

Sachstand 21.12.2016

## BG MaxAcht - CO<sub>2</sub>-Emissionen im Lebenszyklus



Abbildung 1 Quelle: Architekturagentur

### Verfasser:

ee concept gmbh – ein Spin-Off Unternehmen der TU Darmstadt

Martin Zeumer, Dr.-Ing. Architekt

David Lellinger, cand. BA

## Inhalt

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>A</b>   | <b>GRUNDLAGEN DER STUDIE</b>                                   | <b>3</b>  |
| <hr/>      |  |           |
| <b>A.1</b> | <b>Ziele und methodisches Vorgehen</b>                         | <b>3</b>  |
| A.1.1      | Bearbeitungsmethode  | 3         |
| <b>A.2</b> | <b>Systemgrenze</b>  | <b>3</b>  |
| A.2.1      | Gebäudedaten und Pläne   | 4         |
| A.2.2      | Berichte   | 4         |
| A.2.3      | Ökobilanzierung  | 4         |
| <br>       |  |           |
| <b>B</b>   | <b>ANALYSE DES BAUWERKS</b>                                    | <b>5</b>  |
| <hr/>      |  |           |
| <b>B.1</b> | <b>Bewertung des Gebäudes nach aktuellem Planstand</b>         | <b>5</b>  |
| B.1.1      | Konstruktion   | 6         |
| B.1.2      | Nutzung  | 6         |
| B.1.3      | Entsorgung   | 6         |
| <b>B.2</b> | <b>Verbesserung der Konstruktion</b>                           | <b>7</b>  |
| B.2.1      | Gebäudehülle   | 7         |
| B.2.2      | Gebäudetechnik   | 7         |
| B.2.3      | Auswirkungen der Optimierungen auf die Bilanz                  | 7         |
| <br>       |  |           |
| <b>C</b>   | <b>KOMPENSATION DER VERURSACHTEN CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN</b> | <b>9</b>  |
| <hr/>      |  |           |
| <b>C.1</b> | <b>Eigene Energieerzeugung</b>                                 | <b>10</b> |
| <b>C.2</b> | <b>Verbesserung der lokalen Energieversorgung</b>              | <b>11</b> |

## A GRUNDLAGEN DER STUDIE

### A.1 Ziele und methodisches Vorgehen

Die BG MaxAcht in Stuttgart will ein klimaneutrales Wohnhaus umsetzen. Als klimaneutral können dabei Gebäude betrachtet werden, die über den angesetzten Bilanzierungsraum hinweg keine CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Maßgeblich ist dabei der Lebenszyklus des Gebäudes. Dieser setzt sich zusammen aus den Phasen der Herstellung, Instandhaltung, Nutzung, Rückbau und Entsorgung.

#### A.1.1 Bearbeitungsmethode

Die Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment, LCA) ist eine Berechnungsmethode für Umweltwirkungen von Emissionen, Ressourcen und Energie über den Lebenszyklus. Dabei werden einem Prozess oder einem Objekt (z. B. ein Gebäude) Inputflüsse (verwendete Rohstoff- und Energiemengen) und Outputflüsse (resultierende Abfall- und Emissionsmengen) zugeordnet und potentielle Umweltwirkungen abgeleitet (z. B. die Umweltwirkung „Klimaerwärmung“ als Folge der Emission von Treibhausgasen). Die allgemeine Herangehensweise für die Ökobilanzierung wird dabei durch die DIN EN ISO 14 040 und DIN EN ISO 14 044 definiert. Maßgeblich für die Erstellung von Gebäude-Ökobilanzen ist die DIN EN 15 978. Aufgrund der Zielstellung des CO<sub>2</sub>-neutralen Gebäudes zielt die Bilanzierung dabei nur auf den Indikator Treibhauspotenzial ab.

### A.2 Systemgrenze

Als Systemgrenze wurde dazu die durch die Planer des Gebäudes beeinflussbaren, dem Gebäude zuordenbaren Aspekte definiert. Aufgrund der Auftragslage ist daher das Tiefgaragengeschoss nicht Bestandteil der Analyse.



