieerzeugung. Aufgrund der in der Vergangenheit stark gefallen Modulpreise und des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) sind Photovoltaikanlagen heutzutage vielerorts wirtschaftlich. Sie können in verschiedenen Varianten angebracht werden wie beispielsweise:

- auf Dachflächen
- an Fassadenflächen
- als Überdachung von Parkflächen
- an Bushaltestellen, Parkbänken, Infostationen etc. als Stadtmöbel
- als Lärmschutzwände oder Überdachung von Straßen etc..

In dieser Studie ist die Anwendung von Photovoltaik auf Module auf Dachflächen beschränkt. Als Ausgangsvariante ist angesetzt, dass 50 % der Dachflächen, die abhängig vom jeweiligen Szenario sind, mit Photovoltaikanlagen bestückt werden. Der Aufständigungswinkel kann beliebig festgelegt werden. In der vorliegenden Arbeit sind die Ergebnisse für 5° (Annäherung für Flachdächer ohne Aufständigung) und 30° Neigung gen Süden dargestellt. Eine Verschattung der Module ist aufgrund der relativ gering angesetzten Flächenannahme (50 % der Dachflächen) vernachlässigt.

Für die Berechnung des Photovoltaikertrags sind die Wetterdaten für Berlin Tempelhof zu Grunde gelegt. Als Zellmaterial ist monochristallines Silizium und ein Gesamtwirkungsgrad von 0,15 angenommen (siehe auch Simulationssoftware EnergyPlus, EERE 2013). Der stündliche Ertrag ist in Abhängigkeit der Ortszeit und dem Sonnenstand nach DIN 1985 (DIN 1985) und (Huith et al. 2013) berechnet. Für die Umgebung ist ein Albedo-Wert von 0,3, charakteristisch für einen Untergrund aus Beton, angenommen (Huith et al. 2013). Die in der Berechnung berücksichtigten Parameter sind in Tabelle 13 ersichtlich.

**Tabelle 13: In die Berechnung des Photovoltaik-Ertrags eingehende Parameter**

Breiten	Längen	Modulwirkungs	Neigungswinkel	Ausrichtung zum	Albedo-Wert
-grad	-grad	-grad $\eta$	der Fläche	Sonnenazimut	der Umgebung
[°]	[°]	[-]	[°]	[°]	[-]
52,58	13,28	0,15	5 bzw. 30	0	0,3

## 2.4.2. Wind

Eine weitere Möglichkeit, Energie aus erneuerbaren Energien am Standort zu gewinnen, stellt die Windkraft dar. Man unterscheidet zwei Arten von Windkraftanlagen: Großwindkraftanlagen und Kleinwindkraftanlagen.

Kleinwindkraftanlagen erfahren aktuell immer mehr Verbreitung und werden in der Regel exponiert aufgestellt, beispielsweise auf den Dächern hoher Gebäude. Bei Großwindkraftanlagen ist ein angemessener Abstand zu Siedlungsgebieten einzuhalten. Im Bundesland Berlin betragen die empfohlenen Mindestabstände solcher Windkraftanlagen zu Industriegebäuden 250 m, zu Wohngebäuden mindestens 1000 m (Reichardt 2012). Mögliche negative Beeinflussungen der Umgebung können Windgeräusche, Infraschall oder Schattenwurf sein (BMJV 2013). Beispiele aus der Praxis (z.B. Berlin Pankow und Hamburg Georgswerder) zeigen jedoch, dass die Bereitschaft, diese Beeinflussungen in Kauf zu nehmen, durchaus vorhanden ist.

In vorliegender Studie wird das Windpotential im Jahrgang anhand einer Großwindkraftanlage betrachtet. Auf eine Ermittlung der Erträge mittels Kleinwindkraftanlagen wird verzichtet, da vor allem die noch unklaren Gebäudehöhen, welche die Höhe der Kleinwindkraftanlagen mitbestimmen, zu großen Spielraum hinsichtlich der Erträge zulassen. Mit Hilfe einer Großwindkraftanlage könnte am Standort Berlin Tegel Energie aus Wind gewonnen werden. Beispiele für solche Anlagen in innerstädtischen Lagen sind die Anlage in Hamburg Georgswerder und die Anlage in Berlin Pankow. In Hamburg liefert auf dem Energieberg Georgswerder das im Zuge der IBA errichtete Windrad mit einer Leistung von ca. 3 MW im Jahr bis zu 9 GWh (IBA Hamburg 2010). In Berlin Pankow ist am Arkenberger Damm eine 2 MW Anlage mit 180 m Höhe und einem Rotordurchmesser von 81 m installiert (Vach et al. 2008), welche im Jahr ca. 4 GWh Strom liefert. Im nordwestlichen Teil des Planungsgebietes Tegel, in den Ausläufern zur Tegeler Heide, wäre die Aufstellung einer Großwindkraft theoretisch möglich. Für die vorliegende Arbeit wird ein horizontalachsiger Schnellläufer mit 3 Rotorblättern simuliert.

In Anlehnung an die Anlage in Pankow sind für die Anlage in Tegel die in Tabelle 14 ersichtlichen Charakteristika angenommen.

**Tabelle 14: Eigenschaften der Großwindkraftanlage**

Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Wirkungsgrad $\eta$	Leistungsbeiwert $c_p$
[m]	[m]	[-]	[-]
120	80	0,75	0,35

Der Gesamtwirkungsgrad einer Windkraftanlage hängt vom Wirkungsgrad  $\eta$  sowie dem

Leistungsbeiwert  $c_p$ , ab, welcher in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit stark variiert (Jarass et al. 2009). Nach Pompe sind genauere Berechnungen der resultierenden Leistungsbeiwerte nur an fertigen Anlagen in Abhängigkeit von der Schnelllaufzahl zu messen (Pompe 2009). In vorliegender Arbeit ist ein Wirkungsgrad  $\eta$  von 0,75 und ein Leistungsbeiwert  $c_p$  von 0,35 angenommen (Pompe 2009). Demnach ergibt dies näherungsweise einen Wirkungsgrad von 0,3 wie er auch nach (Wagner 2006) verwendet wird.

Für die Berechnung ist des Weiteren für die Bodenreibung ein  $\alpha$  von 0,2 angenommen und erfolgt über folgende Formel:

**Formel 2: elektrische Windleistung (nach Jarass et al. 2009)**

$$P_{win} = \frac{1}{2} \times \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times \eta$$

Die Berechnung orientiert sich an der Methodik an (Rikowski 2014) und (Renewable Energy Concepts 2014). Es ist davon auszugehen, dass die Anlage bei etwa 3,0 m / s anfährt und bei Überschreiten der Sturmgrenze über 25 m / s auf null abgeriegelt wird (Jarass et al. 2009).

Nichtsdestotrotz ist festzuhalten, dass die Berechnungsmethodik eine Abschätzung darstellt. Da diese stark von den vorliegenden Wetterdaten abhängt, welche den typischen Jahreslastgang in der Region abbilden, können für bestimmte Jahre die Erträge je nach Wetterlage abweichen. Die tatsächlichen Erträge am Standort Berlin Tegel könnten nur mit Hilfe von auf Windmessungen basierenden Windgutachten ermittelt werden, wobei der Turbulenzgrad aufgrund geologischer Gegebenheiten, Vegetation, höherer Bauten oder benachbarter Windkraftanlagen zu berücksichtigen ist (Gasch et a. 2013). Darüber hinaus zeigt die Erfahrung, dass für die Auslegung von Windanlagen 10 Minuten-Mittelwerte die beste Grundlage bilden (Crastan 2012). Stündliche Messwerte, wie sie in dieser Studie verwendet werden, stellen eine Näherung dar.

## 2.5. Aufbau der Berechnung in MATLAB

Ziel der Arbeit ist es, ein Tool zu generieren, mit Hilfe dessen möglichst schnell und einfach der Energiebedarf und Ertrag von Quartieren berechnet werden kann. Dazu wird die Software MATLAB (Version R2014a) verwendet (MathWorks 2014).

Gegenüber Tabellenkalkulationsprogrammen wie Excel besteht der Vorteil darin, dass mit dem vielseitigen Programm MATLAB (kurz für Matrix Laboratory) relativ einfach mit Matrizen gerechnet werden kann und die Datenverarbeitungszeit im Vergleich gering ist. Auch große

Datenmengen (ca. 500 Gigabyte für Desktopversionen unter Windows 8) können mit Hilfe von MATLAB übersichtlich verarbeitet, analysiert und visualisiert werden.

Für die vorliegende Studie sind vor allem die schnelle Datenverarbeitung (Parameter können einfach modifiziert werden) und die umfassenden Visualisierungsmöglichkeiten von Vorteil.

Datengrundlage für die Berechnung, wie Energiekenndaten, Wetterdaten und Flächenumrechnungsparameter für den Standort Berlin, sind in Exceldateien hinterlegt und können nach Bedarf angepasst werden. Dieser Schritt, die Dateien aus Excel einzulesen, ist aufgrund der besseren Übersichtlichkeit und Bedienfreundlichkeit gewählt. Das Berechnungstool greift auf diese Daten zurück und liest sie mit Hilfe der *xlsread*-Funktion in MATLAB ein.

Von besonderer Bedeutung ist die Eingabedatei der Nutzungsaufteilung, in welche für drei verschiedene Szenarien die spezifische Aufteilung sowie die Baufläche einzugeben ist. Abbildung 12 zeigt einen Auszug aus dieser Eingabedatei, wobei die hellbau hinterlegten Zellen für die Eingabe vorgesehen sind.

Der Berechnungsvorgang mit MATLAB ist mit dem Hauptskript „Basic“ zu starten. Auf Grundlage der Angaben werden im ersten Berechnungsschritt die Flächengrößen wie Nettogrundfläche (NGF) und Dachfläche für Photovoltaikflächen berechnet.

FLÄCHENEINGABE - Szenario A			
Gebietsgröße			
Baufläche		1.856.843	m <sup>2</sup>
Nutzung	Kennung	Anteil	%
Industrie (Herstellungsbetriebe)	Ind	31	%
Büro	Off	16,5	%
Kleingewerbe	Com_sma	0	%
Großgewerbe	Com_big	21	%
Forschung - Lehre	Res_edu	7,5	%
Forschung - Labor	Res_lab	7,5	%
Wohnen W1	Liv_W1	0	%
Wohnen W2	Liv_W2	16,5	%
Wohnen W3	Liv_W3	0	%
Wohnen W4	Liv_W4	0	%
soziale Einrichtungen	Soc	0	%
	Summe	100	%

Abbildung 12 Eingabeblatt für Nutzungsaufteilung in Excel

Im nächsten Schritt werden durch das Tool in jeweils einzelnen Funktionen, mit Hilfe der in Excel hinterlegten Daten wie nutzungsspezifische Energiebedarfe pro m<sup>2</sup>, Wetterdaten und Lastprofile, der Energiebedarf sowie der Energieertrag des gesamten Quartiers im Jahresverlauf berechnet. Die Ergebnisse für verschiedene Vergleichsstandards werden in sogenannten Arrays gespeichert und Tagesverläufe können mittels Aufruf der jeweiligen Zeilen aufgerufen werden. Darüber hinaus schreibt jede Funktion die Ergebnisse zurück in eine Excel-Datei, benannt „output“ (über MATLAB Funktion *xlswrite*), wo sie dem Anwender zur weiteren Datenverarbeitung in entsprechendem Datenformat zur Verfügung stehen. Im Anschluss daran startet der Visualisierungsvorgang. Rund 1200 Abbildungen, beschrieben über einzelne Funktionen, werden automatisch generiert und einzeln als .png in einem Ordner „figures“, sortiert nach Abbildungsart, abgelegt. Dabei ist unter anderem nach Tages- und Jahresverläufen, Wochentagen, Jahreszeiten, Szenarien, Standards und Energieverwendung unterschieden. Ebenso sind die Jahresenergiebedarfe und Flächeneingangs-

größen dargestellt. Der gesamte Berechnungs- und Visualisierungsvorgang dauert in etwa 10 Minuten.

Ein Funktionsschema ist in Abbildung 13 dargestellt.

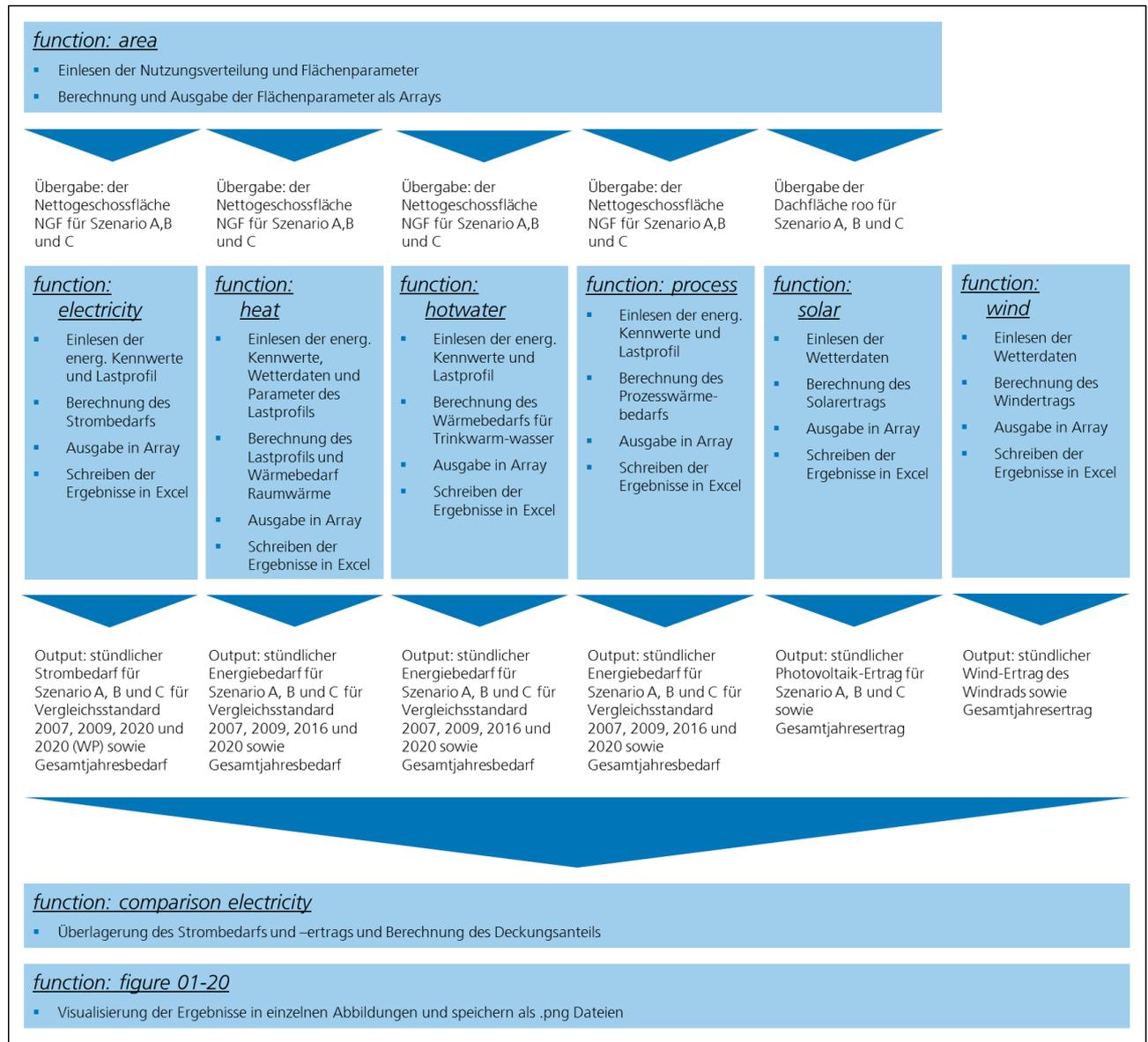


Abbildung 13: Funktionsschema des Berechnungstools in MATLAB

Detaillierter ist das Berechnungsvorgehen anhand eines Ablaufschemas in Abbildung 14 dargestellt. In dieser ist in Berechnungsvorgänge sowie Einlese- und Ausgabe-Vorgänge unterschieden.

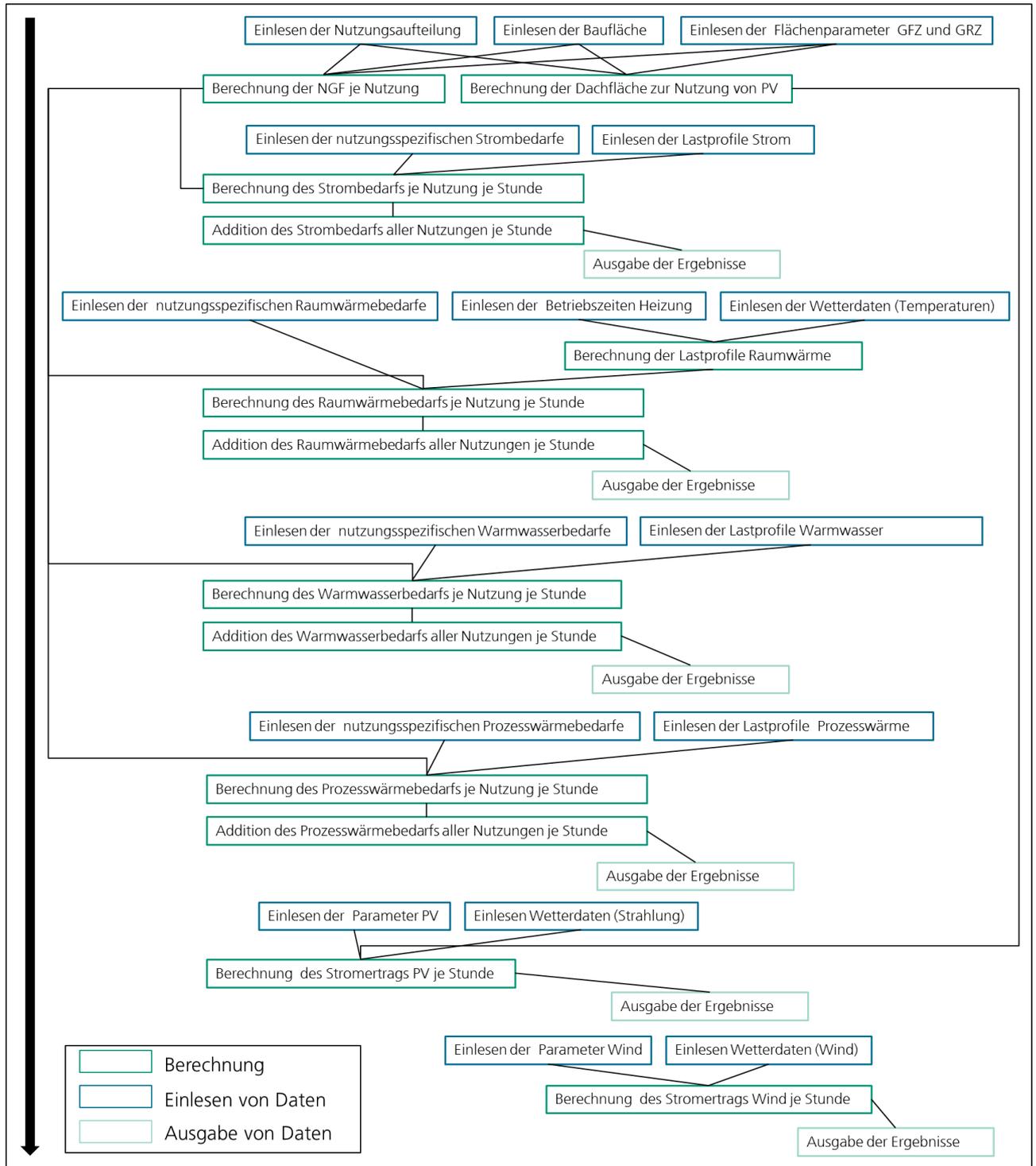


Abbildung 14: Ablaufschema der Berechnung für ein Szenario

Der komplette Programmiercode der Berechnung in MATLAB ist dem beiliegenden Extraband zu entnehmen.

### 3. Bisherige Planungen und Nutzungsszenarien für Berlin Tegel

Im Folgenden ist das Planungsgebiet Berlin Tegel, die bisherigen Überlegungen zur Nachnutzung des Gebiets sowie die simulierten Nutzungsszenarien beschrieben.

#### 3.1. Der Standort Berlin Tegel und Umgebung

Das Untersuchungsgebiet Berlin Tegel umfasst 495 ha und liegt im Nordwesten Berlins am Rande der Innenstadt. Das Stadtzentrum bzw. der Berliner Hauptbahnhof ist in ca. 15 Minuten mit dem Auto zu erreichen (Senatsverwaltung Berlin 2009). Das Gelände liegt im Bezirk Reinickendorf und grenzt an die Berliner Bezirke Charlottenburg-Wilmersdorf, Mitte und Spandau (Senatsverwaltung Berlin 2009).

Abbildung 15 zeigt auf Grundlage eines Luftbilds das Planungsgebiet, die Gebietsgrenze, die Baufläche sowie die Umgebung. Diese ist geprägt durch die nord-westlich gelegene Grünfläche der Jungfernheide und den Flughafensee, die als Erholungslandschaft dienen und eine Trennung nach Norden zur Siedlung Waldidyll, der JVA und der Bundesnetzagentur bilden (siehe Abbildung 15). Der Landschaftsraum ist der Tegeler Stadtheide zuzuordnen, in der das Gelände eingebettet ist. Im Süden grenzen an das Gebiet hauptsächlich Kleingartensiedlungen und einige Wohngebiete. Ein kleiner Teil der Fläche wird vom Bundesministerium für Verteidigung als Schiessanlage genutzt.

Der Osten des Gebiets, von der Cité Guynemer bis zur Cité Pasteur, ist bis auf die Kaserne der Bundespolizei von Wohnnutzung geprägt. Der Masterplan sieht in diesem Teil einen Anschluss an die bestehenden Strukturen und eine Verdichtung des Gebiets hin zur Sternensiedlung vor. Wie in Abbildung 15 weiterhin dargestellt grenzen im Süden Parkflächen für Reisende an den Flughafen. Für diese und Teile der Kleingärten sowie für das Gewerbegebiet im Süden ist im Zuge der Konversion des Areals eine Nutzungsänderung zu erwarten.