Abbildung 2 Systemgrenze der Bilanzierung

In der folgenden Betrachtung wurden die Emissionen aus dem Aufwand für die verwendeten Baustoffe zur Errichtung des Hauses sowie der Instandhaltung als „Cradle to Gate“ Datensätze berücksichtigt. Der Warmwasser- und Heizenergieaufwand inklusive der benötigten Hilfsenergie wurde gemäß der EnEV-Berechnung eingepflegt.

Folgende weitere Daten und Grundlagen wurden für die Erstellung der Studie verwendet.

**A.2.1 Gebäudedaten und Pläne**

- BIM-Modell nach letztem Planstand (Stand 06.09.2016)
- Baubeschreibung (Stand 23.06.2016)
- Fassadenkonzept (Stand 20.05.2016)
- Fußbodenaufbauten (Stand 10.08.2016)

**A.2.2 Berichte**

- Wärmeschutznachweis (Stand 24.05.2016)

**A.2.3 Ökobilanzierung**

- CO<sub>2</sub>-Äquivalente von Baustoffen gemäß Baustoffdatenbank des BMUB ökobau.dat
- Emissionen des deutschen Strommixes nach Umweltbundesamtes Jahr 2014
- Als Software zur Bearbeitung wurde SBS Building Sustainability verwendet. Sie ermöglicht die Erstellung einer Gebäude-Ökobilanz nach den Regeln der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). Sie errechnet dabei neben den Ergebnissen des tatsächlichen Gebäudes Ergebnisse für ein nutzungsspezifisches Referenzgebäude – in diesem Fall für einen vergleichbaren Wohnungsbau (Nutzungsprofil NWO 15).

## B ANALYSE DES BAUWERKS

### B.1 Bewertung des Gebäudes nach aktuellem Planstand

Nach Eingabe der bekannten Daten und Annahme des Bilanzierungsrahmens nach DGNB von 50 Jahren ergibt sich für die Bilanzierung folgendes Ergebnis:

| Ergebnisse nach aktuellem Planstand |   |  |
|-------------------------------------|---|--|
|                                     | Treibhauspotenzial<br>[kg CO <sub>2</sub> -Äqui / (m <sup>2</sup> * a)] | Gesamtprimärenergiebedarf<br>[MJ / (m <sup>2</sup> * a)] |
| Herstellung                         | 0,28  | 145  |
| Nutzung                             | 13,27   | 204  |
| Instandhaltung                      | -0,03   | 1  |
| Entsorgung                          | 2,52  | -43  |
| <b>Summe</b>                        | <b>16,04</b>  | <b>307</b>   |

Abbildung 3 Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung nach aktuellem Planstand

In der Herstellung ergibt sich dabei eine knapp CO<sub>2</sub>-emittierende Ausgangssituation für das Gebäude. Die hohe CO<sub>2</sub>-Emission ist der bisher nur unzureichend auf erneuerbare Energiequellen zurückgreifenden Energieversorgung am Standort zuzuschreiben. Die CO<sub>2</sub>-bindende Instandhaltung basiert maßgeblich auf der Nutzung von Holz auch an innerhalb von 50 Jahren auszutauschen Bauteilen (z.B. Fassade und Bodenbeläge). Die CO<sub>2</sub>-emittierende Entsorgung ist dabei auf die Verbrennung der umfassenden Holzmasse im Gebäude zurückzuführen. Dabei ist für das Objekt einerseits festzustellen, dass eine Entsorgung des Gebäudes für die Betrachtung des Lebenszyklus sinnvoll ist, der Rückbau nach 50 Jahren aber bei einer so dauerhaften Nutzung wie Wohnen für das Bauvorhaben keine brauchbare Annahme darstellt. Das angestrebte, Materialrecycling und die damit nicht entstehende Emission des gebundenen CO<sub>2</sub> ist des Recyclings ist für das Objekt eine Optimierungsebene, die nicht angemessen abgebildet werden kann. Diese ist im Entwurf schon in geeigneter Weise eingeflossen.

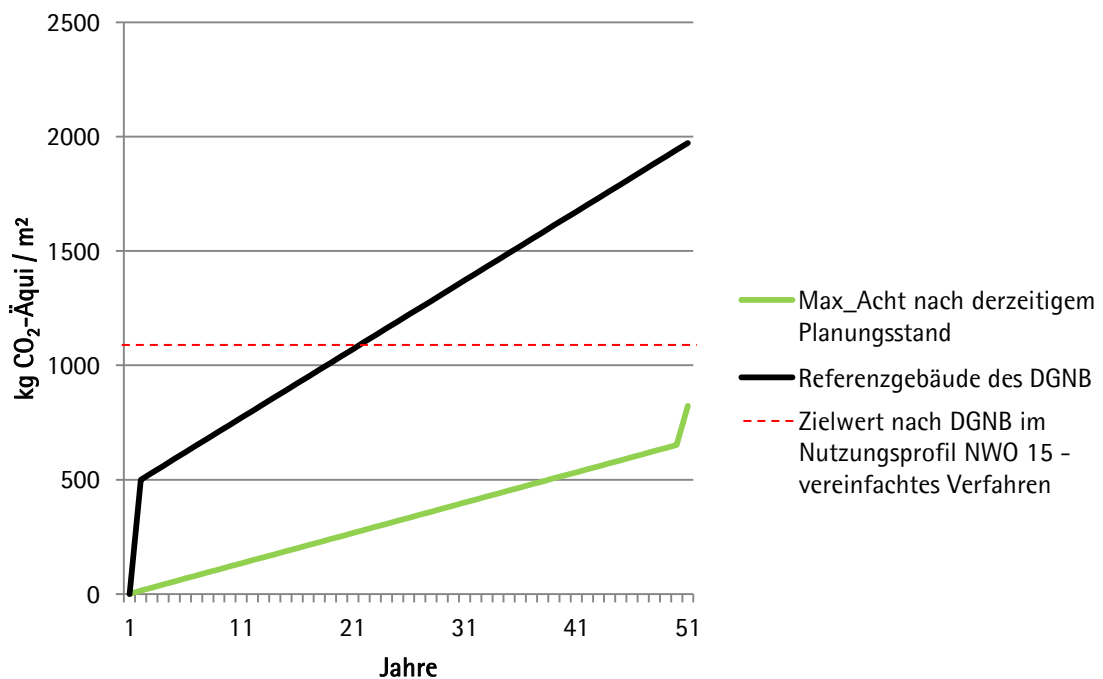


Abbildung 4 Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission durch das Gebäude nach aktuellem Planungsstand über 50 Jahre

Im Vergleich zum Referenzgebäude nach DGNB unterschreitet die Planung den Zielwert für die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach DGNB über den analysierten Nutzungszeitraum. Das Gebäude kann also insgesamt als sehr klimafreundlich beschrieben werden. Auch bezüglich der verwendeten Baustoffe ist das Gebäude mit nur noch 3% der Umweltwirkungen in der Herstellung des Gebäudes im Vergleich zum Referenzgebäude sehr klimafreundlich, jedoch noch nicht umweltentlastend. Im Detail lassen sich für die einzelnen Phasen im Lebenszyklus dabei folgende Aussagen ableiten.

### **B.1.1 Konstruktion**

Der größte Emittent von CO<sub>2</sub> unter den Baustoffen ist der Stahlbeton, der zur Gründung und im aussteifenden Treppenhauskern eingesetzt wird. Durch den Einsatz von CEM III (Zement auf Flugasche-Basis) statt CEM I (Portlandzement) sind in der Betonkonstruktion schon die baustoffbezogenen Optimierungspotenziale ausgenutzt. Die hohe Masse des verwendeten Vollholzes kompensiert diesen durch die CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität weitgehend. Selbst massetechnisch kleinere Anwendungen wie die Fassade oder das Parkett sind jedoch notwendig, um den Betoneinsatz in dieser umfassenden Art und Weise zu kompensieren. Dabei bietet die vorgefertigte Bauweise die Möglichkeit, das Holz nach Nutzungsende wiederzuverwenden, statt nur thermisch zu verwerten. Als darüber hinaus wirksame Bauteile in der Ökobilanz sind z.B. die Erdgeschossverkleidung, die Dämmung des Gebäudes sowie der Bodenaufbau (Trittschalldämmung und Estrich) zu nennen.