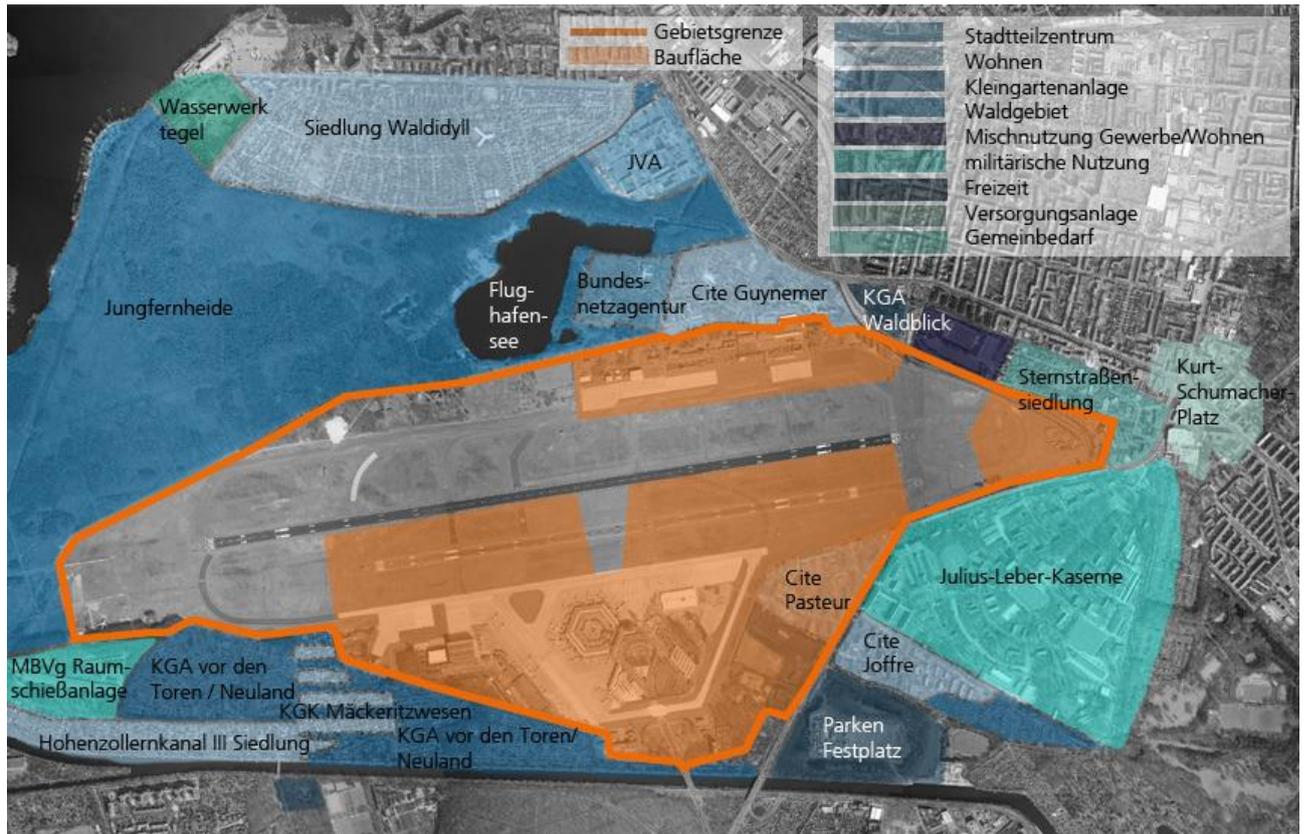


Abbildung 15: Übersicht Standort TXL (eigene Darstellung auf Grundlage von Senatsverwaltung Berlin 2010)

### 3.2. Historischer Hintergrund

Geprägt ist das Planungsgebiet durch die Nutzung als Flughafen Berlin Tegel durch das Flughafengebäude und die Start- und Landebahn, welche auch der Grund für die große West-Ost-Ausdehnung ist. Die Nutzung des Geländes für den Flugverkehr begann bereits 1948 mit dem Bau der ersten Start- und Landebahn. Der zivile Luftverkehr am Standort Berlin Tegel wurde 1960 aufgenommen. Das jetzige Flughafengebäude, das den Flughafen Tegel lange Zeit geprägt hat, wurde 1969 bis 1976 nach Planung von gmp Architekten erbaut (Senatsverwaltung Berlin 2009). 1996 wurde in dem sogenannten Konsensbeschluss festgehalten, den gesamten Berliner Flugbetrieb auf einen neuen Flughafen südöstlich des Stadtgebiets in Schönefeld zu konzentrieren. Damit war die Schließung der Flughäfen Tempelhof, Tegel und Schönefeld (alt) beschlossen (Senatsverwaltung Berlin 2013b). Für die Schließung von Berlin Tegel bedeutet dies die Rückgabe der Flächen an die Eigentümer Land Berlin und Bundesrepublik Deutschland und erfordert eine Planung der Nachnutzung des Areals (Senatsverwaltung Berlin 2013b).

### 3.3. Planungsprozess und Leitbildentwicklung

Bereits 2008 begann der Prozess, für das Gebiet Berlin Tegel eine neue Nutzung zu finden und die Planungen dahingehend zu konkretisieren. Im Zuge von sechs öffentlichen Standortkonferenzen, einem umfangreichen Werkstattverfahren sowie einer Stadtwerkstatt wurden als Meilensteine auf Basis einer Grundlagenermittlung 2010 das Strukturkonzept und 2012 der Masterplan TXL veröffentlicht. Beide Dokumente definieren TXL „als neue[n] Standort mit Impulswirkung in den gesamtstädtischen Strategien zur industriellen Entwicklung“ unter dem Motto „Urban Technologies – Technologien für die Stadt der Zukunft“ (Senatsverwaltung Berlin 2013b). Es soll ein „dichtes Netzwerk aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Industrie“ am Standort etabliert werden um dort „technische Lösungen für die Stadt von morgen“ zu generieren (Senatsverwaltung Berlin 2013b). Zahlreiche Architekturbüros, unter anderem auch der ursprüngliche Architekt des Flughafens Prof. Dr. Meinhard von Gerkan selbst (mit gmp Architekten), wirkten mit stadtplanerischen Entwürfen am Planungsprozess mit. Ein wichtiger Schritt im Planungsverfahren war die Änderung des Flächennutzungsplans 2010 sowie das Landschaftsverfahren 2011, wodurch eine Forschungs- und Industrienutzung auf dem Areal ermöglicht wurde (Senatsverwaltung Berlin 2013b). 2011 wurde die Tegel Projekt GmbH eingesetzt, welche seitdem für die Entwicklung des Standorts verantwortlich ist. Eine Übersicht über alle Aktivitäten im Planungsprozess findet sich in Anhang 1. Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Urbanisierung, Globalisierung, eines demografischen und klimatischen Wandels sowie einer zunehmenden Ressourcenknappheit soll am Standort Tegel ein wirtschaftliches, soziales und ökologisches Zusammenleben neu definiert werden.

### 3.4. Masterplan Berlin TXL

Im Folgenden sind die Inhalte des Masterplan Berlin TXL, der am Ende August 2012 auf der 6. Standortkonferenz erstmals aufgezeigt wurde, beschrieben. Er entstand direkt aus den sieben eingereichten Entwürfen des dritten Werkstattprozesses (Senatsverwaltung Berlin 2012). Am 20. April 2013 wurde dieser Masterplan durch den Berliner Senat offiziell beschlossen und damit das Planungs- und Profilierungsverfahren vorläufig abgeschlossen (Tegel Projekt 2013a).

### 3.4.1. Freiraumplanung

Der Masterplan sieht einen Erhalt großer Teile der Tegeler Stadtheide als zentrale Freiraumachse in Nord-Süd Richtung und Erholungsfläche vor. Diese Achse dient sowohl als strukturgebendes Element mit einer hohen Bedeutung für die Durchwegung des Gebiets sowie als verbindendes Element der Jungfernheide. Ziel ist „der Erhalt der Offenlandschaft mit ihren wertvollen Biotopen [...]“ (Senatsverwaltung Berlin 2013b). Die Grünflächen betragen damit rund 55 % des Planungsgebiets. Davon nimmt mit 44 % die Tegeler Stadtheide den größten Anteil ein.

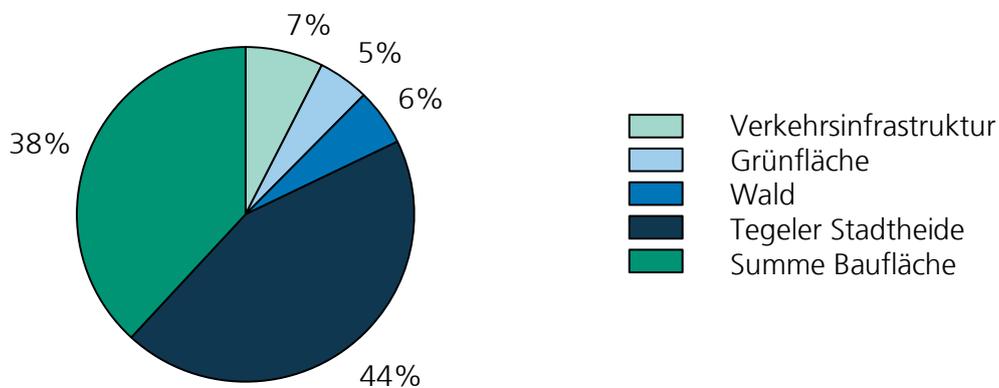


Abbildung 16: Übersicht der Grünflächenstrukturen im Planungsgebiet TXL (Tegel Projekt 2014a; Tegel Projekt 2014b; Tegel Projekt 2013b)

Die landschaftlichen Flächen wurden für alle Nutzungsszenarien der vorliegenden Arbeit nach dem Masterplan Berlin TXL (Senatsverwaltung Berlin 2013a) übernommen.

### 3.4.2. Nutzungszuweisung Bauflächen

Zentrum der Konversion zur „Urban Tech Republic“ bildet eine Sonderbaufläche „Technologie und Forschung“ rund um das bestehende Hauptgebäude des Flughafens, in der Öffentlichkeit bekannt als das charakteristische Hexagon des Tegeler Flughafens. In diesem Bau Feld ist eine Hochschule mit Hörsälen, Labor-, Arbeits- und Seminarräumen vorgesehen. Umgeben wird das Bau Feld im westlichen und südlichen Teil von einem „Gewerbeband“, einer Gewerbebaufläche, welche für Start-Ups und Pioniere vorgehalten wird (Senatsverwaltung Berlin 2013b). Eine Ansiedelung von Start-Ups in größerem Maßstab, verbunden mit einem Technologie- und Forschungsstandort, hat sich im Berliner Umkreis bereits in Adlershof als erfolgreich erwiesen (Wista-Management 2014).

Die Fläche zwischen den Landebahnen ist für Industrieansiedlung vorgesehen. Ein zwei Kilometer langer „Industriepark“ ist mit einer nach Osten hin zunehmenden Dichte geplant. Bereits bestehende angrenzende Wohnquartiere im Südosten, Cité Guynemer und Cité Pasteur, sollen als gemischte Bauflächen weiterentwickelt werden. Am östlichen Ende des Planungsareals ist beabsichtigt, das Kurt-Schumacher-Quartier, ein gemischtes Quartier mit mindestens 1.000 Wohnungen, über einen städtischen Wettbewerb zu entwickeln (Senatsverwaltung Berlin 2013b). Der veröffentlichte Masterplan ist in Anhang 2 ersichtlich.

### **3.5. Weitere Überlegungen des Berliner Senats**

Im ersten Halbjahr 2014 gab es in Berlin verschiedene städtebauliche Entwicklungen, z.B. den abgelehnten Volksentscheid zur Bebauung des Tempelhofer Feldes. Aktuell finden Aktivitäten der Stadt Berlin für eine Bewerbung für die Ausrichtung von Olympischen Sommerspielen 2024 oder 2028 statt. Diese sieht unter anderem eine weitgehend homogene Wohnnutzung (ca. 4000 Wohnungen) auf Teilen des Planungsgebietes TXL vor. Die entstehenden Wohnungen könnten für die Spiele als Olympisches Dorf dienen und nach deren Beendigung dem Wohnungsmarkt zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin könnte Berlin Tegel Standort zweier Schwimmbecken für Olympia sein, die nach den Spielen zu einem regulären Schwimmbad der Bäderbetriebe zurückgebaut werden würden. Im August 2014 haben die Städte Hamburg und Berlin einen Fragenkatalog beim Deutschen Olympischen Sportbund (DOSB) eingereicht und erwarten auf dessen Grundlage bis Dezember 2014 eine Entscheidung, mit welcher Kandidatenstadt sich der DOSB um die Ausrichtung der Sommerspiele bewerben wird (Grünberg et al. 2014).

Die beschriebenen Ereignisse führten vorerst zu einem Planungsstopp der „Urban Tech Republic“, gleichzeitig gestaltet sich gesamte Nachnutzung nach Aussagen der Verantwortlichen der Tegel Projekt GmbH dadurch aktuell wieder ergebnisoffen. Auch die Realisierung eines größeren Siedlungsgebietes in Berlin Tegel ist somit möglich (Strehler 2014).

### **3.6. Nutzungsszenarien für die Analyse**

Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurden drei Szenarien untersucht, deren Charakteristika im Folgenden beschrieben sind. Für die Szenarien A und B gründet jeweils die Leitidee auf aktuellen Planungen bzw. Überlegungen des Berliner Senats. Als dritte Variante betrachtet

Szenario C ein durchmischtes Quartier. Eine Übersicht über Schwerpunkt und Nutzungsaufteilung der unterschiedlichen Szenarien bietet Abbildung 17. Eine Standortanalyse zur städtebaulichen Untersuchung der Bedarfe im Planungsgebiet und der Umgebung, beispielsweise für soziale Einrichtungen, ist nicht Inhalt dieser Arbeit. Es wird davon ausgegangen, dass die Konversionsideen des Senats diese bereits beinhalten und sie durch Anwendung von städtebaulichen Orientierungswerten ausreichend abgebildet sind.

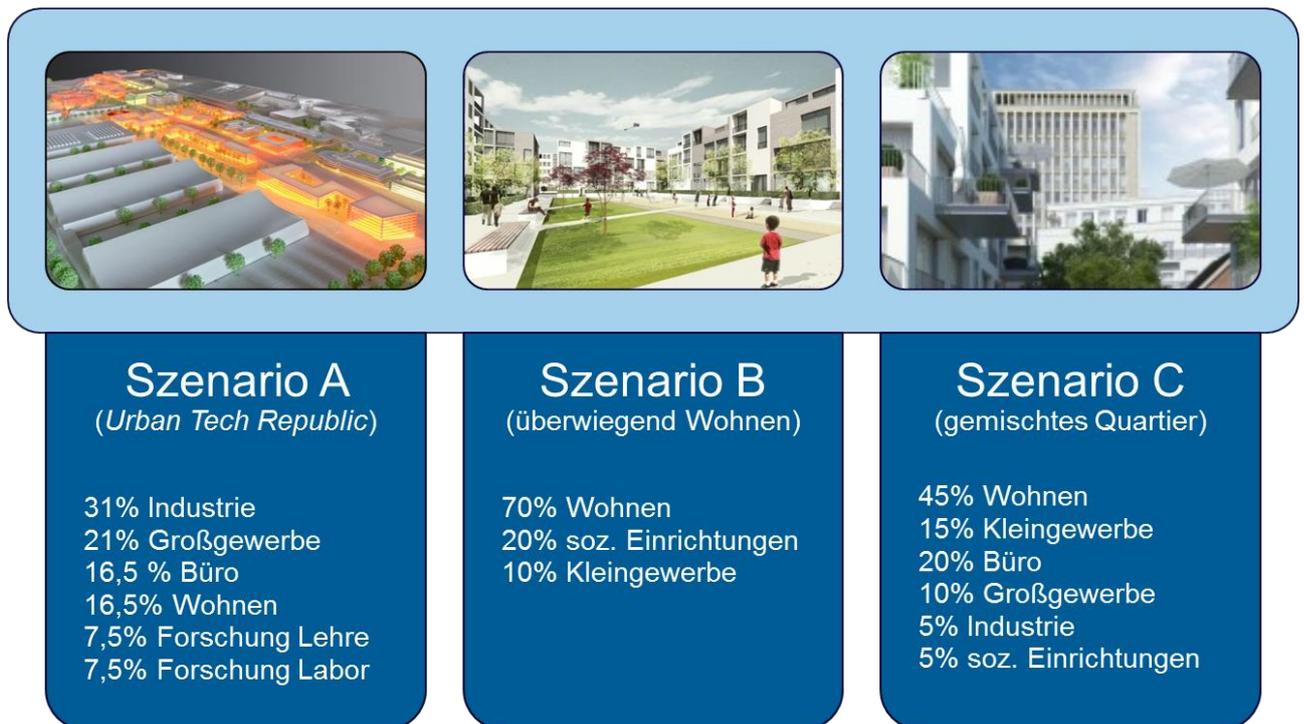


Abbildung 17: Übersicht der untersuchten Szenarien mit zugrundeliegender Nutzungsaufteilung

Nach den Unterlagen der Tegel Projekt GmbH ergibt sich eine Aufteilung des Planungsgebiets in Baufläche, Verkehrsfläche und Grünfläche wie in Tabelle 15 ersichtlich.

Tabelle 15: Aufteilung des Planungsgebiets Berlin Tegel in Baufläche, Verkehrsfläche und Grünfläche (Tegel Projekt 2014a)

Art der Fläche	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anteil [%]
Baufläche	1.856.843	38
Verkehrsfläche	363.620	7
Grünfläche	2.646.435	55
<b>Summe</b>	<b>4.866.898</b>	<b>100</b>

Es ergibt sich eine Baufläche von 1.856.843 m<sup>2</sup>. Diese Größe bildet die Grundlage für die

simulierten Nutzungsszenarien. Die jeweilige Nutzungsaufteilung setzt sich unter Beachtung übermittelter Vorgaben durch die Tegel Projekt GmbH sowie gängiger städtebaulicher Parameter, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, zusammen und ist neben der Baufläche Eingangsparameter für die Simulation.

### 3.6.1. Szenario A („Urban Tech Republic“)

Das Szenario A baut auf dem Masterplan unter dem Leitbild „Urban Tech Republic“ auf. Auf Grundlage von Dokumenten, von der Tegel Projekt GmbH für diese Arbeit zur Verfügung gestellt, wurden die geplanten Grundflächen ausgewertet. Daraus resultiert die Nutzungsaufteilung nach Abbildung 18:

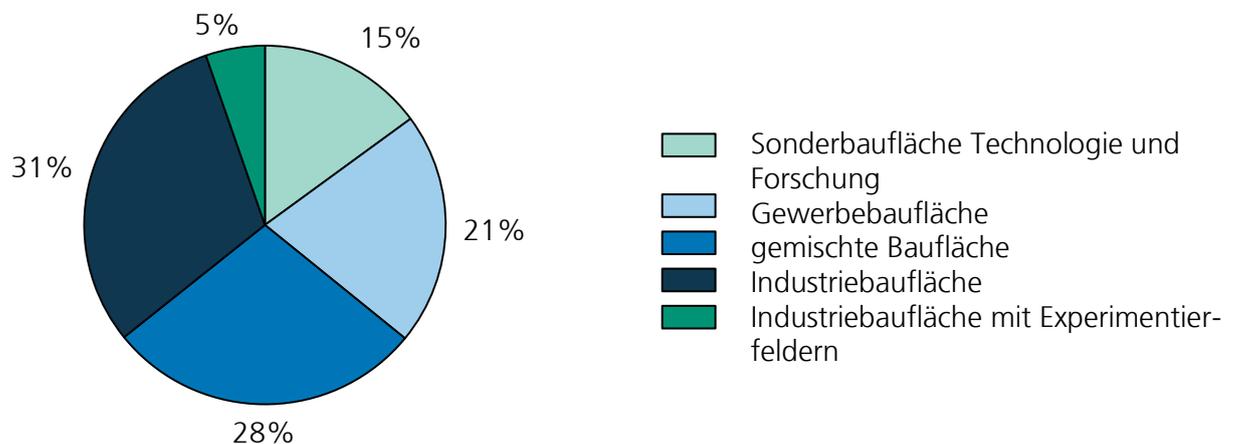


Abbildung 18: Nutzungsaufteilung der „Urban Tech Republic“ nach Datengrundlage der Tegel Projekt GmbH (Tegel Projekt 2014a; Tegel Projekt 2014b; Tegel Projekt 2013b)

Für die Simulation wurden die Bauflächen weiter konkretisiert, sodass sich die Eingangsparameter für die Simulation, wie in Abbildung 19 dargestellt, ergeben. Die gemischte Baufläche sowie die Sonderbaufläche Technologie und Forschung und Industrieaufläche mit Experimentierfeldern ist Wohnen, Forschung und Büro zugeordnet.

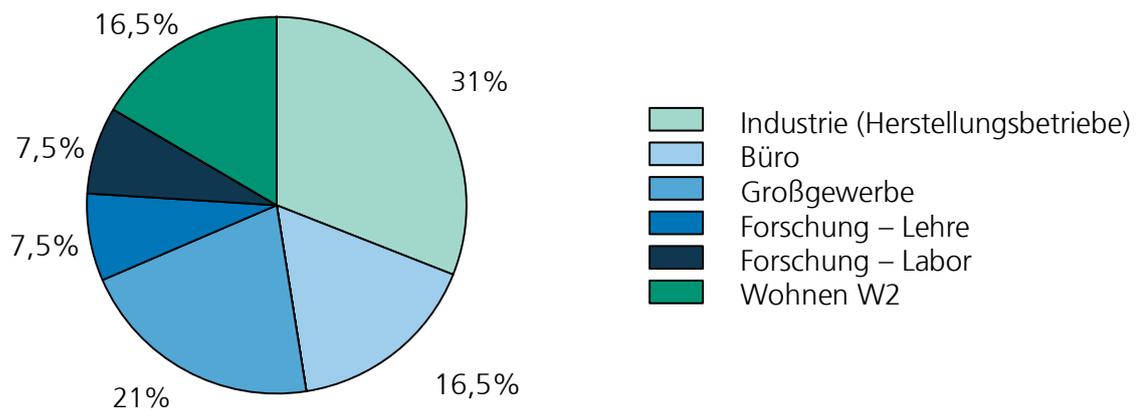


Abbildung 19: Nutzungsaufteilung Szenario A

### 3.6.2. Szenario B

Szenario B betrachtet eine überwiegend von Wohnen geprägte Variante unter Beachtung der in Kapitel 3.5 geschilderten Überlegungen des Berliner Senats. Demnach ist eine Realisierung eines größeren Wohnbauprojekts in Berlin Tegel, sei es, um als Olympisches Dorf zu dienen, oder allgemein die Wohnraumnachfrage in Berlin zu decken, möglich.

Die Nutzungsunterteilung für das Wohnquartier ist in Anlehnung an Richtwerte des Städtebaus (BMVBS 2011) vorgenommen. Dabei sind insbesondere die Orientierungswerte aus der Bundesrepublik Deutschland für die städtebauliche Planung nach Tabelle 5 (siehe Kapitel 2.2) berücksichtigt, welche als Kleingewerbe zusammen gefasst sind. Für die Wohnbebauung ist eine etwas höhere Verdichtung in den östlichen Teilen des Planungsgebiets angrenzend an bestehende Wohngebiete mit Stadtvillen und Wohnblöcken angenommen (Wohnen W2), während nach Westen hin zur Tegeler Heide auch ein Anteil von kleineren Mehrfamilienhäusern und Reihenhäusern (Wohnen W3) berücksichtigt ist. Die Nutzungsaufteilung für Szenario B ergibt sich nach Abbildung 20. Mit den Werten aus Beispielquartieren (siehe Tabelle 4, Kapitel 2.2) ergeben sich für das Gebiet für Szenario B 25.253 Einwohner.

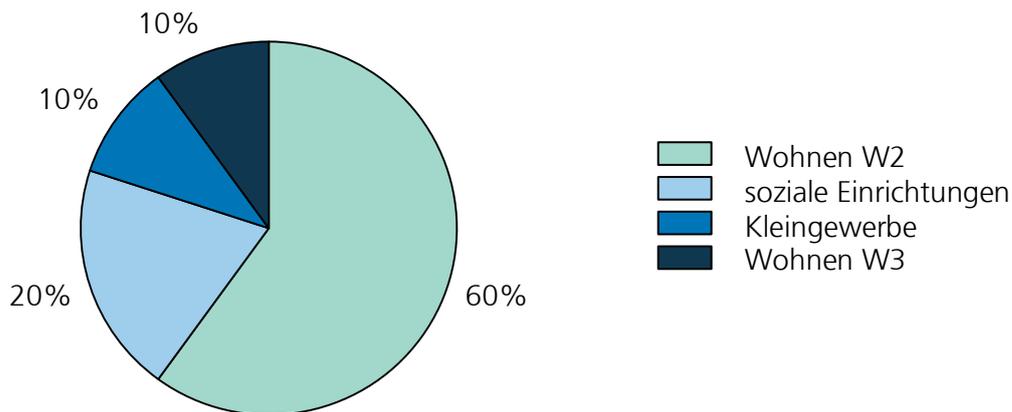


Abbildung 20: Nutzungsaufteilung Szenario B

Die resultierende Flächenaufteilung der Grundfläche spiegelt eine typische Aufteilung für städtische Wohngebiete nach (BMVBS 2011) und (BMVBS und BBSR 2009a) wieder.

### 3.6.3. Szenario C

Als drittes Szenario (Szenario C) wird ein komplett gemischtes Quartier mit verschiedenen Nutzungen betrachtet. Immer mehr verbreitet sich unter Fachleuten die Meinung, dass zukünftige Quartiere vielseitig sein müssen (Sabow et al. 2013; Sluitner 2013).

Für Gewerbegebiete ist eine Wohnarrondierung sinnvoll, um das Pendleraufkommen zu senken. Zudem steigert eine Versorgung vor Ort mit gesundheitlicher Betreuung, Bildungseinrichtungen und Versorgungsangeboten des täglichen Bedarfs die Attraktivität eines Standorts bei Arbeitsnehmern und Anwohnern. Homogene Wohnquartiere, wie sie in den 1960 und 1970 Jahren weit verbreitet waren, zeigten sich aufgrund eines unterdurchschnittlichen Angebots an Arbeitsplätzen und Einzelhandel als nicht zukunftsfähig (BMVBS und BBSR 2009b).

Beispielsweise bauen sowohl Siemens bei der Entwicklung des Siemens Campus Erlangen sowie WIV Wirtschafts- und Industrievereinigung Stuttgart e.V. bezüglich des SynergieParks in Stuttgart jeweils auf heterogene Stadtquartiere mit einem Mix aus Produktion, Dienstleistung und Wohnen, und achten dabei insbesondere auf Bildungs-, Gesundheits- und Versorgungseinrichtungen (Sabow et al. 2013; Sluitner 2013).

Für Szenario C ist demzufolge die Nutzungsaufteilung nach Abbildung 21 simuliert. Es ergeben sich 14.855 Einwohner für Szenario C (unter Berücksichtigung der Baufläche).

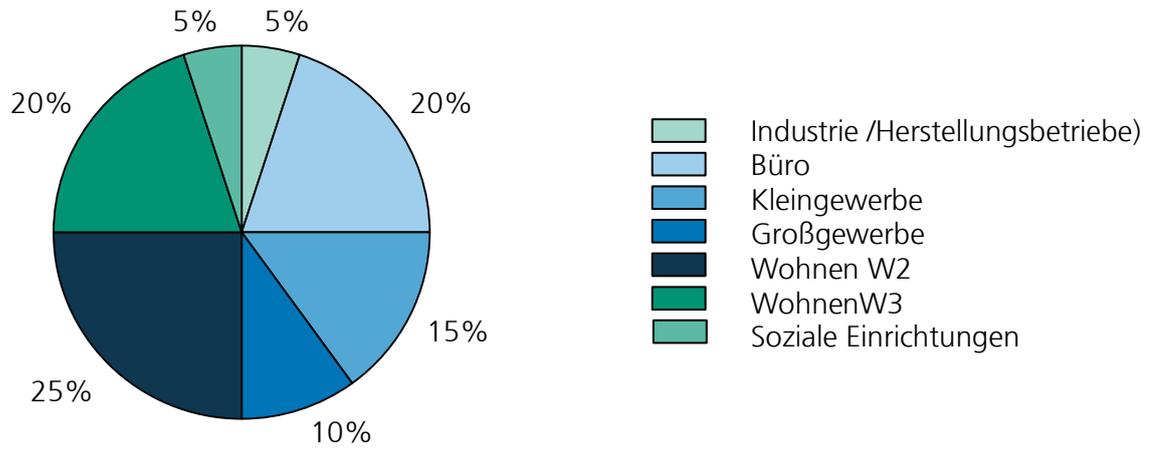


Abbildung 21: Nutzungsaufteilung Szenario C

### 3.6.4. Überblick der resultierenden Nettogrundflächen

Gemeinsame Ausgangsgröße aller Szenarien ist die Baufläche. Über die nutzungsspezifischen Größen der GRZ und GFZ lassen sich die NGF sowie die Dachfläche für jedes individuelle Szenario errechnen. Diese sind in Abbildung 22 für die untersuchten Szenarien A, B und C dargestellt. Hieraus ergeben sich bereits große Unterschiede. Szenario A, die „Urban Tech Republic“, hat gegenüber dem Wohnquartier, Szenario B, beispielsweise mit 3.302.628 m<sup>2</sup> gut die doppelte Nettogrundfläche und damit auch einen weitaus größeren Energiebedarf zu erwarten. Das gemischte Quartier, Szenario C, liegt mit 2.249.101 m<sup>2</sup> bei 68 % der Fläche von Szenario A. Das Verhältnis der Dachflächen für Photovoltaiknutzung beträgt in etwa 1 : 0,5 : 0,8.

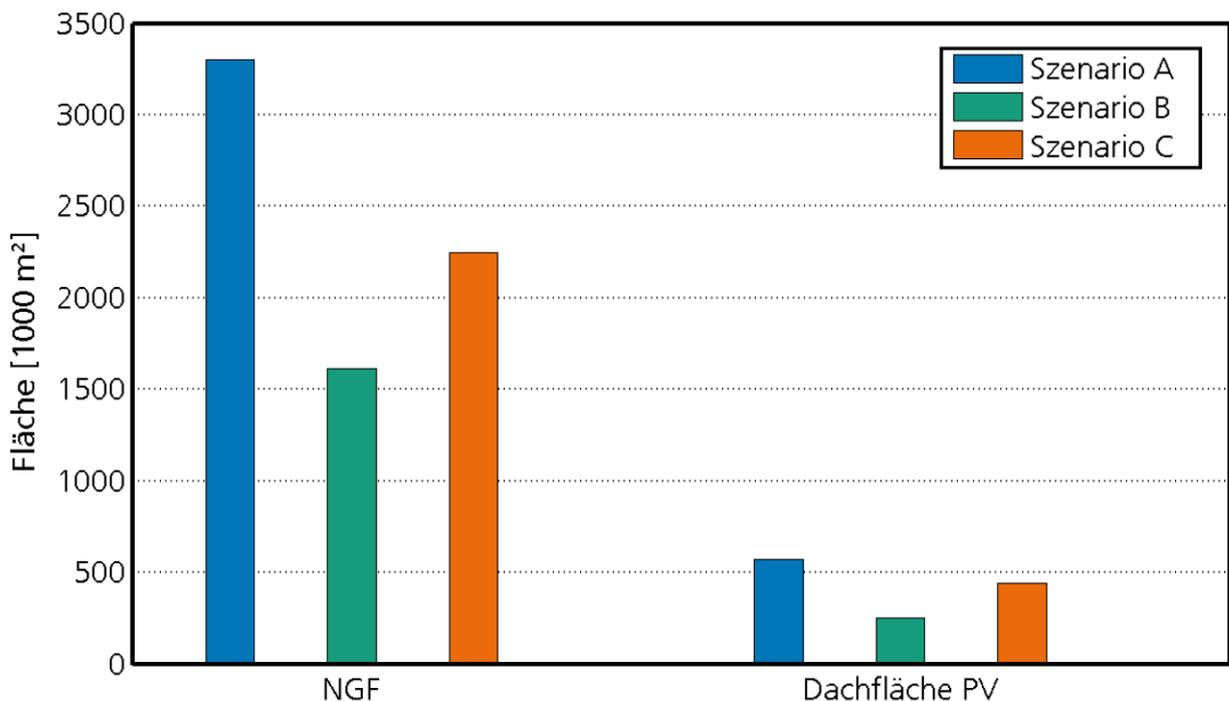


Abbildung 22: Übersicht der angesetzten Flächen der Szenarien A, B und C mit Nettogrundfläche und Dachflächen für Photovoltaik

## 4. Ergebnisse, Analyse und Auswertung der Berechnung

Die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Berechnung sind im Folgenden dargestellt und analysiert. Aus den insgesamt rund 1.200 Abbildungen sind exemplarisch Vergleichsgrafiken dargestellt, auf Grundlage derer Besonderheiten und Zusammenhänge beschrieben sind. Die Ergebnisse sind jeweils in der Jahressumme dargestellt und die Charakteristika der unterschiedlichen Szenarien und Vergleichsvarianten im Jahresverlauf werden diskutiert.

Die dargestellten Energiebedarfe für Strom, sowie Wärme für Raumheizung, Warmwasser und Prozesswärme sind jeweils separat zu betrachten, da es sich zum einen bei Strom und Wärme um verschiedene Arten von Energie handelt und bei Raumheizung, Warmwasser und Prozesswärme sowohl der Jahresverlauf als auch der benötigte Energieeinsatz aufgrund der unterschiedlichen Energieniveaus und die Möglichkeiten der Wärmebereitung differieren.

### 4.1. Jahressumme des Energiebedarfs

Die Jahressummen des Energiebedarfs der Szenarien sind im Folgenden verglichen sowie mit Ergebnissen anderer Quellen validiert.

#### 4.1.1. Vergleich der Szenarien

Die Jahressumme des Energiebedarfs der einzelnen Szenarien für alle Arten der Verwendung und Vergleichsstandards ist in Abbildung 23 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass Szenario A, gefolgt von Szenario C, den größten Energiebedarf sowohl für Strom und Raumwärme verzeichnet. Ein Grund hierfür ist die größere Nettogrundfläche. Weiterhin ist bei Strom der Bedarf für Szenario A aufgrund des hohen Strombedarfs für Büro und Industrie (Klimatisierung und Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)) signifikant höher. Im Vergleich dazu ist der Strombedarf für Wohnen und soziale Einrichtungen (Schule und Kita) sehr gering und dadurch der Strombedarf für das simulierte Wohnquartier, Szenario B, weitaus geringer als in den beiden anderen Szenarien.

Bei Raumwärme sind die Unterschiede deutlich geringer, da die nutzungsspezifischen Energiebedarfe für Raumwärme näher beieinander liegen als die Strombedarfe. Insbesondere weist die Industrienutzung keinen so hohen Raumwärmebedarf auf. Den größten Bedarf pro m<sup>2</sup> Nettogrundfläche verzeichnen Arztpraxen gefolgt von Gaststätten. Obwohl diese Nutzungen flächenmäßig relativ gering ausfallen, führt das in der Summe mit Metzgereien und Bäckereien, die ebenfalls einen vergleichsweise hohen Bedarf für Raumwärme haben,

dazu, dass der Bedarf für Kleingewerbe relativ hoch ausfällt. Dadurch ist der Bedarf für Raumwärme von Szenario B trotz weit geringerer NGF nur etwa halb so groß, wie der von Szenario A. Der Bedarf für Raumwärme von Szenario C, des gemischten Quartiers, beträgt rund  $\frac{3}{4}$  des Bedarfs von Szenario A. Bedingt durch den Nutzungsanteil von Wohnen von 40 % liegt der Strombedarf von Szenario C bei der Hälfte des Bedarfs von Szenario A.

Aufgrund des hohen Nutzungsanteils von Wohnen und insbesondere der hohen Nachfrage von Warmwasser für Kosmetik / Friseur, Gastronomie, Wäscherei, Metzgerei und Bäckerei verzeichnet Szenario B den größten Wärmebedarf für Warmwasser. Der Warmwasserbedarf für Nutzungen wie Büro, Industrie und Großgewerbe ist im Vergleich dazu nahezu vernachlässigbar. So übersteigen die Bedarfe von Szenario B und auch Szenario C den Bedarf von Szenario A um ein Vielfaches.

Im Bereich Prozesswärme zeigt sich Szenario A gefolgt von Szenario C mit dem höchsten Bedarf. Obwohl Bäckerei und Wäscherei sehr hohe Bedarfe aufweisen, präsentiert sich in der Summe die Industrienutzung aufgrund des großen Flächenanteils am energieintensivsten. In der Realität könnte diese Tendenz noch weitaus deutlicher ausfallen wenn man bedenkt, dass in dieser Studie Industrie mit verhältnismäßig geringem Prozesswärmebedarf von  $17 \text{ kWh} / (\text{m}^2_{\text{NGF}}\text{a})$  berücksichtigt ist.

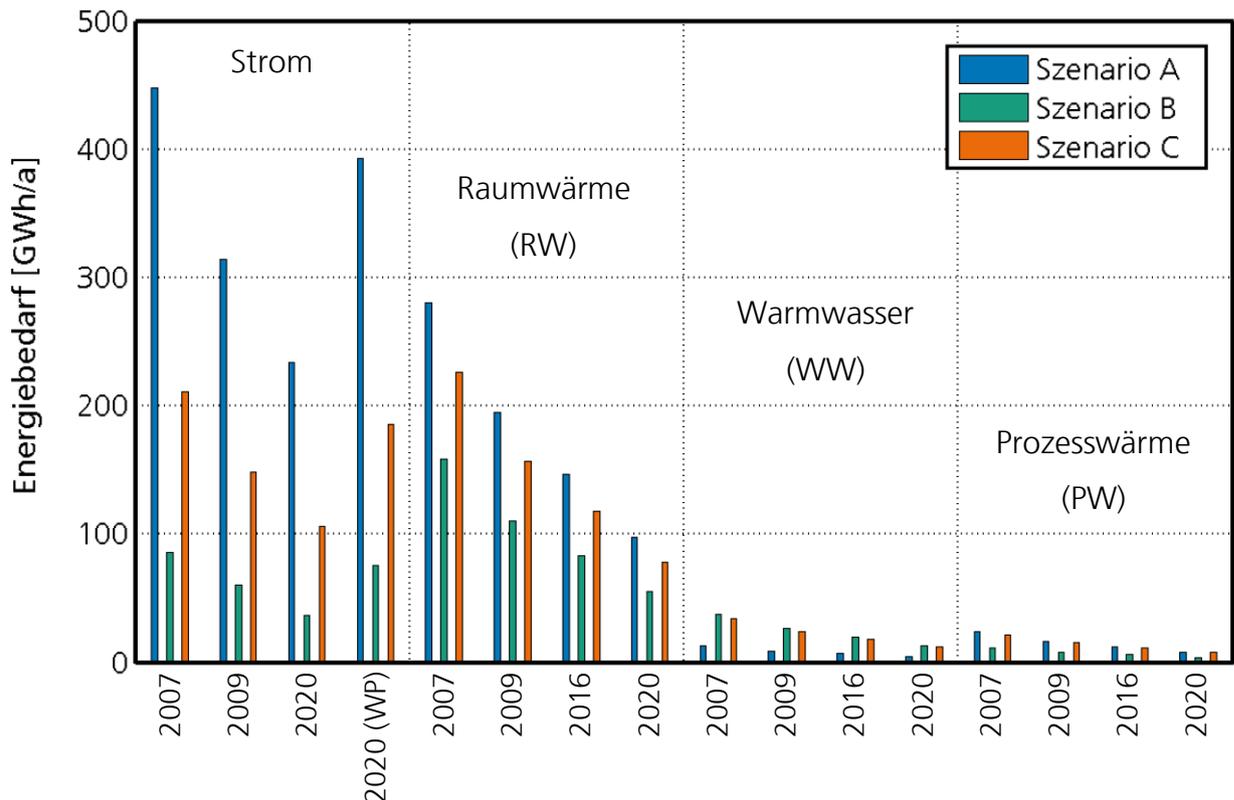


Abbildung 23: Übersicht des Jahresenergiebedarfs je Szenario, Vergleichsstandard und Art der Energieverwendung

Betrachtet man den flächenbezogenen Bedarf pro  $m^2$  Nettogrundfläche ergibt sich eine Verteilung wie in Abbildung 24, hier für den „Vergleichsstandard 2009“ dargestellt. Es zeigt sich bei Strom weiterhin Szenario B mit dem geringsten Bedarf, was auf den geringen Strombedarf der Wohnnutzung zurückzuführen ist. Gerade für Büros ist auf Grund des hohen Strombedarfs für die IT (IKT) und hohen Ansprüchen an den Komfort am Arbeitsplatz (Klima und Beleuchtung) der Bedarf deutlich höher (siehe auch FfE 2014). Bei der Raumwärme liegen die Ergebnisse für die Szenarien mit  $59 \text{ kWh} / m^2_{\text{NGF}}\text{a}$ ,  $69 \text{ kWh} / m^2_{\text{NGF}}\text{a}$  und  $70 \text{ kWh} / m^2_{\text{NGF}}\text{a}$  relativ nahe beieinander. Zum einen liegen die Bedarfe Raumwärme der unterschiedenen Nutzungen deutlich näher beieinander als die Strombedarfe, zum anderen gleichen sich in den Szenarien Nutzungen mit etwas niedrigerem Bedarf wie Wohnen, Industrie und Großgewerbe durch Nutzungen mit höherem Bedarf wie Büro, Kleingewerbe und soziale Einrichtungen aus. Der Wärmebedarf für Warmwasser von Wohnen und Kleingewerbe im Vergleich mit den sonstigen Nutzungen, die sehr geringen bzw. keinen Bedarf an Warmwasser haben, bewirkt den hohen Energiebedarf von Szenario B gefolgt von Szenario C. Betrachtet man den Prozesswärmebedarf pro  $m^2_{\text{NGF}}$  zeigt sich ein anderes Bild wie in Abbildung 23. Aufgrund des Flächenbezugs hat Szenario B gefolgt von Szenario C den höchsten Verbrauch. Grund dafür sind die prozesswärmeintensiven Nutzungen Wäscherei

und Bäckerei sowie Gaststätten. Wie bereits beschrieben, ist für die Industrienutzung in dieser Studie ein verhältnismäßig geringer Prozesswärmebedarf aufgrund des niedrigen Temperaturbereichs der Wärme angesetzt. Würde man beispielsweise Keramik- und Metallindustrie berücksichtigen, die Temperaturen von über 500 °C benötigen, ergäbe sich hier ein anderes Bild (ifeu und DLR 2010).

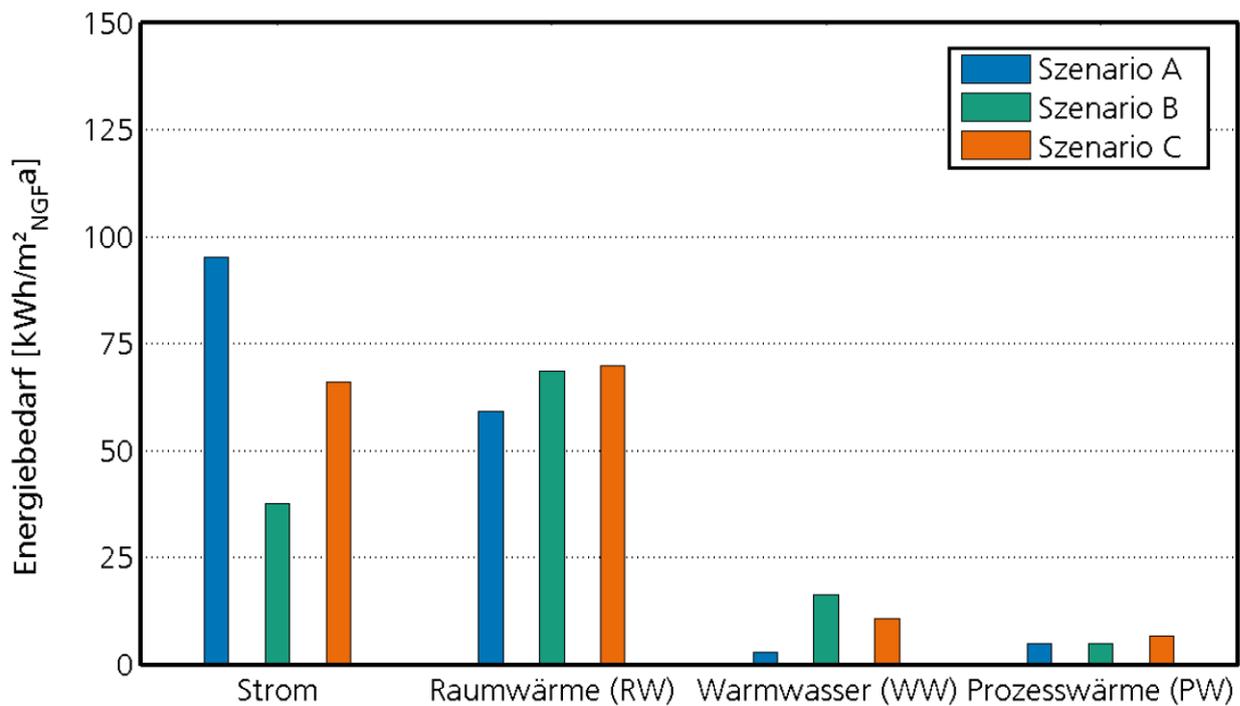


Abbildung 24: Jahresenergiebedarf nach Energieverwendung pro m² NGF je Szenario („Vergleichsstandard 2009“)

#### 4.1.2. Vergleich der Aufteilung des Energiebedarfs

Die Aufteilung des Energiebedarfs für Strom und Raumwärme ist in Abbildung 25 und Abbildung 26 für den „Vergleichsstandard 2009“ ersichtlich.