### **B.1.2 Nutzung**

Die energetische Hülle des Gebäudes weist bereits ausgezeichnete Kennwerte für den Wärmeschutz auf. Eine weitergehende Optimierung ist unter einer Kosten-Nutzen-Betrachtung als kaum zielführend zu bezeichnen. Entscheidend ist die Art der Energieversorgung, die durch die Anschlussverpflichtung an die lokale Fernwärme auf den dort eingesetzten Energieträger-Mix zurückzuführen ist. Aufgrund des noch im Bau befindlichen Systems ist dabei eine abschließende Klärung noch nicht möglich. Dabei ist jedoch festzuhalten, dass durch die hohen Temperaturen im Fernwärmenetz davon auszugehen ist, dass dauerhaft von einer Verbrennungstechnik als lokaler Energieerzeuger für die Wärmebereitstellung auszugehen ist. Damit kann im System nur eine verstärkte Nutzung von Biomasse zu einer Reduzierung der Umweltwirkungen beitragen. Regenerativer Strom für die Pumpentechnik kann ebenso positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz wirken.

### **B.1.3 Entsorgung**

Der Lebenszyklus eines Wohngebäudes beträgt gemäß Bilanzierung nach DGNB 50 Jahre, nach deren Ablauf der Abriss des Gebäudes und die Entsorgung/Wiederaufbereitung der Bauteile stattfinden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass das Gebäude länger genutzt wird - aktuell liegt die durchschnittlich Halbwertszeit eines Wohngebäudes in Deutschland bei 120-140 Jahren.

## B.2 Verbesserung der Konstruktion

Für die Optimierung des Bauwerks im Sinne einer reduzierten CO<sub>2</sub>-Emission bestehen nur noch geringe Potenziale. Diese liegen bei der Dämmung, den Bodenaufbauten und der Fassadengestaltung im Erdgeschoss.

### B.2.1 Gebäudehülle

Schlagkräftigste Optimierung ist dabei der Wechsel des Dämmmaterials von Mineralfaser auf Holzfaser. Allerdings beinhaltet dies neben den erhöhten Baukosten auch einen Eingriff in die brandschutztechnischen Rahmenbedingungen des Gebäudes, so dass eine solche Maßnahme nicht ohne weitere Abstimmungen vorgenommen werden sollte.

Ebenso schlagkräftig ist eine Änderung der Vorhangfassade im Erdgeschoss von der bisherigen Aluminiumverkleidung auf ein anderes Verkleidungsmaterial. Im Sinne des Ziels der CO<sub>2</sub>-Neutralität bietet sich hier eine Holzkonstruktion als Lösung an, soweit dies mit den Zielen des Brandschutzes in Übereinstimmung gebracht werden kann. Hierzu sind auf dem Markt der Bauprodukte Holzbehandlungsmittel bekannt, die die Entflammbarkeit des Holzes reduzieren. Alternativ können Baustoffe auch mit geringerer Umweltwirkung wie z.B. verzinkter Stahl oder Faserzement zu einer Verbesserung beitragen. Für beide Varianten scheint dabei eine kostenneutrale Umsetzbarkeit gegeben.

### B.2.2 Gebäudetechnik

Die Verwendung einer Fußbodenheizung aus PEX statt Kupfer ist eine einfache Maßnahme, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Herstellungsprozess zu senken, die sich sogar kostensenkend auswirken könnte.

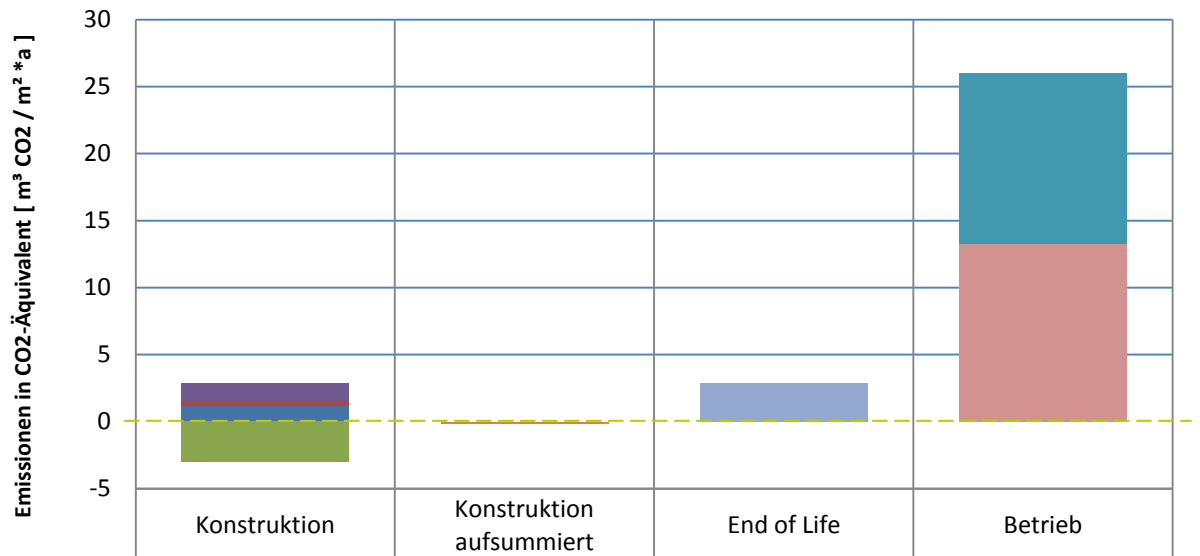
### B.2.3 Auswirkungen der Optimierungen auf die Bilanz

Aufgrund der schwerwiegenden Wirkungen des Dämmstoffwechsels wurde bei der exemplarisch Betrachtung von Optimierungen des Gebäudes zunächst nur die Aspekte der Erdgeschossfassade und der Fußbodenheizung betrachtet.

|                | Planstand  |   | Optimierung<br>Erdgeschossfassade aus verzinktem Stahl<br>Fußbodenheizung aus PEX<br>Dachbahnen aus EPDM |   |
|----------------|--|---|--|---|
|                | Treibhauspotenzial<br>[kg CO <sub>2</sub> -Äqui /<br>(m <sup>2</sup> * a)] | Gesamtprimärenergie-<br>bedarf<br>[MJ / (m <sup>2</sup> * a)] | Treibhauspotenzial<br>[kg CO <sub>2</sub> -Äqui /<br>(m <sup>2</sup> * a)]                               | Gesamtprimärenergie-<br>bedarf<br>[MJ / (m <sup>2</sup> * a)] |
| Herstellung    | 0,28   | 145   | -0,16  | 141   |
| Nutzung        | 13,27  | 204   | 13,27  | 204   |
| Instandhaltung | -0,03  | 1   | -0,03  | 1   |
| Entsorgung     | 2,52   | -43   | 2,88   | -40   |
| <b>Summe</b>   | <b>16,04</b>   | <b>307</b>  | <b>15,97</b>   | <b>307</b>  |

Abbildung 5 Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung nach aktuellem Planstand und in einer optimierten Planung

Mit beiden Maßnahmen zusammen ergibt sich damit für das Gebäude in der Herstellung eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz. Das Gebäude ermöglicht damit durch seine hohe CO<sub>2</sub>-Bindung in den Bauteilen in der Herstellung eine Umweltentlastung.