Bei dem Strombedarf zeigt sich für Szenario A insbesondere der große Anteil der Industrienutzung am Strombedarf von 65 %. Bei Szenario B hat die Wohnnutzung (W2 und W3) mit 60 % den größten prozentualen Anteil am Strombedarf. Für Szenario C hat die Büronutzung (32 %), gefolgt von Industrie (22 %) und Kleingewerbe (20 %), den größten Anteil am Jahresstrombedarf (siehe Abbildung 25).

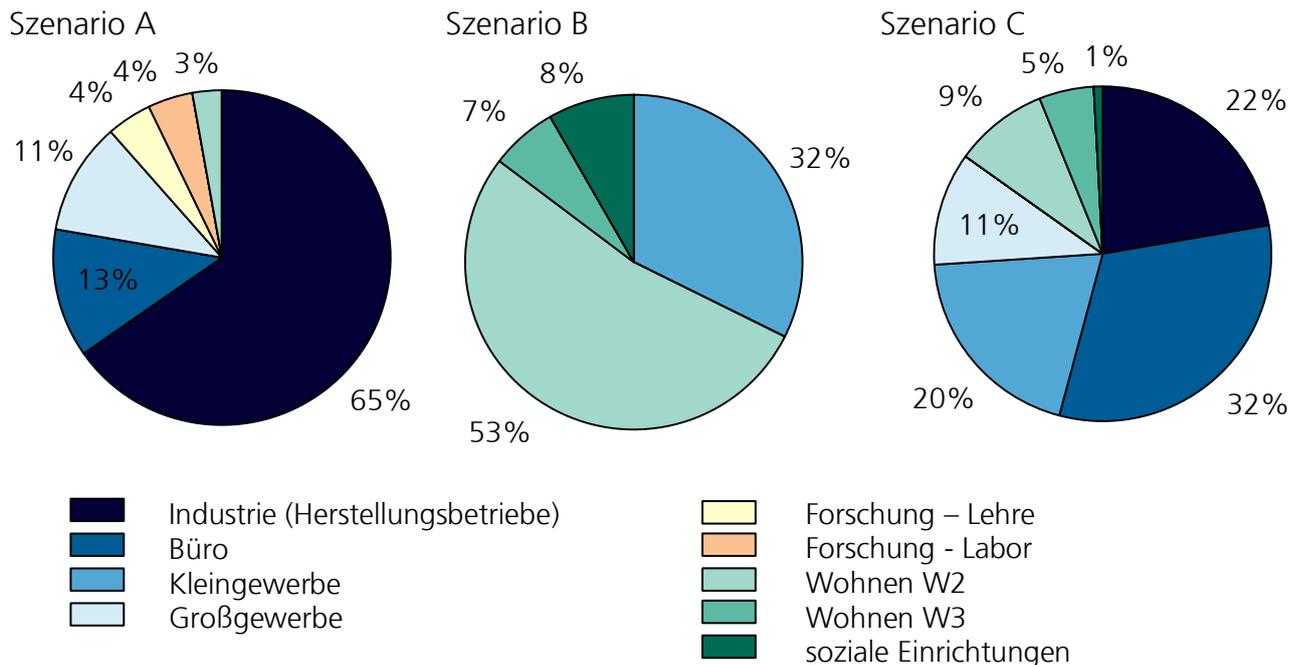


Abbildung 25: prozentuale Aufteilung des Strombedarfs von Szenario A, B und C nach Nutzung („Vergleichsstandard 2009“)

Anders als bei Strom weist die Industrienutzung bei Raumwärme einen niedrigeren Bedarf auf und hat für Szenario A nur einen Anteil von 26 % am Jahresbedarf Raumwärme, knapp über der Büronutzung mit 24 %, die im Vergleich einen etwa doppelt so hohen Raumwärmebedarf pro m<sup>2</sup> aufweist. Für Szenario C zeigt sich aus diesem Grund die Büronutzung mit dem größten Anteil am Bedarf Raumwärme von 37 % gefolgt von Kleingewerbe mit 21 % (siehe Abbildung 26).

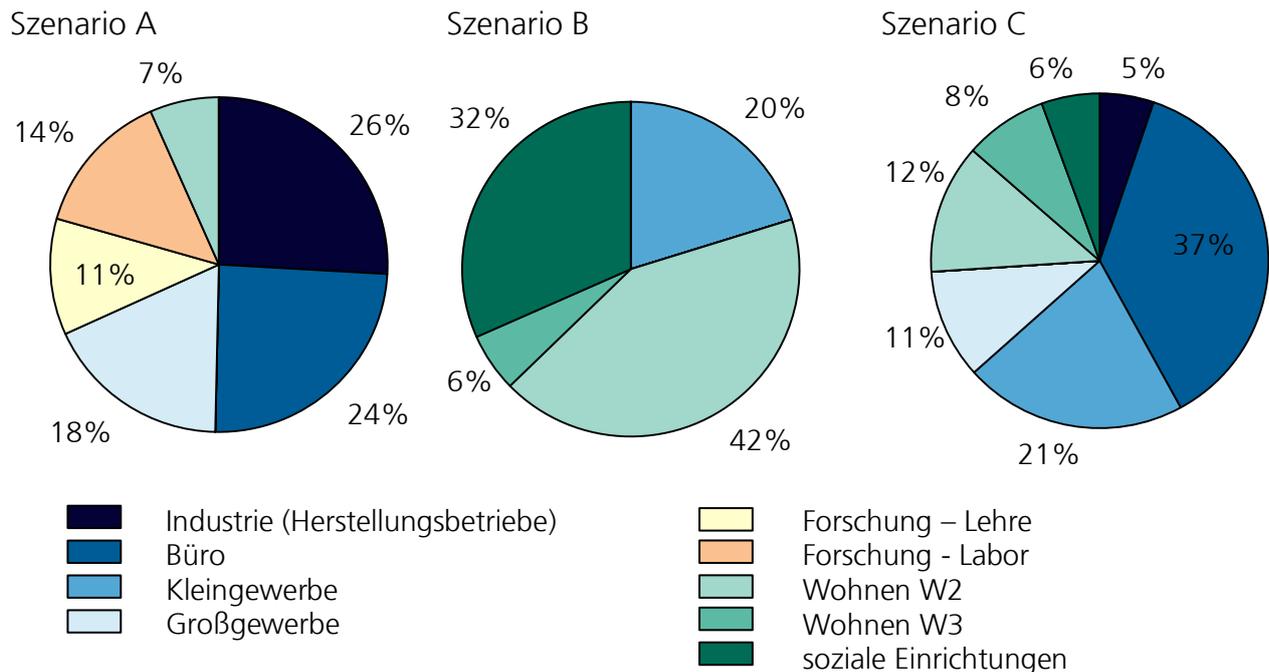


Abbildung 26: prozentuale Aufteilung des Bedarfs Raumwärme von Szenario A, B und C nach Nutzung („Vergleichsstandard 2009“)

#### 4.1.3. Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien

Die Ergebnisse sind zur Verifikation mit weiteren Quellen verglichen worden, u.a. mit Daten aus dem Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (ECA) des Fraunhofer IBP. Die Software wurde im Rahmen des Begleitforschungsvorhabens zur EnEff:Stadt Forschungsinitiative des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMWi) entwickelt. Neben der Möglichkeit, verschiedene Energieversorgungskonzepte für Quartiere zu vergleichen, bietet die Software die Möglichkeit, nach Eingabe des Energieverbrauchs eines Stadtquartiers diesen im Vergleich zu einem Sollwert und weiteren nationalen Durchschnittswerten darzustellen (Fraunhofer IBP 2012). Dabei berücksichtigt die Software die Daten der Bekanntmachungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS 2009a; BMVBS 2009b). Zur Verifizierung der Ergebnisse der vorliegenden Studie sind die Nutzungstypen der Szenarien mit dazugehörigen Nettogrundflächen eingegeben und die resultierenden Sollwerte verglichen (siehe Tabelle 16). Da in der Software ECA nicht alle vorkommenden Nutzungen berücksichtigt sind, sind folgende Annahmen getroffen:

- Industrie ist im Vergleich ausgeschlossen, da die Software ECA keine vergleichbare Nutzung berücksichtigt
- Praxen = „medizinische Zentren“
- Wäscherei = „Kosmetik und Friseur“
- Metzgerei und Bäckerei = „Verkaufsstätten Lebensmittel“

Die Ergebnisse für Szenario A, welches mit der Software mit Ausnahme der Industrienutzung relativ genau abgebildet werden konnte, weisen beim Stromverbrauch keine Abweichung voneinander auf. Der Wärmebedarf ist nach der eigenen Berechnung um 2 % höher. Während der Strombedarf von Szenario B, dem „Wohnquartier“, nur um 2 % von dem Wert der ECA Software abweicht, ist der Wärmebedarf um 34 % höher. Dies lässt sich auf die nur näherungsweise abgebildeten Nutzungstypen Wäscherei, Metzgerei und Bäckerei zurückführen, welche nach den ermittelten Bedarfswerten einen höheren Wärmebedarf aufweisen als die in der ECA Software abgebildeten Nutzungstypen „Kosmetik, Friseur“ und „Verkaufsstätten Lebensmittel“. Für Szenario C differiert der eigens berechnete Wert für Strom um 3 %. Hinsichtlich des Wärmebedarfs unterscheiden sich die Werte um 11 %, was einem Wert ca.  $15 \text{ kWh} / \text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$  entspricht. Auch hierfür ist der Grund die unscharf abgebildeten Nutzungen des Kleingewerbes.

**Tabelle 16: Vergleich der Ergebnisse des Energiebedarfs („Vergleichsstandard 2007“) mit dem Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (ECA)**

	Abweichung Strombedarf zu ECA	Abweichung Wärmebedarf zu ECA
Szenario A	0	+ 2%
Szenario B	- 2%	+ 34%
Szenario C	+3 %	+ 11%

Des Weiteren sind die Ergebnisse des Energiebedarfs Strom und Wärme von Szenario A mit dem vertraulichen Projektbericht (Untersuchung Innovativer Infrastruktur) von Drees & Sommer verglichen und verifiziert. Teil des Projekts war eine Bedarfsanalyse der „Urban Tech Republic“.

## 4.2. Verlauf des Energiebedarfs

Zur anschaulichen Darstellung des Verlaufs des Energiebedarfs ist jeweils ein Tagesverlauf gewählt. Die charakteristischen Unterschiede sowie Besonderheiten im Verlauf sind entsprechend dargestellt und beschrieben, dabei ist im speziellen unterschieden zwischen:

- Nutzungsszenario (Szenario A, Szenario B, Szenario C)
- Vergleichsstandard („Vergleichsstandard 2007“, „Vergleichsstandard 2009“, „Vergleichsstandard 2016“, „Vergleichsstandard 2020“, „Vergleichsstandard 2020 (WP)“)
- Jahreszeit (Winter, Frühling, Sommer, Herbst)
- Wochentag (Werktag, Samstag, Sonntag)

### 4.2.1. Vergleich der Standards

Die Verlaufskurve für die untersuchten energetischen Standards wird lediglich unter Berücksichtigung des Jahresbedarfs skaliert, wie in Abbildung 27 für den Wärmebedarf von Heizung und Warmwasser an einem Wintertag beispielhaft für Szenario C dargestellt.

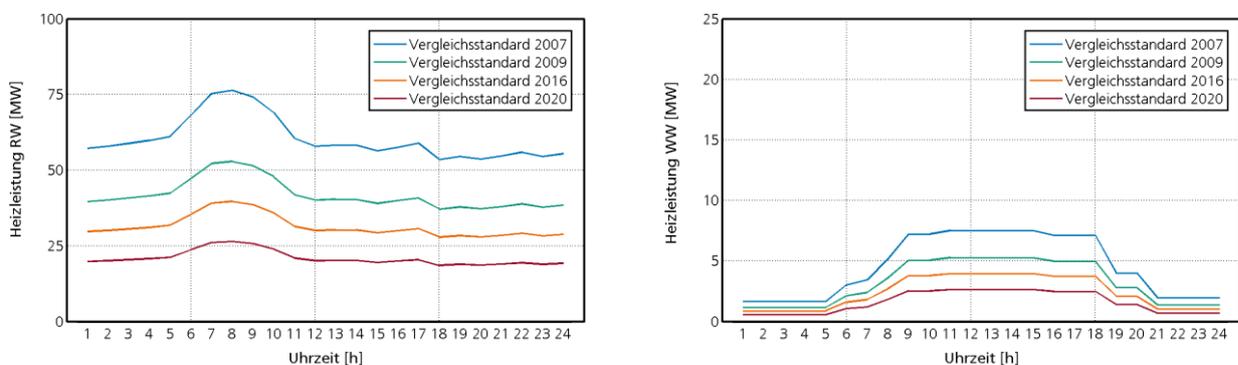


Abbildung 27: Tagesverlauf Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) für die unterschiedlichen Vergleichsstandards für das gesamte Quartier (Szenario C, Winter, Werktag)

Dabei reduzieren sich die Bedarfe gemäß den in Kapitel 2.3 beschriebenen Annahmen für die Vergleichsstandards. Lediglich bei Strom wird bei der Prognose für die Effizienzsteigerung zwischen den Nutzungen unterschieden. Im Vergleich des Tagesverlaufs für Strom von Szenario A und Szenario C erkennt man in Abbildung 28 kaum die erhöhte Effizienzsteigerung bei Wohnen („Vergleichsstandard 2020“: Reduzierung um 50 %) im Gegensatz zu den sonstigen Nutzungen, bei denen nur eine Steigerung von 25 % angesetzt ist.

Klar ersichtlich ist hingegen der erhöhte Bedarf des „Vergleichsstandard 2020 (WP)“, welcher einen erhöhten Strombedarf aufgrund eines zunehmenden Einsatzes von Wärmepumpen prognostiziert.

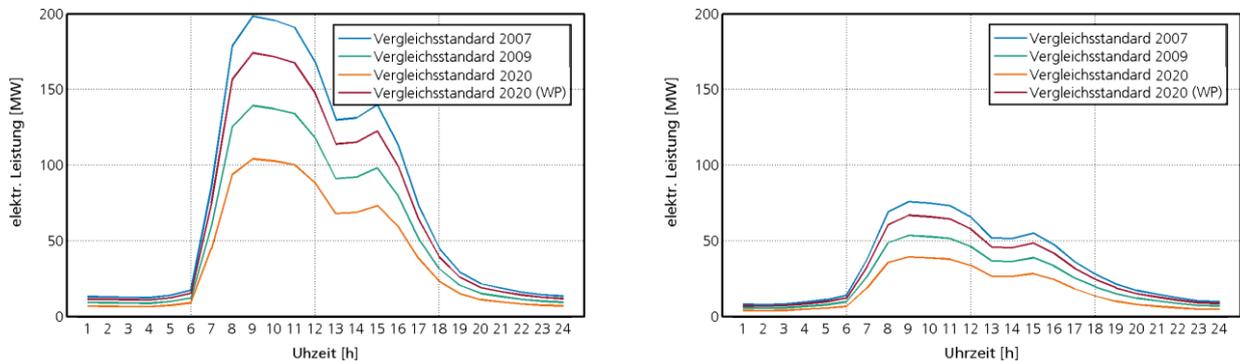


Abbildung 28: Tagesverlauf Strom von Szenario A (links) und Szenario C (rechts) für die unterschiedenen Vergleichsstandards für das gesamte Quartier (Winter, Werktag)

#### 4.2.2. Vergleich der Szenarien

Der Vergleich der Szenarien untereinander zeigt die nutzungsspezifischen Charakteristika im Tagesverlauf.

In Abbildung 29 sind die Unterschiede in den Verläufen für Strom klar erkennbar. Szenario A besitzt neben einem Hochplateau zwischen 08.00 und 11.00 Uhr ein lokales Maximum um 15.00 Uhr, was charakteristisch für das Stromlastprofil G1 (Gewerbe werktags 08.00 bis 18.00 Uhr) ist. Die Kurven von Szenario C sowie Szenario A verlaufen entsprechend des Haushaltsprofils H0 deutlich gestauchter.

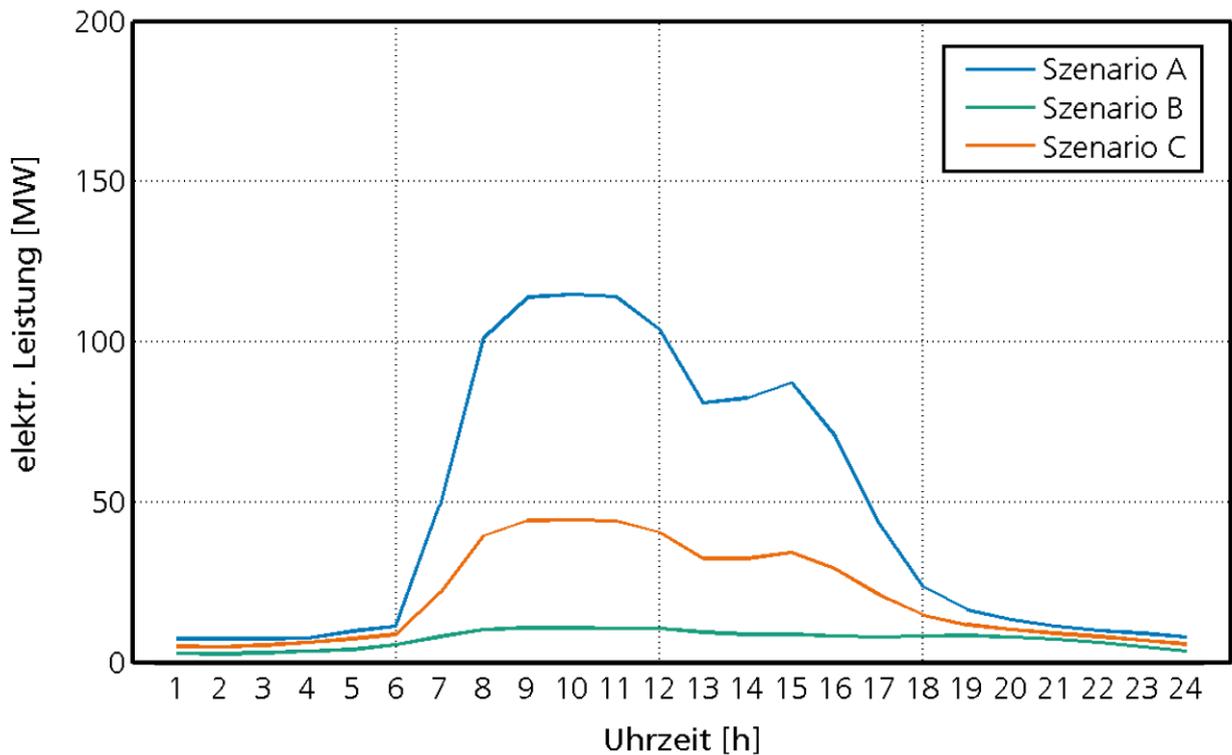


Abbildung 29: Tagesverlauf Strom der verschiedenen Szenarien für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2009“, Werktag, Frühling)

Der Tagesverlauf für Raumwärme und Warmwasser ist in Abbildung 30 ersichtlich. Der Verlauf der Raumwärme folgt über die Gradstundenzahlen dem Verlauf der Außentemperaturen sowie den nutzungsspezifischen Betriebszeiten der Heizung. Szenario A weist gefolgt von Szenario C den höchsten Bedarf auf.

Der große Anteil von Wohnen bei Szenario B und C ist ausschlaggebend für den hohen Wärmebedarf für Warmwasser insbesondere in den Stunden außerhalb der regulären Arbeitszeiten von 9.00 bis 18.00 Uhr. Die Szenarien A und C zeigen im Tagesverlauf einen deutlicheren Unterschied innerhalb und außerhalb der regulären Arbeitszeiten.

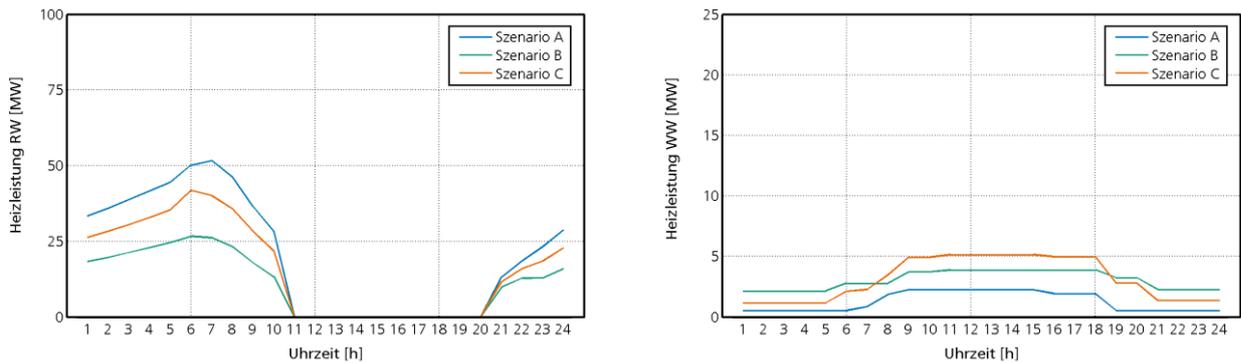


Abbildung 30: Tagesverlauf Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) der verschiedenen Szenarien für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2009“, Frühling, Werktag)

Der Verlauf des Bedarfs von Prozesswärme ist in Abbildung 31 dargestellt. Für Szenario A bildet sich deutlich die Industrienutzung (Nutzungszeit von 7.00 bis 16.00 Uhr) ab. Für Szenario B und C zeichnet sich eine breitere Verteilung charakteristisch für die Nutzungszeiten des Kleingewerbes ab.

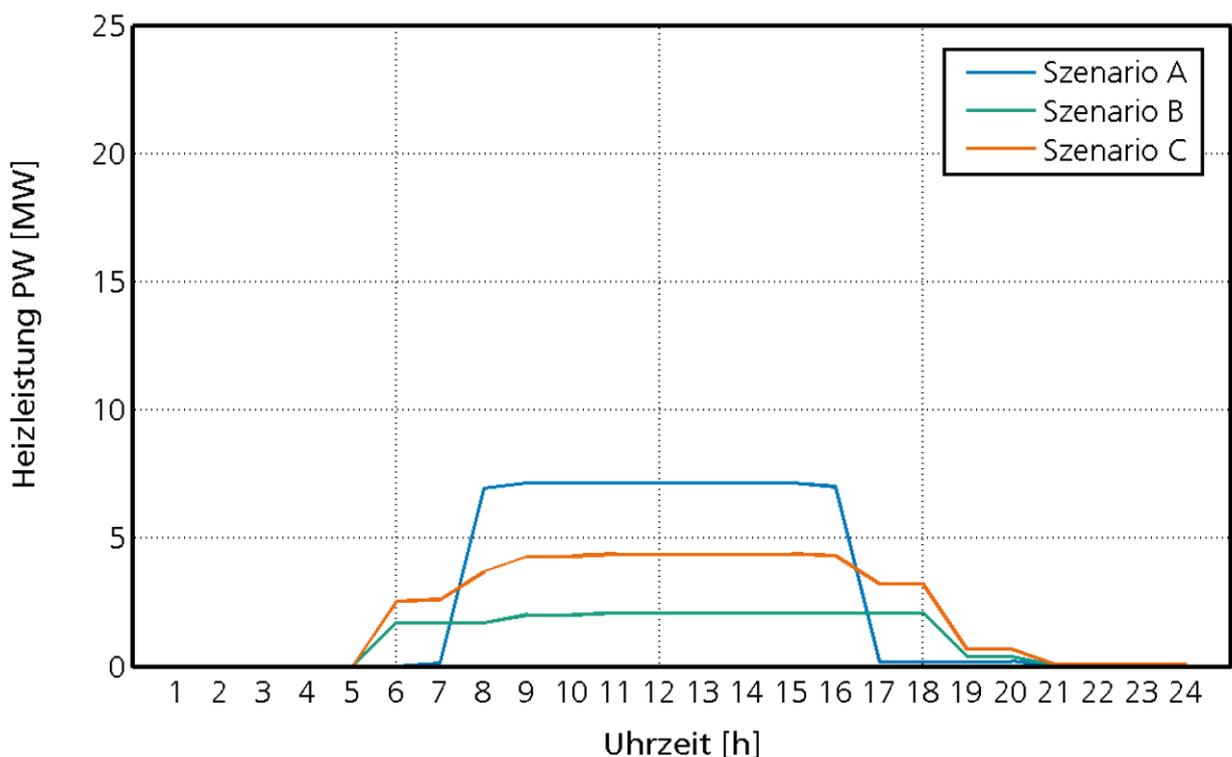


Abbildung 31: Tagesverlauf Prozesswärme der verschiedenen Szenarien für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2009“, Werktag, Frühling)

#### 4.2.3. Vergleich der Jahreszeiten

Für den Vergleich der Jahreszeiten sind wie beschrieben vier repräsentative Tage aus der jeweiligen Saison gewählt (siehe Kapitel 0).

Bei Strom zeigt sich ein Zusammenhang zwischen den Tagesverläufen und Jahreszeiten. Abgesehen von einem höheren Strombedarf im Winter im Vergleich zum Sommer zeigt sich auch ein Zusammenhang mit dem späteren Sonnenauf- und früheren Sonnenuntergang. In Abbildung 32 ist bei der Darstellung des Tagesverlaufs von Szenario B ein erhöhter Strombedarf in den Abendstunden im Winter ersichtlich, der wohl auf den erhöhten Bedarf an Beleuchtung aufgrund des frühen Sonnenuntergangs zurückzuführen ist. Auch morgens zwischen 6.00 Uhr und 8.00 Uhr zeigt sich im Winter ein erhöhter Bedarf.

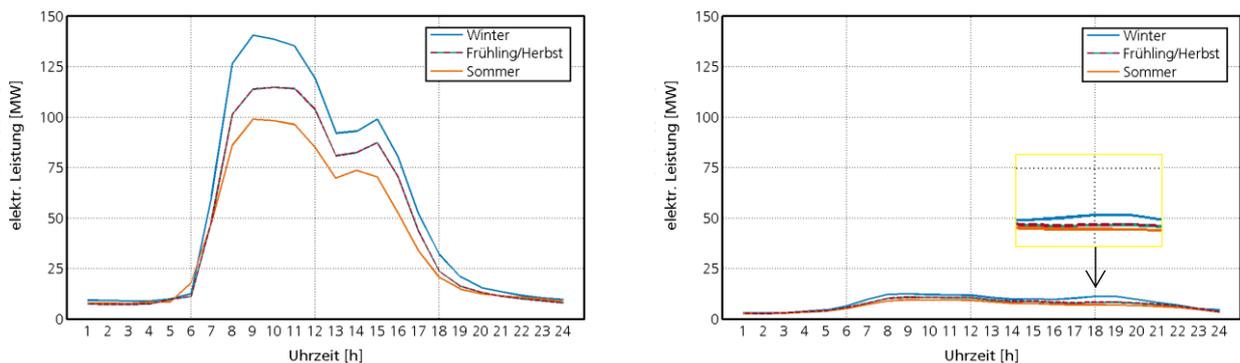


Abbildung 32: Tagesverlauf Strom von Szenario A (links) und Szenario B (rechts) für die unterschiedlichen Jahreszeiten für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2009“, Werktag)

#### 4.2.4. Vergleich der Wochentage

Für den Vergleich der Wochentage wurden jeweils ein Werktag, ein Samstag und ein Sonntag bzw. Feiertag in Bezug gesetzt. Abbildung 33 zeigt den Tagesverlauf für Strom und Raumwärme für Szenario A am Beispiel des „Vergleichsstandards 2020“ im Winter. Dabei ist bei dem Tagesverlauf für Strom des Werktag der typische Verlauf des SLP G1 (Gewerbe werktags 08.00 bis 18.00 Uhr) erkennbar. Der Tagesverlauf für Strom ist an Samstag und Sonntag im Gegensatz dazu konstanter, wobei am Samstag eine kleine Spitze zwischen ca. 8.00 Uhr und 13.00 Uhr ersichtlich ist, was charakteristisch für die Stromlastprofile G0 und G4 ist.

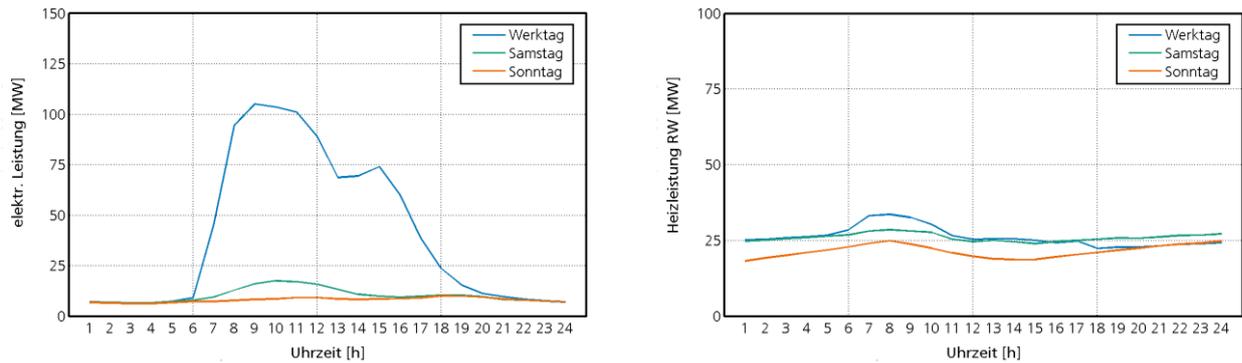


Abbildung 33: Tagesverlauf Strom und Raumwärme (RW) von Szenario A für unterschiedliche Wochentage für das gesamte Quartier („Vergleichsstandard 2020“, Winter)

Der Verlauf des Wärmebedarfs für Warmwasser und Prozesswärme ist hier nicht abgebildet. Dieser ergibt sich zwangsläufig aus den in Kapitel 2.3 beschriebenen Eigenschaften der Verläufe, wonach samstags außer Haushalt die Nutzungen Handel, Gastronomie und Bäckerei Wärme nachfragen. Sonntags ergibt sich nur für die Nutzung Haushalt eine Nachfrage nach Warmwasser.

### 4.3. Jahressumme des Stromertrags

Die Jahressumme des Stromertrags ist in Abbildung 34 dargestellt. Für Photovoltaik ist zwischen einer Neigung von  $5^\circ$  und  $30^\circ$  nach Süden unterschieden. Mit  $5^\circ$  sind exemplarisch Flachdächer ohne Aufständering berücksichtigt. Der Neigungswinkel von  $30^\circ$  kann als optimale Ausrichtung für den Standort angesehen werden. Dieser wäre nach der maximalen Sonneneinstrahlung zwar höher bei ca.  $38^\circ$  (GeoModel Solar 2014), berücksichtigt man jedoch die Selbstverschattung und den Wittereinfluss, ergibt sich eine Aufständering von etwa  $30^\circ$  als optimal.

Die Differenzen im Ertrag aus Photovoltaik für die einzelnen Szenarien resultieren aus den unterschiedlichen Dachflächen. Für Szenario B geht mit  $250.674 \text{ m}^2$  die geringste Dachfläche in die Berechnung ein, gefolgt von Szenario C mit  $441.000 \text{ m}^2$  und Szenario A mit  $573.7 \text{ m}^2$  (siehe Abbildung 22). Bei Wind ist der Ertrag von  $6,5 \text{ GWh / a}$  für alle Szenarien gleich, da für alle drei Szenarien die gleichen Parameter für die Großwindkraftanlage verwendet werden.

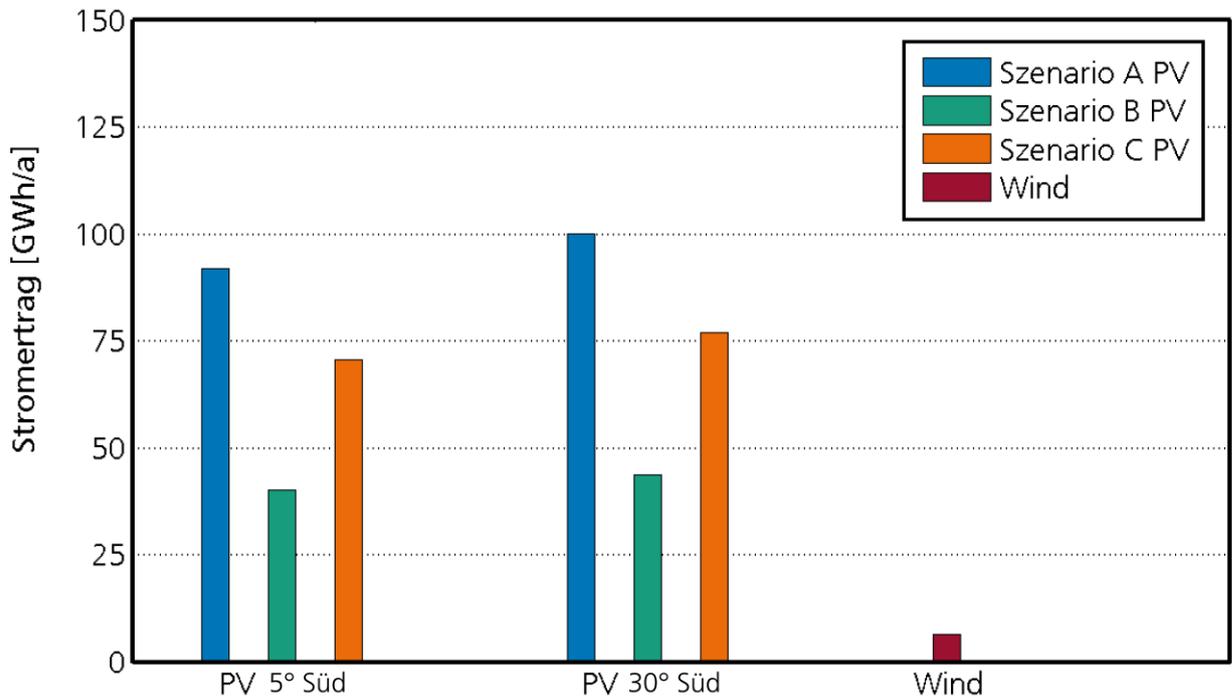


Abbildung 34: Jahresstromertrag Photovoltaik (PV) und Wind der untersuchten Szenarien

Die berechneten Jahreserträge für Photovoltaik sind mit Ergebnissen der Software „pvPlanner“ (von GeoModel Solar) verglichen und verifiziert (GeoModel Solar 2014). Für eine Neigung von 5° weichen die Ergebnisse um 1 % ab, für eine Neigung von 30° um 3 %.

Betrachtet man die Ergebnisse in Bezug zur Nettogrundfläche der einzelnen Szenarien, ergeben sich die in Abbildung 35 dargestellten Jahresstromerträge pro  $m^2_{NGF}$  (für eine Aufständigung von 5°).

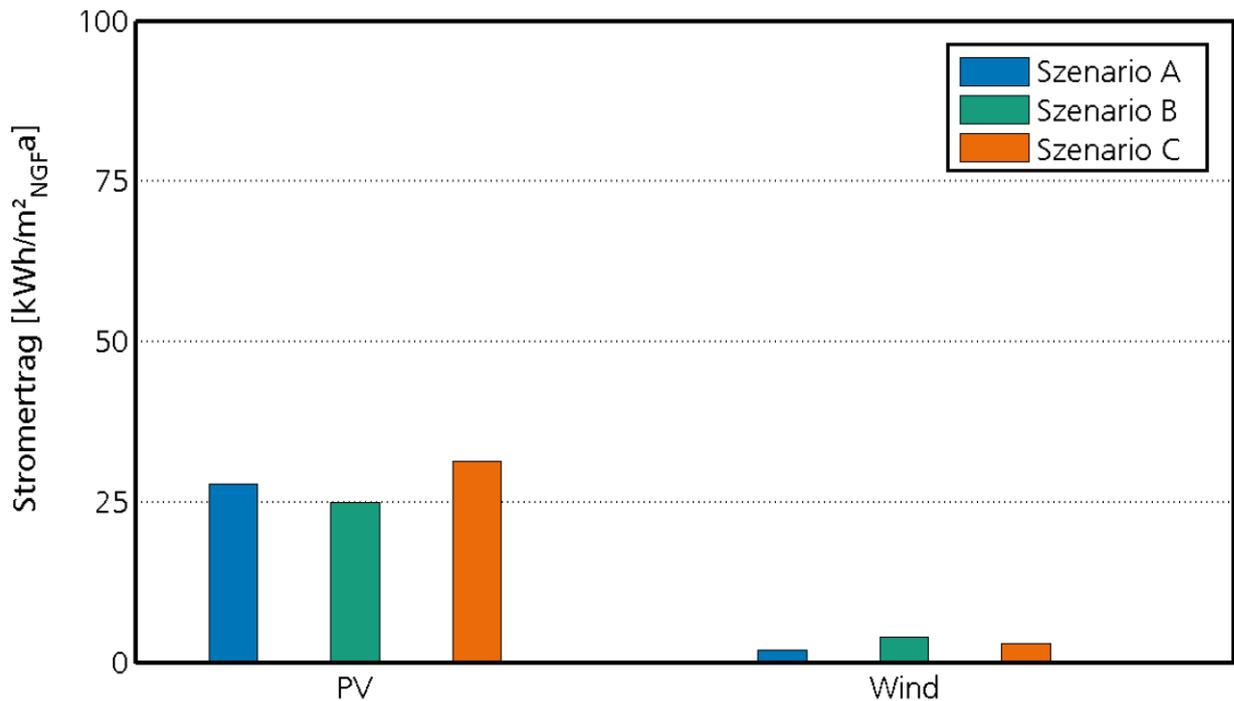


Abbildung 35: Jahresstromertrag Photovoltaik (PV, 5° Süd) und Wind je  $m^2_{NGF}$  für die untersuchten Szenarien

#### 4.4. Verlauf des Stromertrags

Der Stromertrag im Jahresverlauf verteilt sich nach Abbildung 36. Der Ertrag aus Photovoltaik hängt vom Sonnenstand ab und zeigt somit jahreszeitliche Schwankungen (im Sommer höher als im Winter). Der tageszeitliche Verlauf ist für Szenario A abgebildet und zeigt den typischen Verlauf mit hohem Ertrag zu den Mittagsstunden. Der Ertrag aus Wind ist nicht direkt einem jahreszeitlich typischen Verlauf einzuordnen, da die Windgeschwindigkeit nur bedingt von der Jahreszeit abhängt.

Der Tagesverlauf des Photovoltaikertrags für verschiedene Jahreszeiten zeigt charakteristisch einen geringen Ertrag zu den Mittagsstunden im Winter, der sich während der Mittagsstunden konzentriert, und einen hohen, breiter über den Tag verteilten Ertrag im Sommer. Die Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst weisen in etwa halb so hohe Erträge auf wie im Sommer und sind im Tagesverlauf um etwa 2 Stunden konzentrierter um die Mittagszeit als im Sommer.

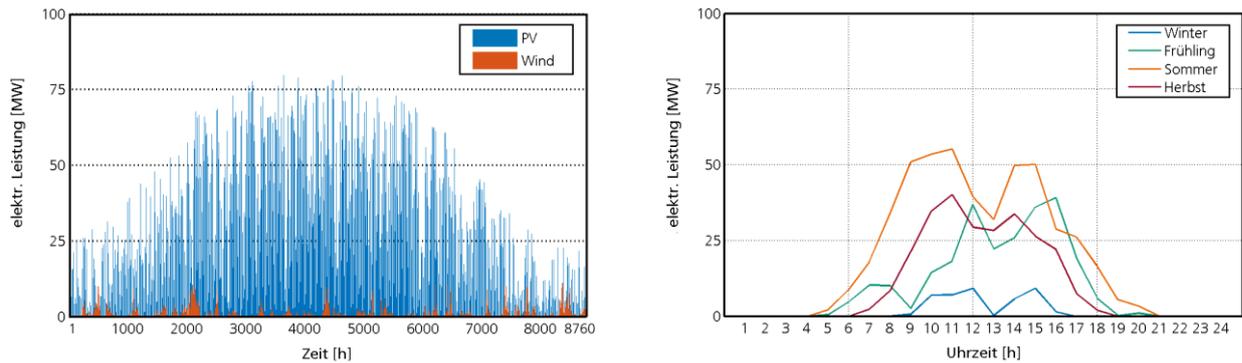


Abbildung 36: Stromertrag Photovoltaik (PV, 5° Süd) und Wind im Jahresverlauf (links) und Stromertrag Photovoltaik (PV, 5° Süd) von Szenario A im Tagesverlauf für die unterschiedlichen Jahreszeiten (rechts)

Im Vergleich zeigt sich für eine Aufständigung der PV-Module um 30° außer einem höheren Ertrag in der Jahressumme eine zunehmende Verteilung des Ertrags während der Jahreszeiten. Gerade im Winter können mit einer Aufständigung von 30° bei guten Strahlungsverhältnissen höhere Erträge erzielt werden, was sich auch im Tagesverlauf abzeichnet.

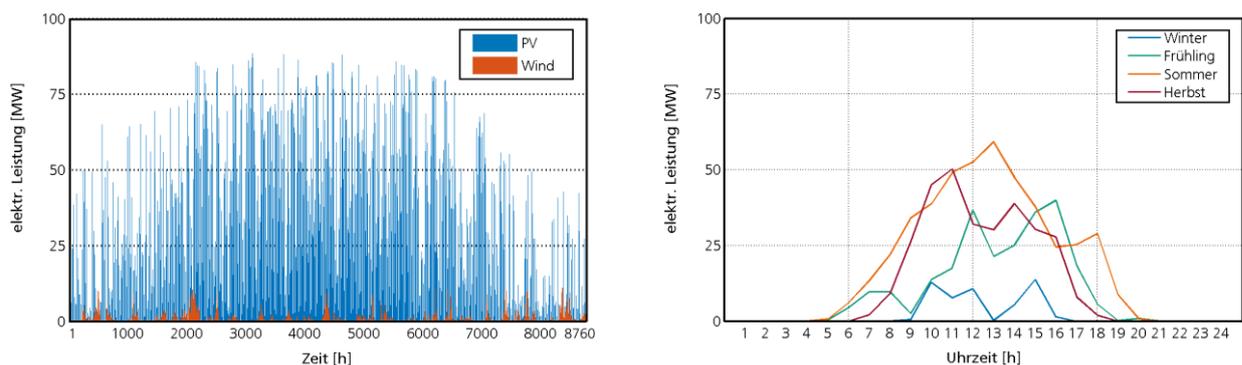


Abbildung 37: Stromertrag Photovoltaik (PV, 30° Süd.) und Wind im Jahresverlauf (links) und Stromertrag Photovoltaik (PV, 30° Süd.) von Szenario A im Tagesverlauf für die unterschiedlichen Jahreszeiten (rechts)

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass sich die Tagesverläufe in Abbildung 36 und Abbildung 37 auf Grundlage der auftretenden Strahlung einzelner Tage des TRY ergeben, in welchen zum Beispiel auch Verschattung durch Wolkenzug berücksichtigt ist und somit nicht die theoretische Maximalstrahlung nach Sonnenstand angenommen ist.

#### 4.5. Überlagerung von Strombedarf und Stromertrag

Vergleicht man die stündlichen Werte des Strombedarfs mit dem Stromertrag im Jahresverlauf, ergeben sich folgende Deckungsanteile des Bedarfs (siehe Tabelle 17). In der Tabelle ist in Szenario (Szen.), Vergleichsstandard und Neigungswinkel der PV-Module unterschieden.

Tabelle 17: Deckungsanteil des Strombedarfs (PV & Wind)

Vergleichs- standard	Szen. A, 5°	Szen. A, 30°	Szen. B, 5°	Szen. B, 30°	Szen. C, 5°	Szen.C, 30°
Vergleich 2007	19 %	20 %	40 %	40 %	30 %	32 %
Vergleich 2009	26 %	27 %	46 %	47 %	38 %	40 %
Vergleich 2020	32 %	33 %	56 %	57 %	45 %	46 %
Vergleich 2020 (WP)	21 %	23 %	42 %	43 %	33%	35 %

Zwischen 12 und 35 GWh / a (siehe Tabelle 18) werden, je nach Strombedarf des jeweiligen Szenarios (Nutzung und Vergleichsstandard) und PV-Ertrag (Neigungswinkel), nicht direkt genutzt. Dieser Anteil kann in das Stromnetz eingespeist oder vor Ort gespeichert werden, um in Zeiten höherer Nachfrage zur Verfügung zu stehen.

Zu welchen Tageszeiten sich ein Stromüberschuss ergibt, ist in Abbildung 38 ersichtlich. Exemplarisch ist in dieser Abbildung der Verlauf des Stromüberschusses an einem Werktag im Sommer dargestellt. Für Szenario B und C zeigen sich jeweils eine Spitze zur Mittagszeit sowie eine weitere zu den frühen Abendstunden. Für Szenario A ist aufgrund des hohen Energiebedarfs zur Mittagszeit nur in den Abendstunden eine Spitze ersichtlich.