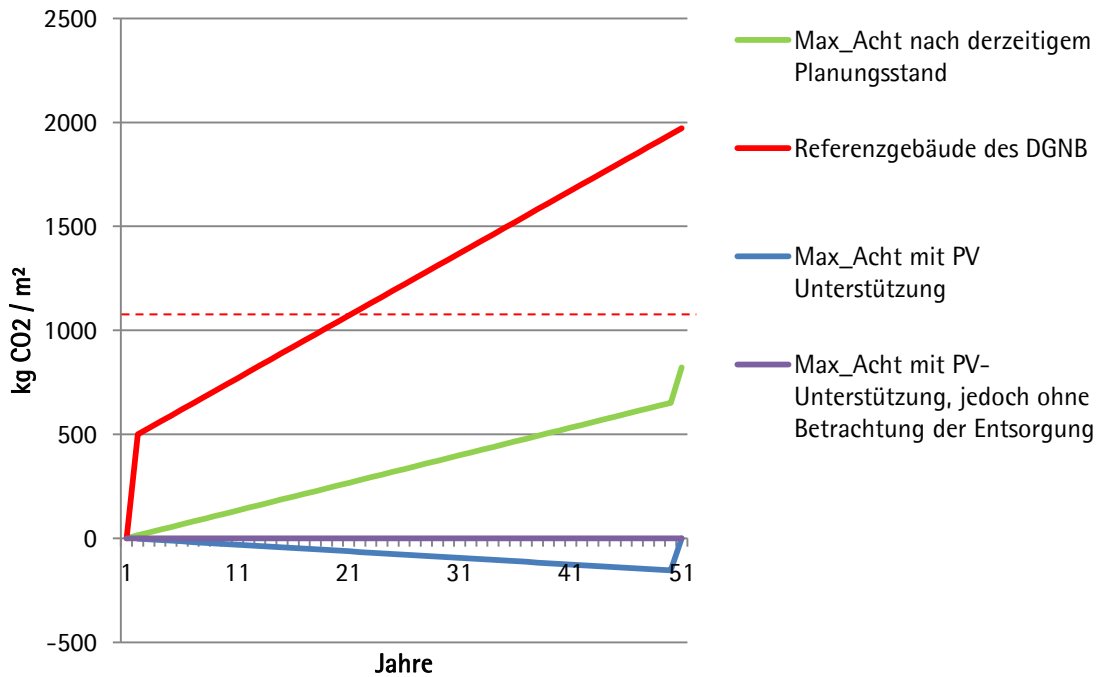


|                          |      |       |      |       |
|--------------------------|------|-------|------|-------|
| Haushaltsstrom           |      |       |      | 12,76 |
| Fernwärme + Hilfsenergie |      |       |      | 13,27 |
| EoL                      |      |       | 2,88 |       |
| Konstruktion aufsummiert |      | -0,16 |      |       |
| Holzbau                  | -3   |       |      |       |
| Beton                    | 1,32 |       |      |       |
| Dämmung                  | 0,3  |       |      |       |
| Sonstige                 | 1,22 |       |      |       |



## C KOMPENSATION DER VERURSACHTEN CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN

Um eine Klimaneutralität des Gebäudes im Lebenszyklus zu erreichen, sind weitere Maßnahmen von Nöten. Da jedoch die bewährten Zertifizierungsmethoden hierzu nicht mehr geeignet sind, ergeben sich in der freien Bilanzierung verschiedene mögliche Bilanzierungsrahmen, die wiederum deutliche Auswirkungen auf das Bilanzierungsergebnis haben.



Aus der Analyse des Lebenszyklus hat sich für das Gebäude ergeben, dass der Rückbau des Objekts nicht Ziel der Optimierung ist und gleichzeitig – bei der anvisierten bauteilbezogenen Nachnutzung auch nur geringe Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz hat. Dieser kann also ggf. nicht in die Betrachtung mit einbezogen werden. Ebenso zum aktuellen Zeitpunkt nicht berücksichtigt, ist der Strom für Beleuchtung und Haushaltsgeräte, wie er etwa bei der Bilanzierung von Effizienzhaus-Plus Gebäuden betrachtet wird. Hier kann als Annahme 20 kWh/m<sup>2</sup> für die Berechnung zugrunde gelegt. Für die weitere Betrachtung können daher folgende Varianten entwickelt werden:

| Bilanzrahmen           | Berücksichtigt |                | Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen<br>[ kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> * a ] |
|------------------------|----------------|----------------|--|
|                        | Rückbau        | Haushaltsstrom |  |
| a                      | ○              | ○              | 13,97  |
| b (Referenz nach DGNB) | ✓              | ○              | 15,97  |
| c                      | ○              | ✓              | 25,81  |
| d                      | ✓              | ✓              | 28,71  |