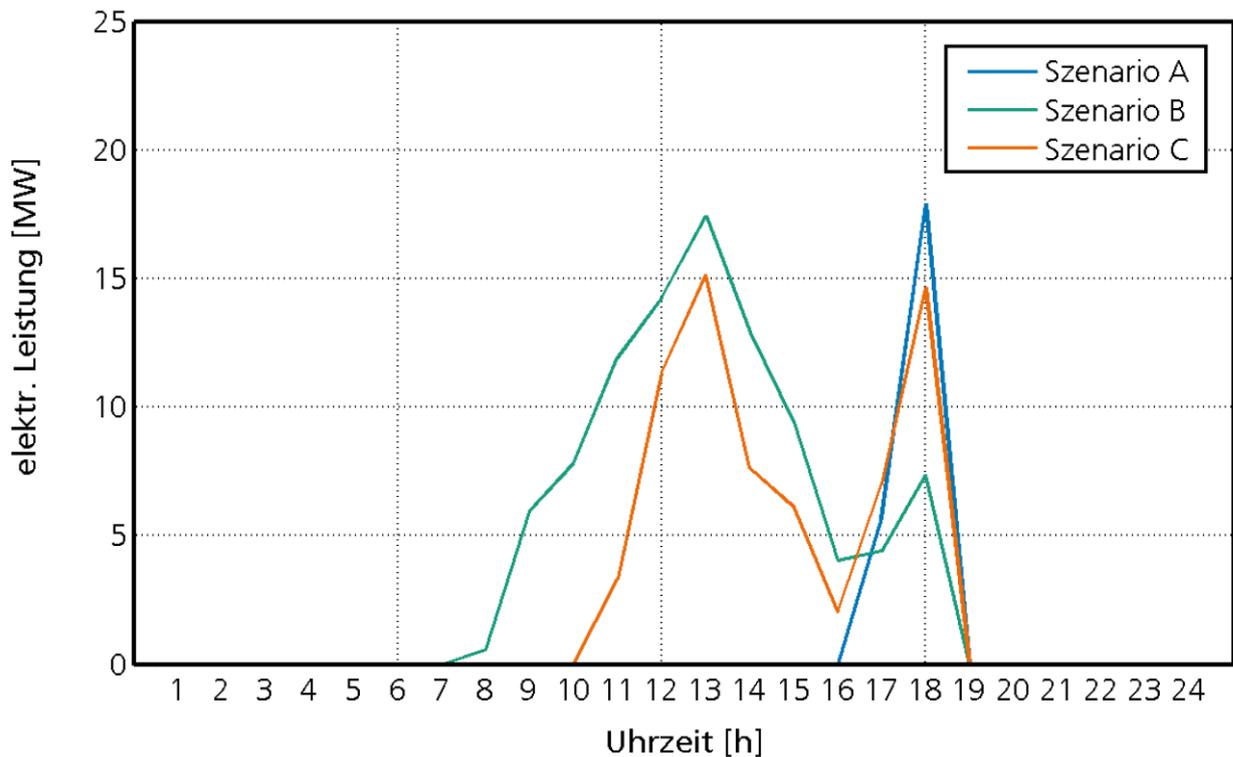


Abbildung 38: Stromüberschuss im Tagesverlauf für Szenario A, B und C bei einer Neigung der PV-Module von 5° („Vergleichsstandard 2009“, Sommer, Werktag)

#### 4.6. Exkurs (E-Mobilität)

In welchem Umfang der nicht direkt nachgefragte Anteil an Strom beispielsweise für E-Mobilität genutzt werden kann, ist im Folgenden untersucht. Dabei handelt es sich um eine rein theoretische Überlegung. In der Praxis ist neben der technischen Umsetzung zu berücksichtigen, dass die E-Mobile zu Zeiten des Überschusses zum Laden verfügbar sein müssen (siehe Abbildung 38).

Der Jahresstromertrag, der nicht direkt im Quartier nachgefragt wird, ist in Tabelle 18 in der Jahressumme ersichtlich.

**Tabelle 18: überschüssiger Jahresstromertrag in Abhängigkeit der Szenarien, Vergleichsstandards und Neigungswinkel der PV Module**

Vergleichs- standard	Szen. A,	Szen. A,	Szen. B,	Szen. B,	Szen. C,	Szen.C,
	5°	30°	5°	30°	5°	30°
	[MWh]					
Vergleich 2007	13.026	15.005	12.632	15.467	12.558	15.688
Vergleich 2009	18.174	20.780	18.560	21.808	20.925	24.934
Vergleich 2020	24.603	28.554	26.203	29.680	29.580	34.314
Vergleich 2020 (WP)	14.804	16.869	14.790	17.803	15.480	18.925

Mit der Annahme, dass ein Stadtauto in Berlin ca. 12.000 km im Jahr zurücklegt (Klein 2014) und als Mittelwert 0,15 kWh / km verbraucht (siehe MINI-E, Anhang 8), können mit dem Überschussstrom zwischen 7.000 und 20.000 E-Mobile (Mini-E) jährlich zwischen 84.000.000 und 240.000.000 km zurücklegen, je nachdem wie hoch der Überschuss ist. Bei der Kalkulation ist ein Wirkungsgrad der Batterie mit ca. 90 % angesetzt (Klein 2014).

**Tabelle 19: Anzahl der E-Mobile am Standort Berlin Tegel resultierend aus lokalem Stromüberschuss**

Vergleichs- standard	Szen. A,	Szen. A,	Szen. B,	Szen. B,	Szen. C,	Szen.C,
	5°	30°	5°	30°	5°	30°
	[Anzahl der Fahrzeuge]					
Vergleich 2007	6.513	7.503	6.316	7.734	6.279	7.844
Vergleich 2009	9.087	10.390	9.280	10.904	10.463	12.467
Vergleich 2020	12.302	14.277	13.102	14.840	14.790	17.157
Vergleich 2020 (WP)	7.402	8.435	7.395	8.902	7.740	9.463

Berücksichtigt man die Anzahl der Einwohner je Szenario (siehe Tabelle 20), zeigt sich, dass durchschnittlich etwa jeder zweite Einwohner ein E-Mobil nutzen könnte.

**Tabelle 20: Anzahl der Einwohner für Szenario A, B und C**

Szenario A	Szenario B	Szenario C
	[EW]	
7.353	25.253	18.855

## 5. Fazit und Schlusswort

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Energiebedarf von Stadtquartieren anhand unterschiedlicher Nutzungsszenarien für das Gebiet Berlin Tegel zu ermitteln und insbesondere den Jahresverlauf darzustellen. Darüber hinaus wurden die Erträge für dezentrale Stromerzeugung über Photovoltaik und Wind am Standort ermittelt.

Drei mögliche Szenarien einer künftigen Nachnutzung des Gebiets Berlin TXL wurden betrachtet, diese sind:

- Szenario A: „Urban Tech Republic“
- Szenario B: überwiegend Wohnquartier
- Szenario C: gemischtes Quartier

Betrachtet man die Baufläche des Planungsgebiets Berlin Tegel als einheitliche Bezugsgröße mit 1.856.843 m<sup>2</sup>, ergibt sich im Vergleich für die „Urban Tech Republic“ (Szenario A) die höchste Nettogrundfläche, für Szenario B ist diese nur halb so groß, für Szenario C 68 % der NGF von Szenario A.

Hinsichtlich des Energiebedarfs wurden verschiedene Standards (2007, 2009, 2016, 2020, 2020 (WP)) verglichen, die teilweise (2016, 2020, 2020 (WP)) die Entwicklung des Energiebedarfs in der Zukunft prognostizieren. Um die Anwendung der Berechnung auf Bestandsquartiere zu erweitern, könnte in einem weiteren Forschungsvorhaben das Tool um Kennwerte für verschiedene Baualtersklassen erweitert werden. Für den „Vergleichsstandard 2009“, welcher heutige energetische Anforderungen an Neubauten widerspiegelt, sowie dem „Vergleichsstandard 2020“, einer Prognose für das Jahr 2020, ergeben sich die in Abbildung 39 dargestellten Bedarfe. Bezogen auf die gesamte Baufläche zeigt sich im Vergleich für Szenario A der höchste Strom- und Raumwärmebedarf, gefolgt von dem gemischten Szenario (Szenario C) und dem Wohnquartier (Szenario A). Hinsichtlich des Energiebedarfs für Warmwasser zeichnet sich das Wohnquartier mit dem höchsten Bedarf aus, gefolgt von Szenario C und Szenario A. Betrachtet man den Prozesswärmebedarf, verzeichnet sich Szenario A den höchsten Bedarf, gefolgt von Szenario C und B. Die absoluten Bedarfswerte variieren für jedes Szenario je nach Vergleichsstandard.

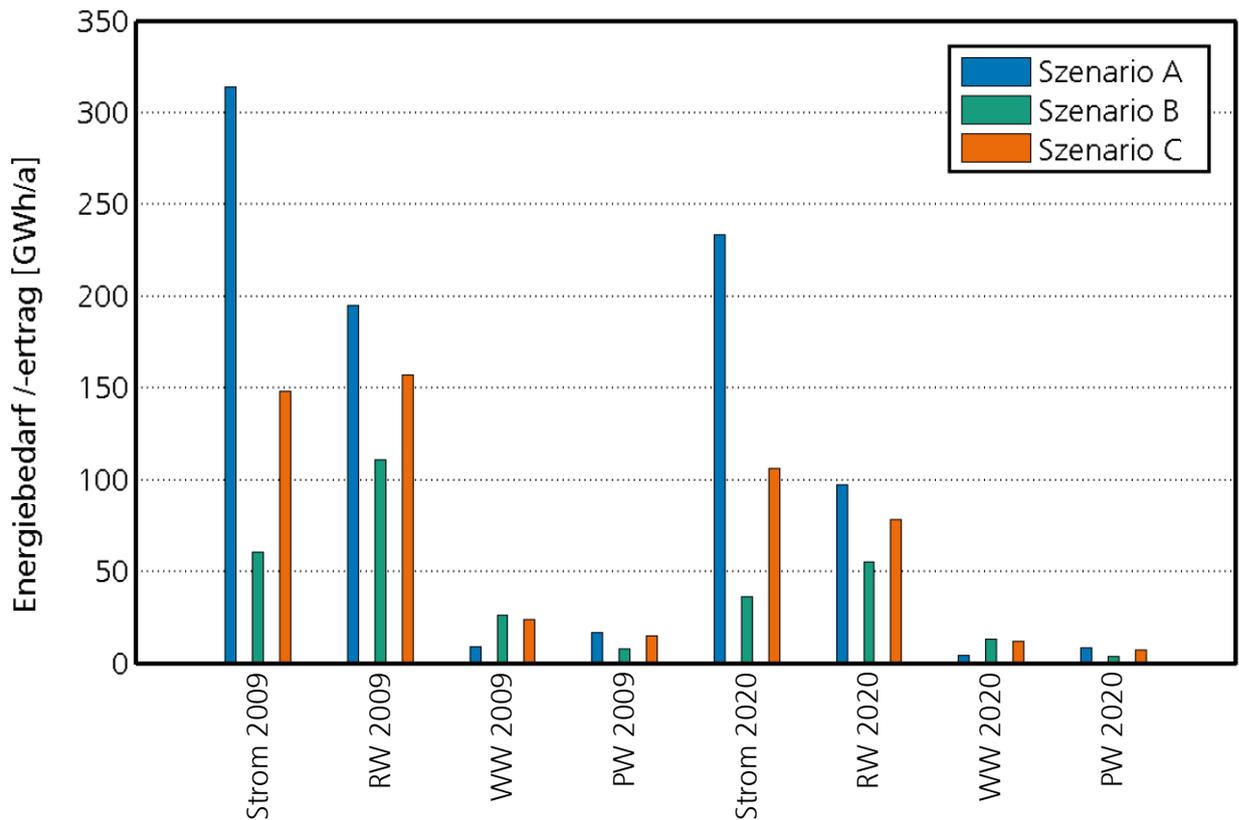


Abbildung 39: Jahresenergiebedarf je Energieverwendung für die unterschiedlichen Szenarien („Vergleichsstandard 2009“ und „Vergleichsstandard 2020“)

Betrachtet man für die untersuchten Szenarien den Energiebedarf und –ertrag pro  $m^2_{ngfr}$ , so ergibt sich eine Verteilung wie in Abbildung 40 dargestellt. Szenario A zeichnet sich durch einen sehr hohen Strombedarf aus, Szenario B durch einen hohen Energiebedarf für Warmwasser. Bei Raum- und Prozesswärme liegen die Energiebedarfe der drei Szenarien näher beieinander.

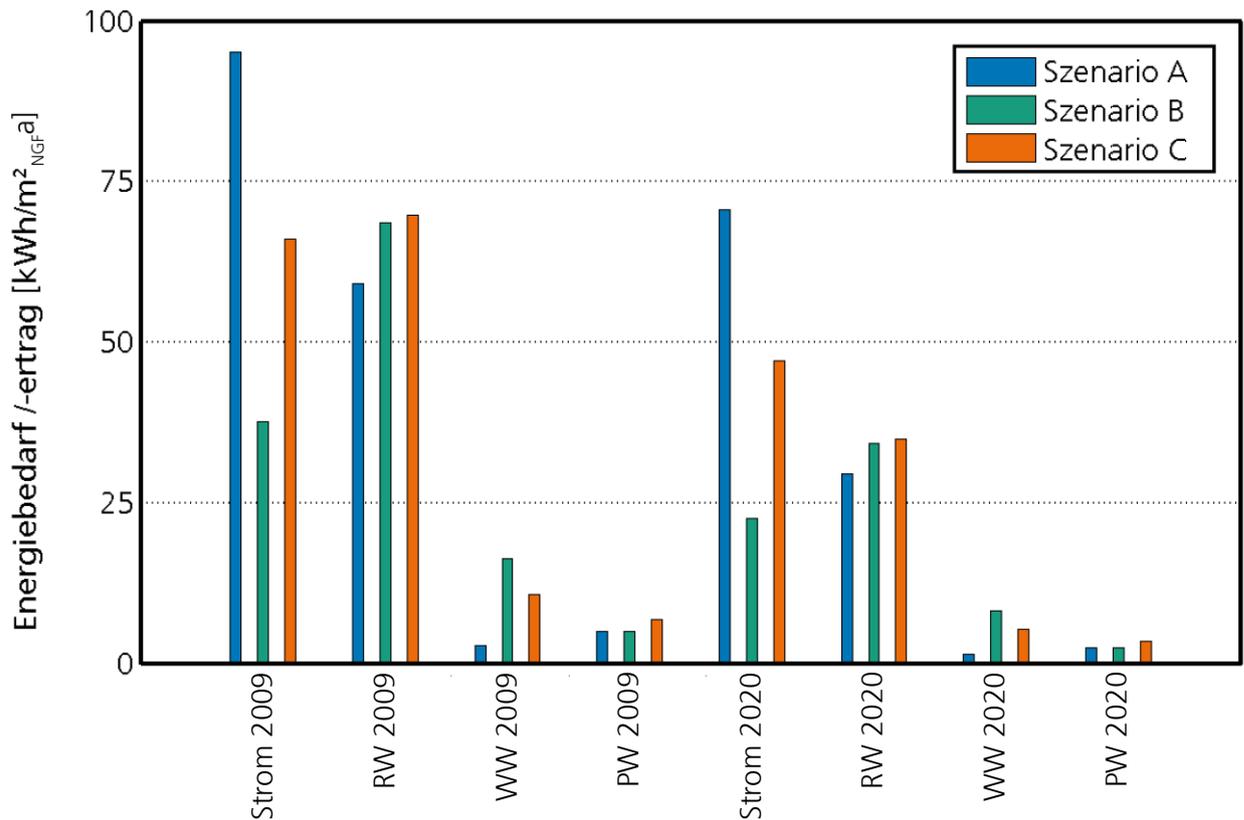


Abbildung 40: Jahresenergiebedarf nach Energieverwendung pro m<sup>2</sup> NGF je Szenario („Vergleichsstandard 2009“ und „Vergleichsstandard 2020“)

Der Jahresstromertrag der untersuchten Szenarien ist in Abbildung 41 dargestellt. Darüber hinaus ist in der Abbildung ersichtlich, welcher Anteil des Strombedarfs mit dem lokal erzeugten Strom gedeckt werden kann. Da das Stromangebot über PV und Wind unabhängig der Stromnachfrage verläuft, kann nicht zu jeder Tageszeit der gesamte lokal produzierte Strom direkt genutzt werden. Um den überschüssigen Strom dennoch vor Ort im Quartier zu nutzen, bedarf es der Integration von Speichertechnik. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Nutzung des lokalen Überschussstroms mit E-Mobilität untersucht. Der „Vergleichsstandard 2020 (WP)“ berücksichtigt unter anderem eine Zunahme des Strombedarfs aufgrund einer prognostizierten, zunehmend immer bedeutender werdenden Rolle von Strom als Leitenergie, insbesondere wenn vermehrt die Wärmenachfrage mit Strom, über Wärmepumpen, gedeckt werden wird.

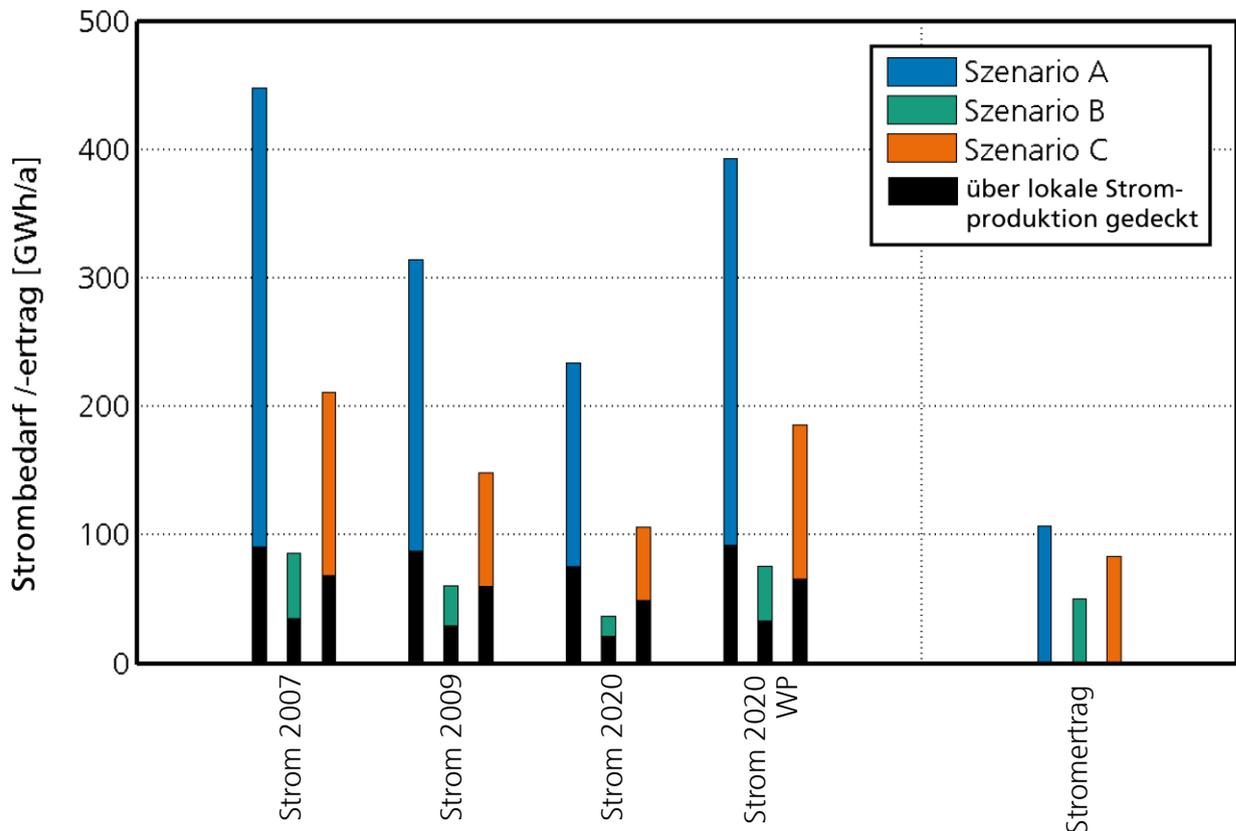


Abbildung 41: Jahresstrombedarf für die unterschiedlichen Szenarien mit Kennzeichnung des Bedarfs, der mit dem lokal erzeugten Strom gedeckt werden kann, sowie Jahresstromertrag für die unterschiedlichen Szenarien (30° Neigung der PV Module)

Letztendlich ist die Energiebedarfsermittlung von Quartieren ein sehr umfangreiches Thema und es galt, den Energiebedarf abschätzend zu ermitteln, während konkrete Gebäudeparameter noch nicht bekannt waren. In der Praxis ist es dennoch unumgänglich, bei fortschreitender Planungsphase die Bedarfsberechnung zu konkretisieren. Darüber hinaus kann die Entwicklung des Bedarfsaufkommens in der Zukunft nur auf Grundlage von Prognosen annähernd geschätzt werden und hängt von einer Bandbreite technischer, wirtschaftlicher, ökologischer sowie sozialer Komponente ab.

Im Zuge der Bearbeitung der Masterarbeit hat sich gezeigt, dass Daten zu nutzungsspezifischen Energiebedarfen, insbesondere der Industrienutzung, und zum Verhalten der Nachfrage im Jahresverlauf nur bedingt vorliegen bzw. nicht verfügbar sind. Zudem erschweren unterschiedliche Bezugsgrößen die Hochrechnung der vorhandenen Daten. Hier wäre eine einheitliche Berechnungsmethodik sinnvoll.

Studien, die sich bereits detaillierter mit dem Thema der Energiebedarfsermittlung auf Quartiersebene auseinandersetzen und genauere Ergebnisse liefern, sind beispielsweise die

Forschungsarbeiten von (Lindauer o.J.) und (Klein o.J.). Dabei fokussiert Manuel Lindauer die Wechselwirkungen zwischen dem Strom- und Wärmemarkt unter Berücksichtigung unterschiedlicher Sanierungsszenarien bei der zukünftigen Entwicklung von Wohnquartieren unter Einsatz regenerativer Energieversorgung. In der Studie von Felix Klein hingegen wird die Erstellung einer Steuerungsstrategie für verschiebbare Verbraucher und letztlich die Quantifizierung des Nutzens dieser Steuerung für das Energieversorgungsnetz thematisiert. Darüber hinaus verspricht das von der Bundesregierung Deutschland ausgerufene „Wissenschaftsjahr 2015 Zukunftsstadt“ weitere Forschungsprojekte auf Quartiersebene, beispielsweise „Real Labore“, über diese weitere Kenntnisse zur Energienachfrage und – aufkommen in Stadtquartieren mit Hilfe von Monitorings gewonnen werden können.

In der Summe geben die in dieser Arbeit dargestellten Forschungsergebnisse einen Anhaltspunkt zum Bedarfsaufkommen und dessen Verteilung im Jahresverlauf für mögliche Nutzungsszenarien des Gebiets Berlin Tegel und liefern der Tegel Projekt GmbH zusätzliche Informationen für die Planung. Das entwickelte Tool zeigte sich dabei für die Ermittlung des Energiebedarfs von Neubauquartieren als geeignet und kann, unter Anpassung der Randbedingungen, auch für andere Quartiere angewendet werden.

## 6. Quellenverzeichnis

**ages 2007:** Verbrauchskennwerte 2005 : Energie- und Wasserverbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht der ages GmbH Münster. Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse m. b. H. (Hg.). Münster.

**Baranek et al. 2013:** Optimierung der Lastprognose mittels Smart Meter Daten, Baranek, Dustin; Probst, Alexander; Tenbohlen, Stefan. Universität Stuttgart. Online verfügbar unter [http://www.uni-stuttgart.de/ieh/forschung/veroeffentlichungen/2013\\_Probst\\_Optimierung\\_der\\_Lastprognose\\_mittels\\_Smart\\_Meter\\_Daten.pdf](http://www.uni-stuttgart.de/ieh/forschung/veroeffentlichungen/2013_Probst_Optimierung_der_Lastprognose_mittels_Smart_Meter_Daten.pdf), zuletzt geprüft am 17.10.2014.

**BDEW 2014:** Standardlastprofile Strom. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hg.). Online verfügbar unter [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE\\_Standartlastprofile](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Standartlastprofile), zuletzt geprüft am 01.08.2014.

**BMJV 2013:** Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV). Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschg/gesamt.pdf>, zuletzt geprüft am 06.10.2014.

**BMVBS 2009a:** Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Wohngebäudebestand. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.). Berlin, Bonn. Online verfügbar unter [http://www.enev-shop.de/eva-downloads/cat\\_view/49-bekanntmachungen-des-bmvbs?limit=10&limitstart=0&order=date&dir=DESC](http://www.enev-shop.de/eva-downloads/cat_view/49-bekanntmachungen-des-bmvbs?limit=10&limitstart=0&order=date&dir=DESC), zuletzt geprüft am 24.09.2014.

**BMVBS 2009b:** Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.). Berlin, Bonn. Online verfügbar unter [http://www.enev-shop.de/eva-downloads/cat\\_view/49-bekanntmachungen-des-bmvbs?limit=10&limitstart=0&order=date&dir=DESC](http://www.enev-shop.de/eva-downloads/cat_view/49-bekanntmachungen-des-bmvbs?limit=10&limitstart=0&order=date&dir=DESC), zuletzt geprüft am 24.09.2014.

**BMVBS 2011:** Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (BMVBS-Online-Publikation 16/2011). Online verfügbar unter <http://www.irbnet.de/daten/baufo/20118035380/Endbericht.pdf>, zuletzt geprüft am 01.12.2014.

**BMVBS und BBSR 2009a:** Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden. BBSR-Online-Publikation 09/2009. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesinstitut für Bau-Stadt-und Raumforschung (Hg.). Berlin, Bonn (urn:nbn:de:0093-ON0909R223). Online verfügbar unter [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL\\_ON092009.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ON092009.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 24.09.2014.

**BMVBS und BBSR 2009b:** Strategien für Wohnstandorte an der Peripherie der Städte und in Umlandgemeinden. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesinstitut für Bau-Stadt-und Raumforschung (Hg.). Unter Mitarbeit von Brigitte Dr. Adam, Marie-Therese Dr. Krings-Heckemeier, Ludger Baba, Annamaria Schwedt, Katrin Kleinhans und Johanna Neuhoff. Bonn (BBSR-Online-Publikation 38/2009). Online verfügbar unter [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL\\_ON382009.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ON382009.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 19.09.2014.

**BMW 2014:** Mini E Pilotprojekt. BMW AG (Hg.). Online verfügbar unter [http://www.mini.de/minimalism/product/mini\\_e/index.html](http://www.mini.de/minimalism/product/mini_e/index.html), zuletzt geprüft am 08.10.2014.

**Borchert 1974:** Orientierungswerte für die städtebauliche Planung. Flächenbedarf - Einzugsgebiete - Folgekosten. Deutsche Akademie für Städtebau und Landesplanung, München. Institut für Wohnungswesen.

**Bundesnetzagentur 2011:** "Smart Grid" und "Smart Market". Eckpunktepapier der Bundesnetzagentur zu den Aspekten des sich verändernden Energieversorgungssystems. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas Telekommunikation Post und Eisenbahnen (Hg.). Bonn. Online verfügbar unter [http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/SmartGridEckpunktepapier/SmartGridPapierpdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/SmartGridEckpunktepapier/SmartGridPapierpdf.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 22.08.2014.

**Bundesregierung Deutschland 2009:** Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV). Bundesregierung Deutschland.

**Bundesregierung Deutschland 2013:** Energieeinsparverordnung (EnEV). Bundesregierung Deutschland. Online verfügbar unter [http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/media/05\\_gesetze\\_verordnungen\\_studien/02\\_gesetze\\_und\\_verordnungen/01\\_enev/EnEV2014\\_Nicht-amtliche-Lesefassung-16-10-13.pdf](http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/media/05_gesetze_verordnungen_studien/02_gesetze_und_verordnungen/01_enev/EnEV2014_Nicht-amtliche-Lesefassung-16-10-13.pdf), zuletzt geprüft am 22.08.2014.

**Bundesregierung Deutschland 2014:** Energiewende. Bundesregierung Deutschland (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html;jsessionid=B8FFAFAD1F90291238015CC1F0A841D3.s2t2>, zuletzt geprüft am 01.10.2014.

**Crastan 2012:** Elektrische Energieversorgung 2. Crastan, Valentin. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. SpringerLink : Bücher.

**Dena 2013:** Novelle zur Energieeinsparverordnung (EnEV 2014). Zusammenfassung. Deutschen Energie-Agentur GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-2014.html>, zuletzt geprüft am 04.08.2014.

**DIN 1985:** Tageslicht in Innenräumen - Grundlagen. DIN 5034 Teil 2. Deutsches Institut für Normung, 1985.

**DIN 2010:** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Bedarfs-/Verbrauchsabgleich. DIN V 18599 Beiblatt 1. Deutsches Institut für Normung, 2010.

**DIN 2011a:** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. DIN V 18599 Teil 10. Deutsches Institut für Normung, 2011.

**DIN 2011b:** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. DIN V 18599 Teil 1. Deutsches Institut für Normung, 2011.

**DIN 2012:** Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode. DIN EN 15978. Deutsches Institut für Normung, 2012.

**EERE 2013:** EnergyPlus Documentation. U.S. Department of Energy (Hg.). Online verfügbar unter [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_documentation.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm), zuletzt geprüft am 22.11.2014.

**Erhorn-Kluttig et al. 2011:** Energetische Quartiersplanung. Methoden - Technologien - Praxisbeispiele. Erhorn-Kluttig, Heike; Jank, Reinhard; Schrempf, Ludger; Dütz, Armand; Rumpel, Friedrun; Schrade, Johannes et al., Fraunhofer IRB Verlag:

**European Parliament 2010:** Directive of the European Parliament and of the Council of 19th of May, 2010 on the energy performance of buildings (recast). 2010/31/EU. European Parliament and the Council of the European Union, 2010. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>, zuletzt geprüft am 22.09.2014.

**FfE 2014:** Informationen zum Energieverbrauch in Deutschland 2012. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (Hg.). Unter Mitarbeit von Anna Gruber, Jochen Habermann, Gilbert Vogler und Tanja Hagen. München. Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/die-themen/erzeugung-und-markt/287-informationen-zum-energieverbrauch-in-deutschland-2012>, zuletzt geprüft am 19.11.2014.

**Fraunhofer IBP 2012:** Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.district-eca.de/index.php?lang=de>, zuletzt geprüft am 01.10.2014.

**Fraunhofer ISI et al. 2009:** Studie Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE) Technische Universität München GfK Marketing Services GmbH & Co KG (Hg.). Unter Mitarbeit von Barbara Schломann, Edelgard Gruber, Dr. Bernd Geiger, Heinrich Kleeberger, Urs Wehmhörner, Till Herzog und Daria-Maria Konopka. Karlsruhe, München, Nürnberg. Online verfügbar unter [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/publikationen/Erhebung-GHD\\_Abschlussbericht\\_Mai-2009\\_final.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/publikationen/Erhebung-GHD_Abschlussbericht_Mai-2009_final.pdf), zuletzt geprüft am 21.09.2014.

**Gasch et a. 2013:** Windkraftanlagen. Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. Gasch, Robert; Twele, Jochen. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden:

**GeoModel Solar 2014:** pvPlanner. Online verfügbar unter <http://solargis.info/doc/8>, zuletzt geprüft am 01.10.2014.

**Grünberg et al. 2014:** Hamburg und Berlin im Olympia-Direktvergleich. Sportstätten, Infrastruktur, Hotelkapazitäten, Kosten - 13 entscheidende Kriterien und wie die Hansestadt im Vergleich dasteht: Ein Überblick von Rainer Grünberg und Jens Anker. In: *Hamburger Abendblatt* 2014, 2014. Online verfügbar unter <http://www.abendblatt.de/hamburg/magazin/article131052106/Hamburg-und-Berlin-im-Olympia-Direktvergleich.html#>, zuletzt geprüft am 17.09.2014.

**Hausladen et al. 2011:** Leitfaden Energienutzungsplanung, Hausladen, Gerhard Univ.-Prof. Dr.-Ing.; Hamacher, Thomas Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Hg. v. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT) und Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB). München. Online verfügbar unter [www.energieatlas.bayern.de](http://www.energieatlas.bayern.de).

**Huith et al. 2013:** Wiederholung zur Übung 1: Solare Einstrahlung - PV/ST, Huith, Michael; Windeknecht, Marc. Technische Universität München. München, 2013.

**IBA Hamburg 2010:** Energieatlas - Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg. Unter Mitarbeit von Simona Weisleder und Karsten Wessel. Internationale Bauausstellung IBA Hamburg GmbH (Hg.). Berlin, jovis Verlag GmbH. METROPOLE der IBA Hamburg im Rahmen des Leitthemas "Stadt im Klimawandel", Sonderband.

**IBA Hamburg 2013:** Insel-Stromstudie Hamburg-Wilhelmsburg, Dr. Lutzenberger, Alexa; Peter, Stefan. Unter Mitarbeit von Internationale Bauausstellung IBA Hamburg GmbH. Kasseburg. Online verfügbar unter [http://www.iba-hamburg.de/fileadmin/Mediathek/Whitepaper/Stromstudie\\_IBA\\_Hamburg\\_klein.pdf](http://www.iba-hamburg.de/fileadmin/Mediathek/Whitepaper/Stromstudie_IBA_Hamburg_klein.pdf), zuletzt geprüft am 21.11.2014.

**ifeu und DLR 2010:** Prozesswärme im Marktanreizprogramm. Zwischenbericht zu Perspektivische Weiterentwicklung des Marktanreizprogramms - FKZ 03MAP123. ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Hg.). Unter Mitarbeit von Sabine Frisch, Dr. Martin Pehnt, Philipp Otter und Michael Nast. Heidelberg, Stuttgart. Online verfügbar unter [http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/erneuerbare\\_energien\\_allgemein/Prozesswaerm\\_e\\_im\\_MAP.pdf](http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/erneuerbare_energien_allgemein/Prozesswaerm_e_im_MAP.pdf), zuletzt geprüft am 18.11.2014.

**IWU 2014:** Gradtagszahlen in Deutschland. Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt. Online verfügbar unter [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen\\_Deutschland.xls](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen_Deutschland.xls), zuletzt geprüft am 22.09.2014.

**Jarass et al. 2009:** Windenergie. Jarass, Lorenz; Obermair, Gustav M.; Voigt, Wilfried. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg:

**Jordan et al. 2001:** Realistische Trinkwarmwasser-Profile für bis zu 100 Wohneinheiten, Jordan, Ulrike; Vajen, Klaus. Universität Marburg. Online verfügbar unter <http://solar.umwelt-uni-kassel.de/publikationen/uploads/2001%20Otti%20Jordan%20und%20Vajen%20Realistische%20Trinkwarmwasserprofile%20f%C3%BCr%20bis%20zu%20100%20Wohneinheiten.pdf>, zuletzt geprüft am 23.10.2014.

**Kellenberger et al. 2012:** Arealentwicklung für die 2000-Watt-Gesellschaft. Beurteilungsmethode in Anlehnung an den SIA-Effizienzpfad Energie, Kellenberger, Daniel; Menard, Martin; Schneider, Stefan; Hänger, Martin; Org, Madis; Victor, Katrin; Lenel, Severin.

**KfW 2014:** Energetische Stadtsanierung – Zuschuss. Zuschüsse für Quartierskonzepte und Sanierungsmanager. KfW Bankengruppe (Hg.). Frankfurt am Main. Online verfügbar unter <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Energetische-Stadtsanierung/Finanzierungsangebote/Energetische-Stadtsanierung-Zuschuss-Kommunen-%28432%29/>, zuletzt geprüft am 01.10.2014.

**Klein 2014:** Hintergrund zur Studie "Sustainable Urban Infrastructure", Klein, Felix. Berlin, 2014. Gespräch an Simone Magdolen. e-mail.

**Klein o.J.:** Verfahren zur Optimierte Steuerung von Thermischen und Elektromobilen Verbrauchern im Intelligenten Netz. Doktorarbeit in Bearbeitung. Klein, Felix.

**Lindauer o.J.:** Sensitivitäten und Unsicherheiten bei instationären Berechnungen zu Energieeffizienzsteigerungs-Szenarien von Wohngebäude-Quartieren. Doktorarbeit in Bearbeitung. Lindauer, Manuel.

**Lübke et al. 2007:** Entwicklung eines synthetischen Jahreslastprofils für Haushaltsabnahme aus Elt.-Versorgungsnetzen, Lübke, Norman; Holst, Axel; Tolzmann, Rolando. Rostock. Online verfügbar unter [http://www.iese.uni-rostock.de/uploads/media/Entwicklung\\_eines\\_synthetischen\\_Jahreslastprofils\\_fuer\\_Haushaltsabnahme\\_aus\\_Elt.-Versorgungsnetzen.pdf](http://www.iese.uni-rostock.de/uploads/media/Entwicklung_eines_synthetischen_Jahreslastprofils_fuer_Haushaltsabnahme_aus_Elt.-Versorgungsnetzen.pdf), zuletzt geprüft am 17.10.2014.

**Lüking 2012:** Wärmewende. Brennstoffeffizienz im Strom- und Wärmemarkt, Lüking, Rolf-Michael Dr. Hg. v. Fraunhofer Institut IBP. Kassel. Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-225041.html>, zuletzt geprüft am 15.09.2014.

**MathWorks 2014:** MATLAB, R2014a (8.3.0.532). 64-bit (win64). Studentenlizenz. Online verfügbar unter <http://de.mathworks.com>, zuletzt geprüft am 10.12.2014.

**Meteonorm 2014:** Wetterdaten Station Berlin Tempelhof. Meteonorm. TMY2 Climate Data (TM2).

**Nothvogel 2002:** Nutzung regenerativer Energien in Gebäuden: Passive und hybride Gebäudekühlung. Diplomarbeit. Universität Gesamthochschule Kassel, Kassel. Fachgebiete Bauphysik. Online verfügbar unter <http://www.bosy-online.de/passive-hybride-Gebaeudekuehlung.pdf>, zuletzt geprüft am 23.09.2014.

**Ornth 2007:** Bekanntmachung der Regeln für Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand, Ornth, Wolfgang. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/energieausweis/DL2\\_WG-Datenaufnahme-Wohngebäudebestand.pdf](http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/energieausweis/DL2_WG-Datenaufnahme-Wohngebäudebestand.pdf), zuletzt geprüft am 17.11.2014.

**Pompe 2009:** Windkraft. Vorlesung Umweltphysik, Pompe, Bernd. Universität Greifswald. Greifswald. Online verfügbar unter <http://www2.physik.uni-greifswald.de/~pompe/UP-VORLESUNG/up-windkraft.pdf>, zuletzt geprüft am 13.10.2014.

**Reichardt 2012:** Überblick zu den landesplanerischen Abstandsempfehlungen für die Regionalplanung zur Ausweisung von Windenergiegebieten, Reichardt, Jutta (V.i.S.d.P.). Online verfügbar unter [http://www.windwahn.de/images/stories/PDF/abstandsempfehlungen\\_bf.pdf](http://www.windwahn.de/images/stories/PDF/abstandsempfehlungen_bf.pdf), zuletzt geprüft am 06.10.2014.

**Renewable Energy Concepts 2014:** Berechnen der Windenergie an einem beliebigen Ort. Renewable Energy Concepts (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.renewable-energy-concepts.com/german/windenergie/wind-basiswissen/kalkulator-windkraft-berechnen.html>, zuletzt geprüft am 08.10.2014.

**Rikowski 2014:** Windkraft-Tutorial: Leistung einer Windkraftanlage berechnen. Rikowski, Sebastian (Hg.). Online verfügbar unter <http://kurztutorial.info/windkraft/windleistung/energie.htm>, zuletzt geprüft am 08.10.2014.

**Sabow et al. 2013:** Erfolg und Wettbewerbsfähigkeit großer Gewerbegebiete der Landeshauptstadt Stuttgart. Eine exemplarische Studie für den SynergiePark Stuttgart, Sabow, Prof. Dr.-Ing. Günter; Holschuh, Carina; Gudzent, Klaus; Kraft, Dieter; Rössner, Prof. Klaus; Pietsch, Manfred et al. WIV Wirtschafts- und Industrievereinigung Stuttgart e.V., aurelis Real Estate GmbH & Co. KG, Kraft Architekten, wpm Projektmanagement GmbH, Schwarz Architekten, Drees & Sommer AG.

**Senatsverwaltung Berlin 2005:** Flächennutzungsplan Berlin - Erläuterung der Darstellungen. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/fnp/pix/erlaeuterungen\\_fnp/Sprechende\\_Legende.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/fnp/pix/erlaeuterungen_fnp/Sprechende_Legende.pdf), zuletzt geprüft am 17.09.2014.

**Senatsverwaltung Berlin 2009:** Nachnutzung Flughafen Tegel - Grundlagenermittlung. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtplanerische\\_konzepte/txl/de/download/txl\\_grundlagenermittlung.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtplanerische_konzepte/txl/de/download/txl_grundlagenermittlung.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2014.

**Senatsverwaltung Berlin 2010:** Luftbild Flughafen Tegel. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/aktuell/pressebox/includes/docs/doc304.JPG>, zuletzt geprüft am 18.08.2014.

**Senatsverwaltung Berlin 2012:** Nachnutzung Flughafen Tegel - 6. Standortkonferenz: Masterplan TXL. Dokumentation der Veranstaltung am 29. August 2012. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin; Tegel Projekt GmbH (Hg.). Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtplanerische\\_konzepte/txl/de/download/dokumentation\\_standortkonferenz6\\_txl.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtplanerische_konzepte/txl/de/download/dokumentation_standortkonferenz6_txl.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2014.

**Senatsverwaltung Berlin 2013a:** Masterplan Berlin TXL. Nachnutzung Flughafen Tegel. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (Hg.). Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtplanerische\\_konzepte/txl/de/werkstatt\\_tegel3/](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtplanerische_konzepte/txl/de/werkstatt_tegel3/), zuletzt geprüft am 06.12.2014.

**Senatsverwaltung Berlin 2013b:** Masterplan Berlin TXL – Nachnutzung des Flughafens Tegel. Anlage zur Senatsvorlage Dokumentation der Werkstattergebnisse inkl. Fachbeiträge. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin; Tegel Projekt GmbH (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/download/tegel\\_masterplan/130429\\_AnlageSenatsvorlage.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/download/tegel_masterplan/130429_AnlageSenatsvorlage.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2014.

**Senatsverwaltung Berlin 2014:** Umweltatlas Berlin. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/index.shtml>, zuletzt geprüft am 20.09.2014.

**Siemens AG et al. 2011:** Sustainable Urban Infrastructure. Intelligente Energieversorgung für Berlin 2037. Siemens AG; Vattenfall Europe AG (Hg.). Unter Mitarbeit von Daniel Müller und Martin Pokojski.

**Sluitner 2013:** Siemens Campus Erlangen. Vision für 2030, Sluitner, Zsolt Dr. Siemens Real Estate, 2013.

**Statista 2014a:** Anteil der in Städten lebenden Bevölkerung von 1950 bis 2030 in Deutschland und weltweit. Statista GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/152879/umfrage/in-staedten-lebende-bevoelkerung-in-deutschland-und-weltweit/>, zuletzt aktualisiert am 2014, zuletzt geprüft am 21.11.2014.

**Statista 2014b:** Erwartete Wohnflächennachfrage in den 10 größten Städten Deutschlands bis zum Jahr 2030 (Veränderung gegenüber 2012). Statista GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/269990/umfrage/erwartete-wohnflaechennachfrage-in-den-groessten-deutschen-staedten/>, zuletzt aktualisiert am 2014, zuletzt geprüft am 21.11.2014.

**Strehler 2014:** Besprechung Workshop TXL, Strehler, Imre. Berlin, 2014. Gespräch. Protokoll.

**Stromnetz Berlin 2014:** Stromversorger. Stromnetz Berlin GmbH. Online verfügbar unter <http://www.stromnetz-berlin.de/de/stromversorger.htm>, zuletzt geprüft am 01.08.2014.

**Tegel Projekt 2013a:** Die Zukunft von Berlin TXL. Tegel Projekt GmbH (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter <http://www.berlintxl.de/>.

**Tegel Projekt 2013b:** Art und Maß der baulichen Nutzung, Tegel Projekt GmbH, 2013. email an Simone Magdolen. pdf-Dokument.

**Tegel Projekt 2014a:** Baufeldgrößen, Tegel Projekt GmbH, 2014. email an Simone Magdolen. pdf-Dokument.

**Tegel Projekt 2014b:** Nummerierung der Baufelder, Tegel Projekt GmbH, 2014. email an Simone Magdolen. pdf-Dokument.

**Tempelhof Projekt 2014:** Tempelhofer Feld. Tempelhof Projekt GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.tempelhoferfreiheit.de>, zuletzt geprüft am 03.09.2014.

**Vach et al. 2008:** Informationen zum Bau der ersten Berliner Windenergieanlage, Vach, Frank; Weber, Peter. Online verfügbar unter [http://www.berlin.de/imperia/md/content/bapankow/pdf-dateien/information\\_windenergieanlage\\_berlin\\_15\\_01\\_08.pdf?start&ts=1409131522&file=information\\_windenergieanlage\\_berlin\\_15\\_01\\_08.pdf](http://www.berlin.de/imperia/md/content/bapankow/pdf-dateien/information_windenergieanlage_berlin_15_01_08.pdf?start&ts=1409131522&file=information_windenergieanlage_berlin_15_01_08.pdf), zuletzt aktualisiert am 15.01.2008, zuletzt geprüft am 06.10.2014.