Ausgehend von einer optimierten Planung zur CO<sub>2</sub>-Neutralität in der im Bauwerk gebundenen Energie muss für die Optimierung im Lebenszyklus eine Optimierung der Energieversorgung oder einer eigenständigen Energieerzeugung zur Kompensation umgesetzt werden. Da die Optimierung der Energieversorgung durch den Anschlusszwang an die Fernwärme im Projekt nur durch Dritte erfolgen kann, bietet nur die Optimierung über eine eigene Energieerzeugung die sichere Grundlage für eine weitere Verbesserung.

### C.1 Eigene Energieerzeugung

Das verbleibende Treibhauspotential kann durch die Vermeidung von Treibhausgasen über eine eigene Stromproduktion ausgeglichen werden. Dabei ist die Eigennutzung nicht zwingend, soweit eine Substitution von fossil erzeugtem durch regenerativem Strom im Deutschen Stromnetz erfolgt.

Derzeit entstehen durch die Stromproduktion in Deutschland etwa 0,516 kg CO<sub>2</sub>-Äqui / kWh. Davon ausgehend ist eine Dimensionierung der zu installierenden Leistung einer PV-Anlage möglich. Über die verwendeten Zelltypen lassen sich dabei überschlägig ein Wirkungsgrad und damit die entstehende Leistung ermitteln. Zentrale Annahmen sind dabei eine horizontale Einstrahlung von 1200 kWh/m<sup>2</sup>a am Standort Stuttgart sowie ein Wirkungsgrad der eingesetzten Wechselrichter von 95%.

Neben dem Wirkungsgrad der Solarzelle ist im Sinne der Lebenszyklusbetrachtung auch die energetische Amortisationszeit zu betrachten, die den Zeitraum definiert, in dem die Anlage die für ihre Herstellung gebrauchte Energie generiert bzw. die zur Herstellung der Zellen notwendigen Emissionen einspart. Die Nutzungs- und Lebensdauer der PV-Anlage wird mit 25 Jahre veranschlagt.

| Zelltyp        | Ausführung             | Wirkungsgrad Zelle $\eta_c$ | energetische Amortisationszeit in Jahren a | PV-Fläche As |
|----------------|------------------------|-----------------------------|--|--------------|
| Monokristallin | Standard               | 14%                         | 2,5  | 286,6        |
|                | Hocheffizient          | 19%                         | 2,5  | 211,2        |
| Polykristallin |                        | 13,3%                       | 2,5  | 308,6        |
| Silizium       | amorph/mikrokristallin | 6%                          | 1,25                                       | 633,5        |

Abbildung 9 Zentrale Kennwerte und daraus ermittelte potenziell notwendige PV-Fläche nach Zelltyp

Die Unterschiede der zu installierenden PV-Fläche werden durch folgende exemplarische Rechnung ersichtlich:

|                |                        | zu installierende Fläche nach Neigungswinkel |       |       |       |
|----------------|------------------------|--|-------|-------|-------|
| Zelltyp        | Ausführung             | horizontal                                   | 15°   | 30°   | 45°   |
| Monokristallin | Standard               | 286,6  | 262,9 | 251,4 | 255,9 |
|                | Hocheffizient          | 211,2  | 193,7 | 185,2 | 188,5 |
| Polykristallin |                        | 308,6  | 283,1 | 270,7 | 275,5 |
| Silizium       | amorph/mikrokristallin | 633,5  | 581,2 | 555,7 | 565,6 |

Abbildung 10 Flächenbedarfe an PV anhand unterschiedlicher Aufstellungswinkel (bei Südausrichtung)

Da die Dachfläche auf 267,3 m<sup>2</sup> begrenzt ist, ist eine möglichst kleine PV-Fläche anzustreben. Daher wurden für die Untersuchungen der vier Bilanzierungsvarianten (wie oben beschrieben) Hocheffizienz-Zellen als Grundlage der Berechnung gewählt. Da dabei die horizontale Fläche die beste Ausnutzung der auf die Dachfläche auftreffenden Solarstrahlung liefert, wurden die PV-Flächen ohne Aufständering bilanziert.