**VDI 2012:** Verbrauchskennwerte für Gebäude - Verbrauchskennwerte für Heizenergie, Strom und Wasser. VDI 3807 Blatt 2. Verein Deutscher Ingenieure, 2012. Online verfügbar unter <http://www.vdi.de/4349.0.html>, zuletzt geprüft am 21.09.2014.

**VDI 2013:** Verbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen. VDI 3807 Blatt 1. Verein Deutscher Ingenieure, 2013. Online verfügbar unter <http://www.vdi.de/4349.0.html>, zuletzt geprüft am 21.09.2014.

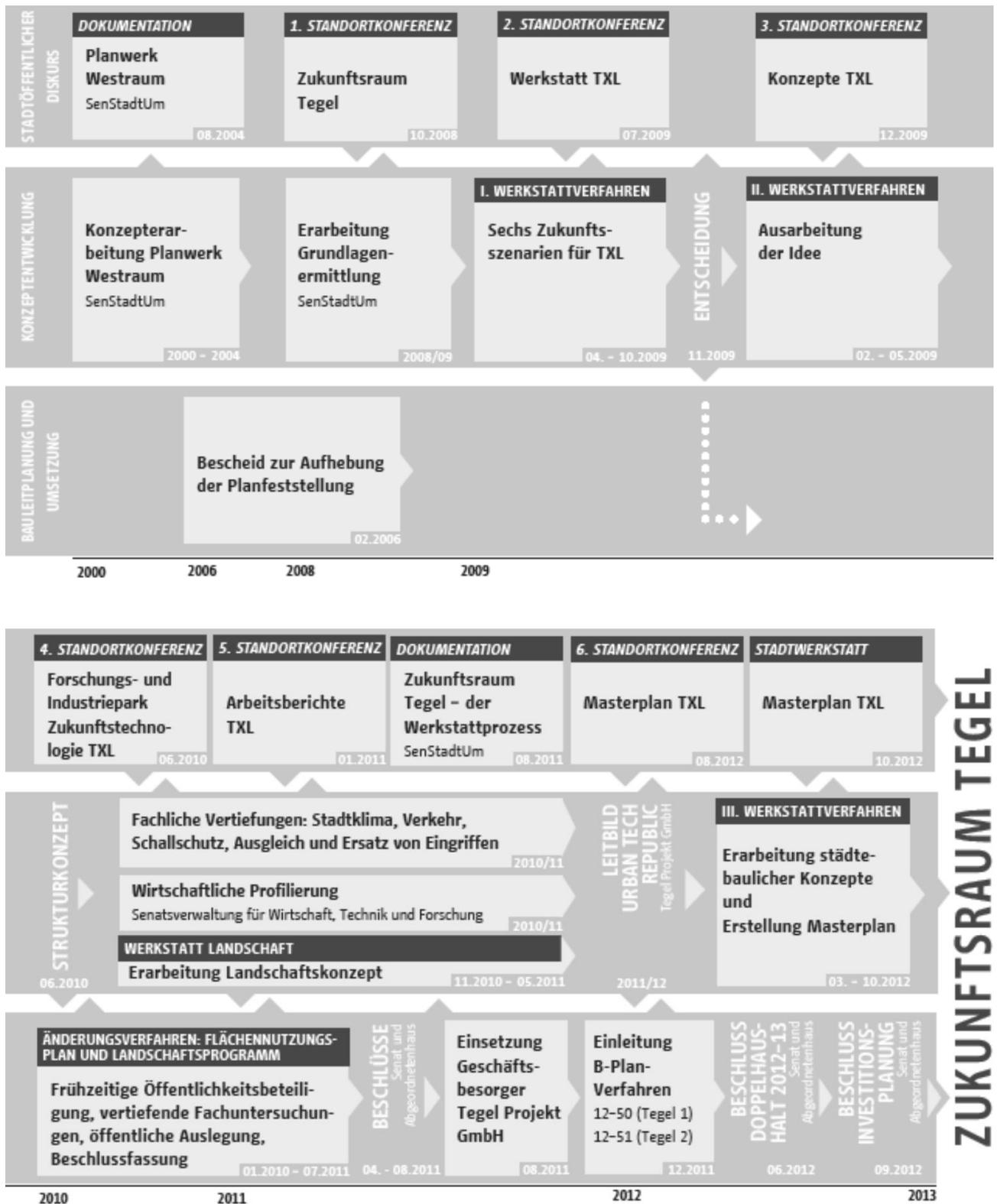
**VDI 2014a:** Solare Trinkwassererwärmung - Allgemeine Grundlagen - Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau. VDI 6002 Blatt 1. Verein Deutscher Ingenieure, 2014. Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/richtlinie/vdi\\_6002\\_blatt\\_1-solare\\_trinkwassererwaermung\\_allgemeine\\_grundlagen\\_systemtechnik\\_und\\_anwendung\\_im\\_wohnungsbau/](https://www.vdi.de/richtlinie/vdi_6002_blatt_1-solare_trinkwassererwaermung_allgemeine_grundlagen_systemtechnik_und_anwendung_im_wohnungsbau/), zuletzt geprüft am 17.10.2014.

**VDI 2014b:** Solare Trinkwassererwärmung - Anwendungen in Studentenwohnheimen, Seniorenheimen, Krankenhäusern, Hallenbädern und auf Campingplätzen. VDI 6002 Blatt 2. Verein Deutscher Ingenieure, 2014. Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/richtlinie/vdi\\_6002\\_blat\\_2-solare\\_trinkwassererwaermung\\_anwendungen\\_in\\_studentenwohnheimen\\_seniorenheimen\\_krankenhaeusern/](https://www.vdi.de/richtlinie/vdi_6002_blat_2-solare_trinkwassererwaermung_anwendungen_in_studentenwohnheimen_seniorenheimen_krankenhaeusern/), zuletzt geprüft am 17.10.2014.

**Wagner 2006:** Physik der Windenergie, Wagner, Hermann-Friedrich. Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. Online verfügbar unter <http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/gewinnungumwandlung/windkraft/physik-der-windenergie/>, zuletzt aktualisiert am 10.08.2014, zuletzt geprüft am 13.10.2014.

**Wista-Management 2014:** The Science and Technology Park Berlin-Adlershof. WISTA-MANAGEMENT GMBH (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.businesslocationcenter.de/en/business-location/commercial-real-estate/technology-sites-and-other-sites-of-the-future/technology-centers-and-business-incubators/the-science-and-technology-park-berlin-adlershof>, zuletzt geprüft am 21.11.2014.

## Anhang 1: Übersicht Planungsprozess



Quelle: Senatsverwaltung Berlin 2013b

## Anhang 2: Masterplan TXL

<p><b>FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSPARK</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Strukturleichte Technologie und Forschung</li> <li>Strukturleichte Technologie und Forschung (Anwendungsentwicklung)</li> <li>Gemeinschaftliche</li> <li>Ökologische City Center (Gewerbe / Mischung)</li> <li>Gewerbebaufläche</li> <li>Mischbaufläche (geringe weiche)</li> <li>Wohnbaufläche</li> <li>Wohnbaufläche mit Schreibräumen</li> <li>Wohnbaufläche (gering weiche) mit Freizeitanlagen</li> </ul>	<p><b>LANDSCHAFT / FREIZEITANLAGEN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wald / weicher Vegetationsbestand</li> <li>Typischer Stadtwald</li> <li>Private Grün mit Bezug zur Typischen Stadtwald</li> <li>Ökologische Freizeitanlagen und Freizeitanlagen</li> <li>Strukturleichte Freizeitanlagen (außerhalb Masterplan)</li> </ul>	<p><b>QUALIFIZIERUNG</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Strukturleichte Freizeitanlagen (außerhalb Masterplan)</li> <li>Hochschule</li> <li>Wohnung großer Wohn</li> <li>Wohnung kleiner Wohn</li> <li>Zugang Universitätskampus</li> <li>Freizeit, Sport- und Freizeitanlagen</li> <li>Wohnung / Wohnbau</li> </ul>	<p><b>VERKEHR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Örtliche Hauptverkehrsachse</li> <li>Örtliche Erschließung</li> <li>Wohnbaufläche (Hochschule)</li> <li>Platzierte Gebäude (Mischbaufläche)</li> <li>Innovative Wohnbaufläche</li> <li>Wohnbaufläche (Hochschule)</li> <li>Wohnbaufläche (Hochschule)</li> </ul>	<p><b>NETZ UND VERKEHRSPUNKTE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Strukturleichte Freizeitanlagen</li> <li>Örtliche Erschließung</li> <li>Wohnbaufläche (Hochschule)</li> <li>Wohnbaufläche (Hochschule)</li> <li>Wohnbaufläche (Hochschule)</li> <li>Wohnbaufläche (Hochschule)</li> <li>Wohnbaufläche (Hochschule)</li> </ul>	<p><b>MASTERSPLAN BERLIN TXL</b> Nutzung Flughafen Tegel</p> <p>Projekt GmbH Landschaftsarchitektur Tel. +49 30 971 01-7010 Fax +49 30 971 01-7019 www.inhabw.de www.senw.de</p> <p>Stand: 16.03.2014 Blatt: 1 Skala: 1:15.000 Originalgröße: 4001/2000</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Quelle: Senatsverwaltung Berlin 2013a

### Anhang 3: Parameter für GFZ und GRZ

Nutzung	GFZ	GRZ
	[-]	[-]
Industrie (Herstellungsbetriebe)	3,0	0,6
Büro	2,0	0,8
Kleingewerbe	1,8	0,6
Großgewerbe	3,0	0,7
Forschung - Lehre	2,0	0,8
Forschung - Labor	2,0	0,8
Wohnen W1	2,5	0,4
Wohnen W2	1,1	0,2
Wohnen W3	0,8	0,3
Wohnen W4	0,25	0,15
soziale Einrichtungen	1,2	0,3

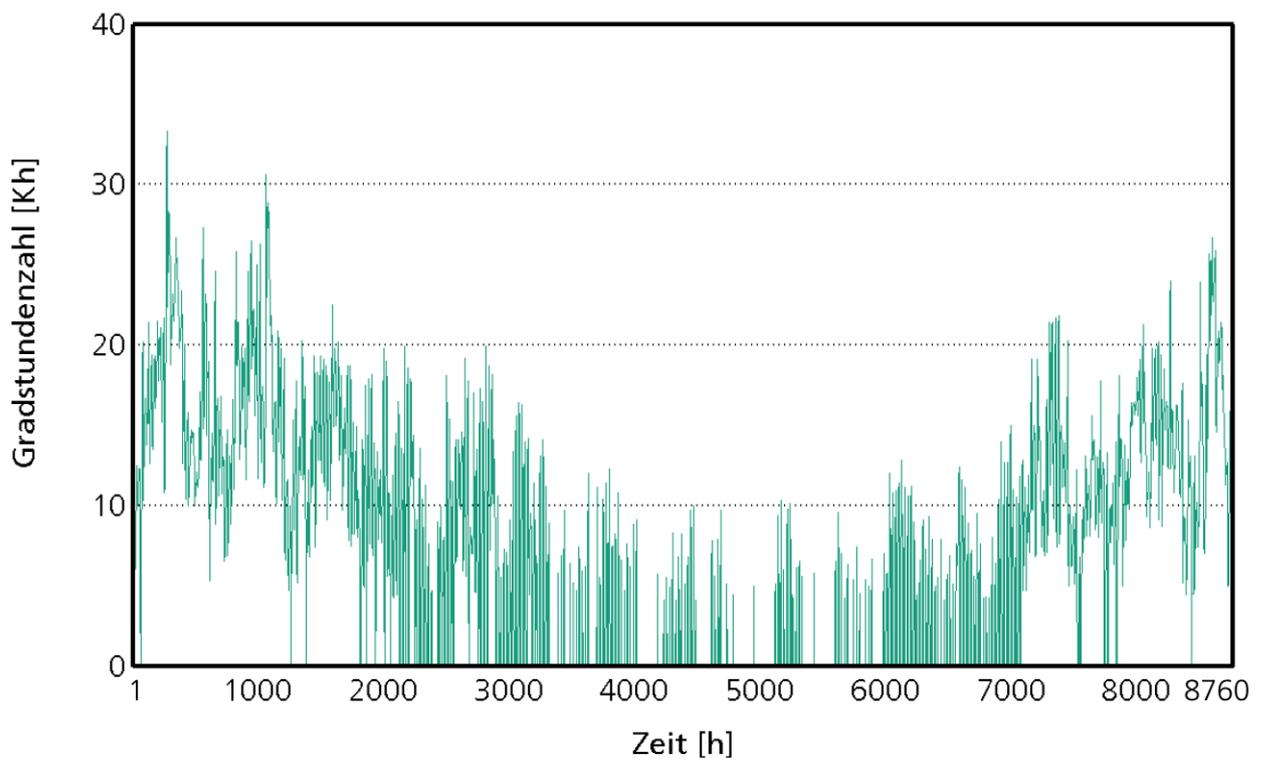
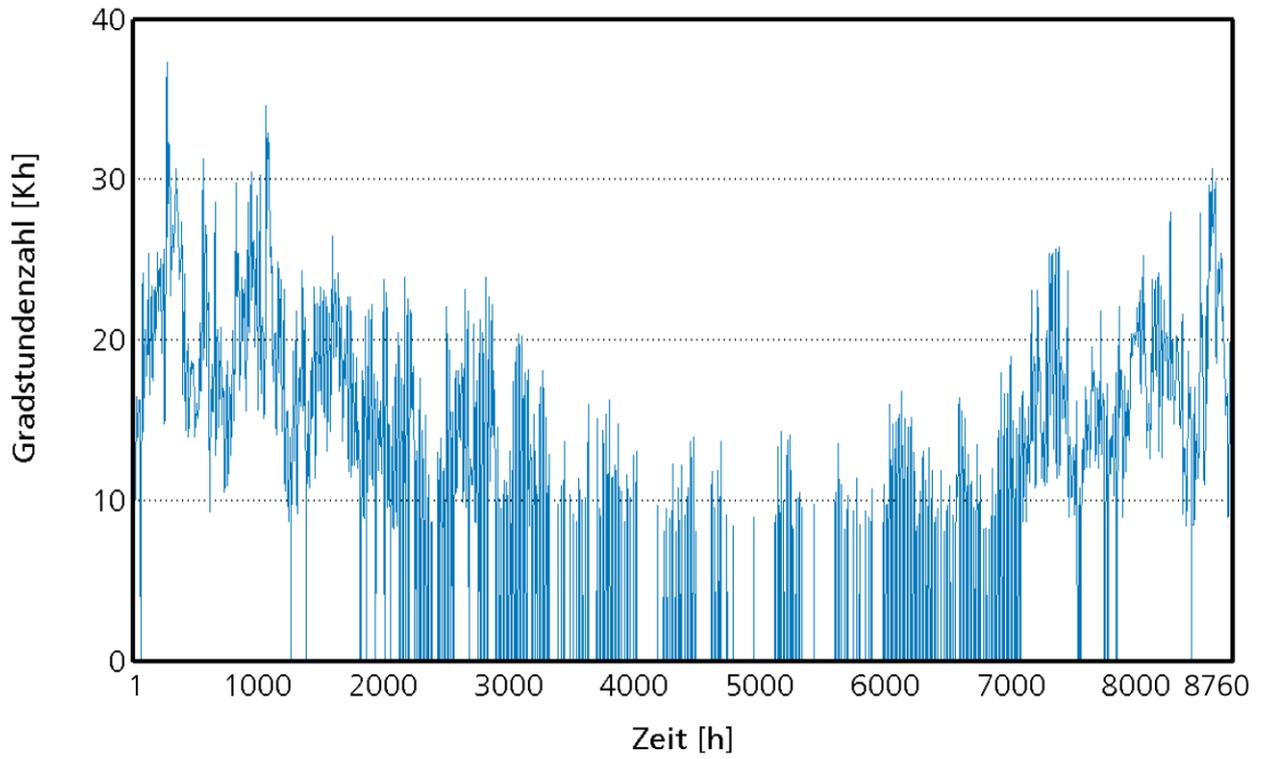
Quelle: Senatsverwaltung Berlin 2005; Tegel Projekt 2013b

## Anhang 4: Betriebszeiten Heizung nach Nutzungsprofilen DIN 18599

Nutzung	Tägliche Betriebszeit	Tägliche Betriebsdauer
	Heizung [Uhrzeit]	Heizung [h / d]
Büro, Arztpraxen	5.00 – 18.00	13
Speisegaststätte	8.00 – 0.00	16
Bäckerei (eigene Annahme)	4.00 – 18.00	14
Handel, Wäscherei, Kosmetik / Friseur, Metzgerei	6.00 – 20.00	14
Mensen und Kantinen	6.00 – 15.00	9
Geschlossene Lagerhäuser, Speditionen, Industrie	6.00 – 16.00	10
Lehre / Forschung	6.00 – 18.00	12
Wohnen	6.00 – 23.00	17
soziale Einrichtungen	6.00 – 15.00	9

Quelle: DIN 2011a

## Anhang 5: Jahresverlauf der Gradstundenzahlen



## Anhang 6: Nutzungszeiten nach Nutzungsprofilen DIN 18599

Nutzung	Nutzungszeit [Uhrzeit]	Tägliche Nutzungszeit [h / d]
Büro	7.00 – 18.00	11
Speisegaststätte	10.00 – 0.00	14
Bäckerei (eigene Annahme)	5.00 – 18.00	13
Handel, Wäscherei, Kosmetik / Friseur, Metzgerei	8.00 – 20.00	12
Geschlossene Lagerhäuser, Speditionen, Industrie	7.00 – 16.00	9
Lehre / Forschung, Arztpraxen	8.00 – 18.00	10
Wohnen	0.00 – 24.00	24
soziale Einrichtungen, Mensen und Kantinen	8.00 – 15.00	7

Quelle: DIN 2011a

## Anhang 7: Nutzungsspezifische Energiebedarfswerte (Endenergie)

	Strom Vergleich 2007	Strom Vergleich 2009	Strom Vergleich 2020	Strom Vergleich 2020 (WP)
	[kWh / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub> ]			
Industrie	226	158	119	198
Büro	120	85	64	106
Speisegaststätte	135	95	71	119
Wäscherei	232	163	122	203
Kosmetik / Friseur	90	65	49	81
Arztpraxen	50	35	26	44
Metzgerei	228	159	120	199
Bäckerei	190	133	100	167
Handel	57	40	30	50
Mensen und Kantinen	105	75	56	94
Geschlossene Lagerhäuser, Speditionen	50	35	26	44
Forschung - Lehre	95	65	49	81
Forschung - Labor	90	65	49	81
Wohnen W1	50	35	18	44
Wohnen W2	50	35	18	44
Wohnen W3	50	35	18	44
Wohnen W4	50	35	18	44
Schulen	15	10	8	13
Kindertagesstätten	25	20	15	25

Quelle: Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011; BMVBS 2009a; BMVBS 2009b

	Raumwärme Vergleich 2007	Raumwärme Vergleich 2009	Raumwärme Vergleich 2016	Raumwärme Vergleich 2020
	[kWh / m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]			
Industrie	56	39	29	20
Büro	151	104	78	52
Speisegaststätte	197	139	105	70
Wäscherei	32	22	17	11
Kosmetik / Friseur	110	78	58	39
Arztpraxen	285	200	150	100
Metzgerei	127	89	67	45
Bäckerei	108	76	57	38
Handel	78	55	41	27
Mensen und Kantinen	71	51	38	26
Geschlossene Lagerhäuser, Speditionen	45	30	23	15
Forschung - Lehre	150	105	79	53
Forschung - Labor	182	130	98	65
Wohnen W1	73	51	38	26
Wohnen W2	73	51	38	26
Wohnen W3	80	56	42	28
Wohnen W4	80	56	42	28
Schulen	143	100	75	50
Kindertagesstätten	160	110	83	55

Quelle: Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011; BMVBS 2009a; BMVBS 2009b

	Warmwasser Vergleich 2007	Warmwasser Vergleich 2009	Warmwasser Vergleich 2016	Warmwasser Vergleich 2020
	[kWh / m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub> ]			
Industrie	0	0	0	0
Büro	9	6	5	3
Speisegaststätte	64	45	34	23
Wäscherei	141	99	74	49
Kosmetik / Friseur	110	78	58	39
Arztpraxen	0	0	0	0
Metzgerei	64	45	33	22
Bäckerei	80	56	42	28
Handel	0	0	0	0
Mensen und Kantinen	23	17	12	8
Geschlossene Lagerhäuser, Speditionen	0	0	0	0
Forschung - Lehre	0	0	0	0
Forschung - Labor	8	5	4	2
Wohnen W1	27	19	14	9
Wohnen W2	27	19	14	9
Wohnen W3	20	14	10	7
Wohnen W4	20	14	10	7
Schulen	8	5	4	3
Kindertagesstätten	0	0	0	0

Quelle: Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011; BMVBS 2009a; BMVBS 2009b

	Prozesswärme Vergleich 2007	Prozesswärme Vergleich 2009	Prozesswärme Vergleich 2016	Prozesswärme Vergleich 2020
	[kWh / m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]			
Industrie	17	12	9	6
Büro	0	0	0	0
Speisegaststätte	29	21	15	10
Wäscherei	93	65	49	33
Kosmetik / Friseur	0	0	0	0
Arztpraxen	0	0	0	0
Metzgerei	8	6	4	3
Bäckerei	213	149	112	74
Handel	4	3	2	1
Mensen und Kantinen	11	8	6	4
Geschlossene Lagerhäuser, Speditionen	0	0	0	0
Forschung - Lehre	0	0	0	0
Forschung - Labor	0	0	0	0
Wohnen W1	0	0	0	0
Wohnen W2	0	0	0	0
Wohnen W3	0	0	0	0
Wohnen W4	0	0	0	0
Schulen	0	0	0	0
Kindertagesstätten	0	0	0	0

Quelle: Fraunhofer ISI et al. 2009; Hausladen et al. 2011; BMVBS 2009a; BMVBS 2009b

## Anhang 8: Eigenschaften MINI-E

---

Leistung	150 kW / 204 PS
Höchstgeschwindigkeit	152 km / h (elektron. abgeregelt)
Reichweite (normale Fahrbedingungen)	168 km
Akku	35 kWh
Ladezeit	2,4 h (230 V, 50 A) 3,8 h (230 V, 32 A) 10,1 h (230 V, 12 A)
Verbrauch	0,14 kWh / km (städt.) 0,17 kWh / km (außerstädt.) 0,15 kWh / km (kombiniert)

---

Quelle: BMW 2014

## Eidesstattliche Erklärung

### **Erklärung zur Masterthesis**

Ich versichere hiermit, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen Quellen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben. Die Arbeit wurde noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt.

München, den 16.12.2014