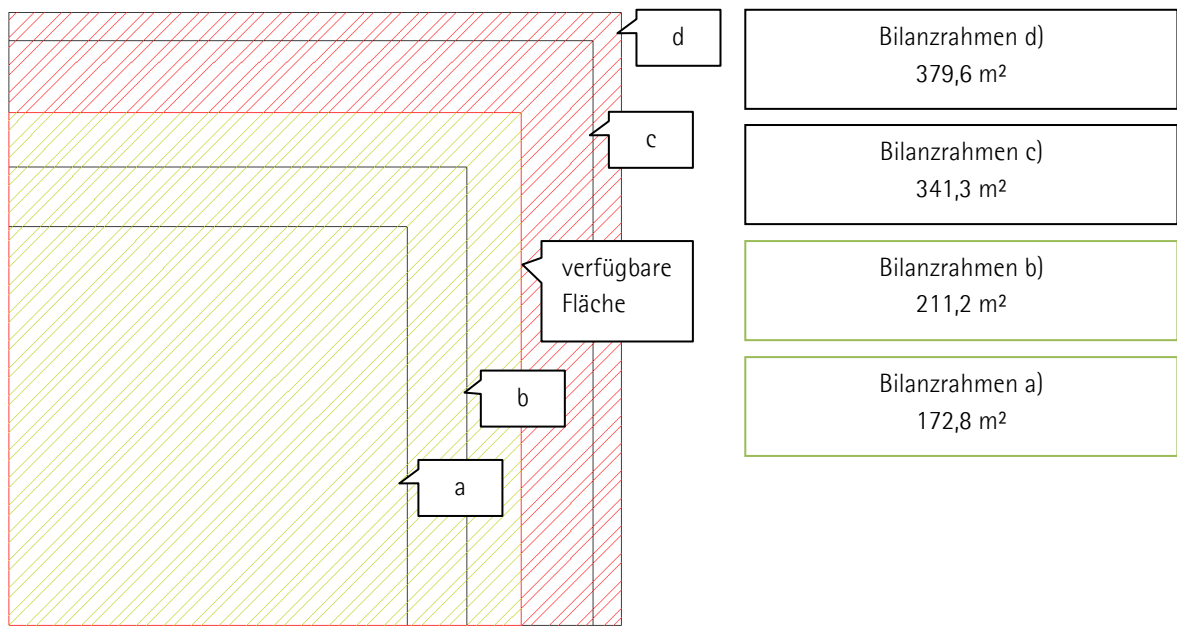


Abbildung 11 Flächenbedarfe an PV (Variante Hocheffizient) in Relation zur verfügbaren Dachfläche

Die Möglichkeit, Teile der Südfassade mit PV-Modulen auszustatten, könnte ebenfalls in Erwägung gezogen werden.

Ausgehend von dem verfügbaren Flächenpotenzial muss für das Objekt festgehalten werden, dass Variante a) eine Abdeckung aus eigener Kraft heraus möglich macht.

## C.2 Verbesserung der lokalen Energieversorgung

Der Anschlusszwang an das entstehende Fernwärmenetz lässt für die Planer hier keinen Spielraum zur Optimierung. Spätestens jedoch, wenn auch der Haushaltsstrom in der Bilanz berücksichtigt werden soll, muss das lokale Fernwärmenetz einen besseren Primärenergiefaktor vorweisen, als in der bisherigen Planung festgelegt. Könnte hier der Anteil regenerativer Energie deutlich gesteigert werden, so gestaltet sich auch die weitreichende Realisierung des Null-Emissions-Ziels als möglich.